

Heinrich Huber

Ventilation des habitations

Planification | Réalisation | Exploitation



Contenu

1. Bases			
1.1 Fonctions de la ventilation	5	6.5 Installations de ventilation collectives	70
1.2 Normes	5	6.6 Bouches d'air neuf et d'air rejeté	73
1.3 Qualité de l'air intérieur et polluants	6	6.7 Échangeurs de chaleur géothermique	75
1.4 Pollution de l'air extérieur	6	6.8 Nettoyage et hygiène	77
1.5 Humidité relative de l'air intérieur	7	6.9 Documentation	78
1.6 Protection contre la surchauffe estivale	9	7. Conception des installations simples d'air repris	81
1.7 Commande/régulation et exploitation	12	7.1 Types d'installations simples d'air repris	82
1.8 Protection incendie	13	7.2 Conditions de pression et débits d'air	82
2. Concept de ventilation, exigences	13	7.3 Dimensionnement des débits d'air	85
2.1 Elaboration du concept de ventilation	15	7.4 Commande/régulation et réglage	88
2.2 Occupation et utilisation	15	7.5 Configuration des installations d'air repris	88
2.3 Qualité de l'air intérieur ressentie	15	7.6 BAN traversant l'enveloppe	90
2.4 Protection contre l'humidité	16	7.7 Cas concret	95
2.5 Fenêtres	17	8. Conception de la ventilation par local	97
2.6 Zone de séjour	19	8.1 Débits d'air et humidité de l'air intérieur	98
2.7 Maintenance	20	8.2 Types d'appareil, caractéristiques, exigences	98
2.8 Conditions de pression	20	8.3 Installations pour régime continu	103
2.9 Influences extérieures	20	8.4 Installations avec appareils à flux réversibles	104
2.10 Etanchéité à l'air de l'enveloppe	21	8.5 Combinaison avec installations d'air repris	106
2.11 Zones d'installation et protection incendie	21	8.6 Cas concret	108
2.12 Locaux secondaires et annexes	22	9. Composants, appareils, besoins en énergie	111
2.13 Énergie, écologie et standards de construction	22	9.1 Hygiène et filtration	111
3. Circulation de l'air	22	9.2 Transport de l'air	112
3.1 Flux d'air dans les habitations	23	9.3 Récupération de chaleur et d'humidité	114
3.2 Volume du local et profil horaire du débit d'air	23	9.4 Impact du déséquilibre des débits	116
3.3 Principe «cascade»	24	9.5 Protection anti-givrage et désactivation de la RC	118
3.4 Principe «mélange avec transfert d'air actif»	26	9.6 Fuites et efficacité thermique	120
3.5 Principe «mélange avec circulation naturelle de l'air»	27	9.7 Isolation thermique de la distribution de l'air	121
3.6 Principe «local individuel»	31	9.8 Besoins annuels en énergie des installations	123
3.7 Circulation de l'air dans le local	33	9.9 Ecoconception et classification énergétique	129
3.8 Bouches d'air transféré	33	9.10 Remarques sur les appareils multifonctions	130
3.9 Limites de la ventilation par mélange	34	10. Utilisations et installations spéciales	132
3.10 Débits minimaux d'air repris	38	10.1 Zones de cuisson	132
4. Systèmes de ventilation	39	10.2 Foyers ouverts dans les appartements	136
4.1 Ventilation naturelle	41	10.3 Conditionnement d'air dans les caves	137
4.2 Installation simple d'air repris	41	10.4 Chauffage à air chaud	139
4.3 Installation de ventilation simple (aération douce)	43	10.5 Assainissements radon	140
4.4 Appareils VPL et installations d'air repris	45	11. Protection contre le bruit	142
4.5 Ventilations individuelles vs collectives	47	11.1 Termes, exigences	142
4.6 Comparaison de systèmes	48	11.2 Justification selon la norme SIA 181	143
5. Indications pour la conception	51	11.3 Comparaison des méthodes de justification	144
5.1 Déroulement du projet	54	11.4 Propagation du son à l'intérieur	146
5.2 Dimensionnement des conduites d'air	54	11.5 Précisions sur les composants	147
5.3 Types de conduites et de matériaux	57	11.6 Emissions sonores vers l'extérieur	151
5.4 Régulation et mesure	57	11.7 Points à retenir	151
5.5 Hygiène et nettoyage	59	12. Réception et exploitation	153
6. Conception des aérations douces	59	12.1 Réception	153
6.1 Débit d'air déterminant	60	12.2 Contrôle et mesures de fonctionnement	153
6.2 Commande/régulation et réglage	61	12.3 Premier contrôle d'hygiène	156
6.3 Distribution de l'air dans l'appartement	63	12.4 Documentation et instructions	156
6.4 Installations de ventilation individuelles	63	12.5 Maintenance	157
	66	13. Annexe	159

Impressum

**Ventilation des habitations –
Planification, Réalisation, Exploitation**

Auteur: Heinrich Huber

Traduction: Anna Piguet,
Piguet architectes Sàrl

Lectorat spécialisé: Pierre Renaud

Révision et mise en page:
Faktor Journalisten AG, Zurich;
René Mosbacher, Noemi Bösch

Photo de couverture: ayagiz via
iStockphoto

Cet ouvrage fait partie de la série de publications spécialisées «Construction durable et rénovation». Cette publication a été financée par l'Office fédéral de l'énergie OFEN/SuisseEnergie et la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK).

Commande: À télécharger (gratuitement) sous www.suisseenergie.ch

Janvier 2023

Préambule

Ventiler les habitations de manière fiable

Il y a une dizaine d'années, lors de la dernière parution du livre «Ventilation de confort», la ventilation automatique des habitations était une mesure innovante. Les installations de ventilation pour habitations étaient le plus souvent associées aux maisons Minergie et autres logements haut de gamme. Entre-temps, les avantages d'une ventilation automatique sont nettement plus connus. En effet, de nombreuses expériences ont été acquises avec des installations réalisées et de nombreuses recherches ont été menées démontrant l'utilité des installations de ventilation. Pour les nouveaux bâtiments très étanches, diverses études ont montré la grande difficulté à fournir suffisamment et de manière fiable de l'air neuf par une aération manuelle. Les conséquences sont désormais connues: apparition de moisissures, gaspillage d'énergie et altération du bien-être, pour ne citer que les plus importantes.

Par ailleurs, des progrès techniques ont permis de compléter la ventilation en cascade classique avec des formes mixtes, telles que la ventilation par mélange ou la mise en réseau de plusieurs systèmes. Elles ont l'avantage d'être beaucoup moins gourmandes en conduites de ventilation et donc plus adaptées à la rénovation. Enfin, nous avons également beaucoup progressé en matière de normes et de standards. En particulier, la nouvelle norme SIA 382/5:2021 «Ventilation mécanique dans les habitations» a remplacé le cahier technique SIA 2023 «Ventilation des habitations».

L'occasion était dès lors idéale pour remanier en profondeur le livre «Ventilation de confort», le compléter et le restructurer en partie. Le concept de base reste le même: le livre veut transmettre les principes de base aux planificateurs et servir d'outil de travail au quotidien. Comme les précédentes, la nouvelle version n'est pas un support pédagogique de technique de ventilation. Il traite délibérément des thèmes à prendre en compte pour la ventilation des habitations. Les bases générales, telles que la maîtrise des calculs de perte de charge, sont des prérequis.

Chapitre 1

Bases

1.1 Fonctions de la ventilation

Fournir un air de bonne qualité aux résidents est la fonction principale de la ventilation dans les habitations. Elle doit en outre satisfaire à d'autres exigences:

- La ventilation doit assurer un renouvellement d'air minimal pour des raisons de protection contre l'humidité.
- Ses composants et appareils ne doivent pas affaiblir l'isolation acoustique.
- Elle doit limiter la surchauffe estivale par un renouvellement d'air accru, en général par ouverture des fenêtres.
- Elle impacte considérablement sur le bilan énergétique des habitations de haute efficacité énergétique: d'une part

elle permet de réduire drastiquement les déperditions thermiques dues à la ventilation, toutefois en consommant de l'énergie électrique.

- Les aspects écologiques, par exemple l'énergie grise et l'aptitude à la déconstruction gagnant en importance, le besoin en ressources, respectivement l'impact environnemental de l'installation de ventilation doit être raisonnable par rapport à son utilité.
- La réalisation et l'exploitation des systèmes de ventilation doivent être économiquement viables, c'est-à-dire offrir un avantage adéquat par rapport aux charges financières qu'ils entraînent.

Les limites de la ventilation des habitations

Les systèmes de ventilation abordés dans ce livre augmentent le confort et aident à protéger la substance bâtie. La ventilation des habitations a les limites de performance et de confort suivantes, ceci indépendamment du système choisi:

- La ventilation n'est pas une climatisation et ne remplace pas la protection thermique estivale. Même en présence de fenêtres ouvrables et d'une ventilation mécanique intensive, une masse suffisante garantissant une inertie thermique et une protection solaire efficace sont indispensables pour un climat intérieur agréable en été.
- Elle permet par des mesures techniques appropriées de raccourcir les périodes avec une basse humidité relative de l'air intérieur laquelle dépend toutefois fortement de l'utilisation (occupation, comportement de l'utilisateur, sources d'humidité).
- Elle n'est pas dimensionnée pour une occupation inhabituellement élevée ou des odeurs intenses. Il faut s'attendre à des odeurs perceptibles lors de situations particulières telles que des fêtes de famille ou des soirées fondue.

- Elle ne résout pas les problèmes d'odeur provoqués par la fumée de cigarette dans les habitations et ne réduit pas les risques pour la santé qui y sont liés.

- Elle n'arrive pas à éliminer les polluants de l'habitat, elle les dilue uniquement. Dans la mesure du possible, les émissions provenant des matériaux de construction doivent être évitées à la source en choisissant des matériaux appropriés. Les utilisateurs de leur côté sont responsables de la pollution de l'air causée par l'ameublement et les activités (meubles, produits de nettoyage, bougies parfumées, etc.).

- Elle ne peut empêcher que les odeurs extérieures, telles que la fumée des poêles à bois ou des odeurs issues de l'agriculture, pénètrent dans l'habitation. Une ventilation mécanique permettrait dans ce cas de recourir à des filtres à charbon actif coûteux augmentant la perte de charge et par là la consommation d'énergie et le bruit. Le recours aux filtres à charbon actif doit donc rester exceptionnel.

1.2 Normes

En principe, seules les normes et directives suisses doivent être utilisées en Suisse. En effet, le recours à d'autres normes, telles que les normes DIN ou VDI peut amener à des malentendus, voire à des contradictions avec les normes et réglementations suisses. La réglementation suisse du domaine de la ventilation comprend les publications de la SIA (Association suisse des ingénieurs et des architectes), de la SICC (Société suisse des ingénieurs en technique du bâtiment) et de l'AEAI (Association des établissements cantonaux d'assurance incendie). En plus, toutes les normes commençant par l'abréviation «SN» sont en vigueur en Suisse. Ces normes ont été élaborées par le Comité Européen de Normalisation (CEN) et ont été reprises par les organismes suisses de normalisation (Association Suisse de Normalisation SNV et SIA). Les normes suivantes sont déterminantes par rapport à la ventilation des habitations:

SIA 180:2014 Isolation thermique et protection contre l'humidité dans les bâtiments

La norme SIA 180 est la norme suisse de base pour la physique du bâtiment, la protection thermique en été et en hiver et le confort thermique. Elle définit par ailleurs des exigences en matière de concept de ventilation.

SIA 382/1:2014 Installations de ventilation et de climatisation – Bases générales et performances requises

Cette norme couvre toutes les installations de ventilation pour des locaux destinés principalement au séjour de personnes. Il s'agit d'une norme générale qui n'aborde pas de manière spécifique la ventilation des habitations. Les autres normes et directives suisses traitant de ventilation sont subordonnées à la norme SIA 382/1. Au terme du délai rédactionnel du présent livre, la révision de la norme SIA 382/1 était en cours.

SIA 382/5:2021 Ventilation mécanique dans les habitations

La norme SIA 382/5 a remplacé le cahier technique SIA 2023. Basé principalement sur cette norme, le présent livre aborde plusieurs thèmes en faisant référence à celle-ci. Il est recommandé de la consulter en parallèle. C'est toujours le texte original de la SIA 382/5 qui fait foi.

1.3 Qualité de l'air intérieur et polluants

Les êtres humains et les animaux consomment de l'oxygène pour faire fonctionner leur métabolisme. Bien avant que l'oxygène ne s'épuise dans une pièce, l'odeur devient insupportable. La concentration de polluants peut parallèlement atteindre un niveau préoccupant pour la santé. Les locaux sont par conséquent ventilés en premier lieu pour faire diminuer les charges et non pas pour amener de l'oxygène.

Charges induites par les personnes

Le dioxyde de carbone (CO_2) est un bon indicateur de la qualité ressentie de l'air intérieur lorsque les odeurs proviennent principalement du métabolisme humain. Le CO_2 est inodore et, dans les bâtiments ventilés, sa concentration n'atteint pas une plage critique pour la santé. Le rejet de CO_2 des humains dépend de leur activité et de leur taille. Dans les habitations, les adultes rejettent normalement les quantités de CO_2 suivantes:

- Activité diurne moyenne: 18 – 20 l/h par personne (valeur de calcul 20 l/h)
- Sommeil: 12 à 14 l/h par personne (valeur de calcul 13,6 l/h)

Des études empiriques ont montré que les personnes entrant dans une pièce jugent la qualité de l'air intérieur bonne si la teneur en CO_2 ne dépasse pas 800 à 1000 ppm¹. En revanche, si les gens restent un certain laps de temps dans un local, ils s'habituent aux odeurs –

¹ Rapporté à une concentration de CO_2 de 400 ppm dans l'air extérieur

majoritairement les leurs. La qualité de l'air intérieur est alors considérée acceptable si la teneur en CO₂ se trouve entre 1200 et 1400 ppm. Cette valeur convient pour les chambres à coucher. Elle est aussi admise pour les locaux dans lesquels plusieurs personnes se tiennent le jour pendant quelques heures. La norme SIA 382/1:2014 recourt à des catégories d'air neuf (INT) résumées au tableau 1.1. Sa révision est en cours et prévoit d'adapter les catégories aux nouvelles normes européennes. Les rejets de CO₂ et la teneur en CO₂ visée permettent de calculer le débit d'air neuf à fournir à un local ou une habitation. Les valeurs correspondantes se trouvent au chapitre 3.

Pollution de l'air intérieur par l'utilisation

Une grande part de la charge de poussières fines est littéralement faite maison. Des informations utiles à ce sujet sont détaillées dans la fiche «Poussières fines dans l'air intérieur» de l'Office fédéral de la santé publique [1]. Les bougies, bâtonnets d'encens, feux ouverts (p. ex. cuisinières à gaz, cheminées, cheminées à l'éthanol) émettent des quantités considérables de poussières fines et, le cas échéant, d'autres substances indésirables. Même faire la cuisine, par exemple saisir ou frire génère des poussières fines.

Fumer provoque une pollution massive de l'air intérieur. Il est impossible d'obtenir une bonne qualité de l'air intérieur dans les locaux dans lesquels se tiennent des fumeurs. Les meubles et

autres objets d'ameublement peuvent aussi diffuser des substances indésirables dans l'air intérieur. Il incombe aux résidents et résidentes de réduire ces pollutions autant que possible.

Matériaux de construction

Le chiffre 3.3 de la norme SIA 180:2014 stipule de choisir des matériaux de construction ne diffusant pas ou une très faible quantité de polluants dans l'air intérieur. L'annexe B de la norme SIA 382/5:2021 liste des publications donnant des informations plus détaillées.

Construire selon Minergie-Eco crée de bonnes conditions pour que la substance bâtie pollue le moins possible l'air intérieur. Ce standard impose et contrôle le recours aux matériaux à faibles émissions.

1.4 Pollution de l'air extérieur

En Suisse, la pollution de l'air extérieur avec des poussières fines et des oxydes d'azote a tendance à diminuer depuis plusieurs années. Il peut arriver que les valeurs indicatives et les valeurs limites soient encore dépassées localement et régionalement, surtout le long des routes à fort trafic. Les sites Internet suivants listent des valeurs de la qualité de l'air extérieur:

- www.ostluft.ch: valeurs mesurées et prévisions des cantons de Suisse orientale.
- www.bafu.admin.ch: cartes avec valeurs annuelles pour toute la Suisse, établies par l'Office fédéral de l'environnement.

Catégorie	Utilisations à titre d'exemple	Teneur en CO ₂
INT 1	Locaux spéciaux tels que laboratoires et salles blanches	non définie
INT 2	Locaux avec des contraintes élevées de qualité de l'air intérieur, en particulier en ce qui concerne l'accès fréquent de personnes, par exemple	< 1000 ppm
INT 3	Locaux répondant à des contraintes moyennes à la qualité de l'air intérieur, typiquement des locaux d'habitation et de bureaux	1000 à 1400 ppm
INT 4	Locaux non habitables ou rarement habités, locaux secondaires et locaux annexes	> 1400 ppm

Tableau 1.1:
Catégories d'air intérieur selon la norme SIA 382/1:2014, avec utilisations à titre d'exemple.

Si la concentration de poussières fines est supérieure aux valeurs conseillées par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), il est recommandé de choisir un système de ventilation qui permet de recourir à des filtres ISO ePM1 à 50 % (équivalent à la classe précédente F7) ou meilleurs.

Radon

Le radon est un gaz radioactif naturel émanant des sous-sols et qui peut pénétrer dans les bâtiments. Le risque de présence de radon dépend de la localisation du bâtiment et de sa construction. Le radon est considéré comme cause naturelle la plus importante du cancer des poumons. L'Office fédéral de la santé publique (OFSP) estime que le radon provoque 200 à 300 décès par an. Sur la page Internet consacrée au radon, l'OFSP réunit des informations exhaustives ainsi qu'une carte avec les zones à risque (www.ch-radon.ch).

L'ordonnance fédérale sur la radioprotection (ORaP) du 26 avril 2017 fixe le niveau de référence pour le radon à 300 Bq/m³. Il représente l'exposition au radon d'une personne, cumulée sur une année et ne devrait pas être dépassé. Le niveau de référence s'applique aux locaux où les personnes séjournent régulièrement durant plusieurs heures, donc aussi aux bâtiments d'habitation. La responsabilité liée au radon incombe au propriétaire du bâtiment, respectivement au maître d'ouvrage. Il a l'obligation de prendre des mesures préventives correspondant à l'état de la technique afin de maintenir les concentrations de radon en dessous du niveau de référence. La norme SIA 180:2014 définit l'état de la technique. Si le niveau de référence est dépassé dans une pièce, les

propriétaires doivent prendre les mesures d'assainissement nécessaires à leurs frais.

Les nouveaux bâtiments avec des radiers et des dalles de sous-sol en béton sont considérés en principe comme non problématiques, ceci à condition que les radiers ne comportent aucun percement pour des conduites (canalisation, sondes géothermiques, etc.). Dans les régions à risque, le problème doit être pris très au sérieux, en particulier pour les maisons unifamiliales d'un certain âge. Par rapport à la ventilation, il s'agit d'être attentif aux points suivants:

- Les prises d'air extérieur doivent se trouver au minimum 0,8 m au-dessus du terrain.
- Une dépression comporte un certain risque dans les bâtiments existants sans radier ou avec radier fissuré. Dans ces conditions, une installation d'air repris est peu indiquée.
- Les passages de conduites d'air dans les dalles et les parois contre terre doivent être étanches au gaz.
- Les échangeurs thermiques air/sol doivent être étanches aux gaz.

Dans le cadre d'une étude de la Haute école de Lucerne [2], les concentrations de radon ont été mesurées dans 15 bâtiments équipés d'une aération douce et d'échangeurs de chaleur air-sol. Pour tous les bâtiments étudiés, la concentration moyenne de radon dans les locaux habités était nettement inférieure à 100 Bq/m³, respectant ainsi les recommandations de l'OMS. En sus, la concentration de radon était plus faible que dans les bâtiments de référence situés dans la même commune et aérés naturellement. Malgré le nombre statistiquement faible des mesures effectuées, on peut affirmer qu'une aération douce a tendance à entraîner une concentration de radon plus faible qu'une ventilation par fenêtre.

Valeur	Type de poussières fines	
	PM2,5	PM10
Moyenne annuelle	10 µg/m ³	20 µg/m ³
Moyenne sur 24 heures	25 µg/m ³	50 µg/m ³

Tableau 1.2: Émissions maximales de poussières fines selon les recommandations de l'OMS.

1.5 Humidité relative de l'air intérieur

L'humidité de l'air intérieur dépend de l'installation de ventilation, du climat extérieur et de la production de vapeur d'eau dans l'habitation (présence de personnes, habitudes d'aération, cuisine, douches, etc.).

Production de vapeur d'eau

En l'absence de convention d'utilisation contraire, l'habitation est supposée être utilisée conformément à la norme SIA 2024. Le tableau 1.3 illustre la production de vapeur d'eau dans un immeuble d'habitation sur la base des normes SIA 2024:2015 et SIA 180:2014. Pour les logements occupés en permanence, ces valeurs sont plutôt conservatives. Certes, à 21°C, la production de vapeur d'eau des utilisateurs est d'environ 20% inférieure à celle générée à 24°C. En revanche, pour le poste «autres sources de vapeur d'eau», la production de vapeur d'eau peut facilement être admise à une valeur deux à quatre fois plus élevée, ceci en fonction des habitudes de cuisine, du nombre de plantes, etc. En général, 1 à 1,5 kg de vapeur d'eau sont produits par personne et par jour dans les habitations.

Exigences en hiver

Selon les normes SIA 180:2014 et SIA 382/1:2014, l'humidité relative de l'air intérieur (HR) minimale admise est

de 30%. Cette exigence est précisée de la manière suivante:

- Le taux d'humidité peut être inférieur au taux d'humidité minimum admis jusqu'à concurrence de 10 % du temps d'utilisation.
- L'humidité relative de l'air intérieur se réfère à une température ambiante de 21°C pour une utilisation standard des locaux. Si les températures ambiantes prévues s'en écartent, l'humidité est convertie à 21°C.
- Pour des altitudes au-dessus de 800 m, la limite d'humidité admise est réduite de 1% HR par tranche de 100 m.

Les normes SIA ne définissent pas clairement comment justifier le respect de ces exigences. Les points suivants sont à préciser pour une justification:

- Calcul statique ou dynamique? Il faut déterminer entre autres comment gérer l'humidité stockée par les matériaux de construction et les équipements. Calculs statiques et dynamiques ont été comparés dans l'étude «Humidité dans les bâtiments à basse énergie» de l'Office fédéral de l'énergie [3]. Aucune différence significative n'en résultait pour les journées hivernales typiques. Dans des conditions extrêmes avec une humidité extérieure très basse, le calcul dynamique a abouti à des résultats légèrement plus élevés pour l'humidité de l'air intérieur.
- Production de vapeur d'eau: les normes SIA ne définissent aucune valeur

Description	Unité	Activité		Toute la journée
		Eveil	Sommeil	
Durée de l'activité (présence selon la SIA 2024:2015)	[h]	6	8	14
Production de vapeur d'eau par personne et par heure (selon la SIA 180:2014, à 24 °C)	[g/h]	70	45	-
Production cumulée de vapeur d'eau par personne pendant la durée de l'activité	[g/d]	420	360	780
Autres sources de vapeur d'eau (s'appuyant sur la SIA 2024:2015: 15 g/h par personne en cas de présence)	[g/d]	-	-	220
Production de vapeur d'eau par personne et par jour	[g/d]	-	-	1000

Tableau 1.3:
Production de vapeur d'eau par personne et par jour dans un habitat collectif.

claire et encore moins sa variation journalière. En outre, la part de la production de vapeur

Une personne produit généralement 1 à 1,5 kg de vapeur d'eau dans l'habitat.

d'eau évacuée directement (p. ex. via l'air repris de la salle de bain) et celle finissant

dans les chambres ne sont pas connues. Par ailleurs, il y a une différence notable entre hottes d'aspiration à air rejeté et celles à air recyclé.

- Concept de ventilation: il faut définir le débit d'air neuf et la manière de le commander ou régler. En outre, il faut déterminer les infiltrations existantes. En présence d'une récupération d'humidité, il faut en définir l'indice.

- Distinction des pièces: la norme SIA 2024 considère l'ensemble du logement comme une seule zone contiguë avec les mêmes conditions. Les normes de ventilation, par contre, supposent des portes fermées à l'intérieur de l'habitation. Il s'agit d'une différence notable en termes de répartition de l'humidité.

Recommandations pour l'hiver

Une humidité de l'air intérieur passant en dessous de 30 % pendant quelques jours par année n'est pas problématique pour les personnes en bonne santé. Il arrive toutefois que des taux d'humidité relative très bas soient néfastes pour des personnes avec des besoins sanitaires spécifiques (peau, voies respiratoires).

Une ventilation mécanique pour habitations ne devrait pas comprendre une humidification active de l'air fourni, car une maintenance non professionnelle peut augmenter les risques pour la santé. Les mesures techniques suivantes permettent d'augmenter l'humidité de l'air intérieur:

- Ne pas surdimensionner les débits d'air neuf: les déterminer en fonction des valeurs minimales de la SIA 382/5.

- Réguler les ventilations des habitations selon les besoins.

- En hiver, récupérer en parallèle la chaleur et l'humidité avec un échangeur à enthalpie permet d'augmenter le taux d'humidité relative de l'air intérieur de 5 à 10 %, à condition de respecter au moins un des deux points ci-dessus.

- Régler les débits d'air des habitations peu occupées selon l'utilisation et l'occupation effectives. Cette mesure est particulièrement recommandée pour les maisons unifamiliales et les propriétés par étages.

En plus des mesures techniques, les mesures d'exploitation suivantes permettent d'influencer le taux d'humidité :

- Choisir le niveau de ventilation en fonction des besoins.

- Ne pas surchauffer: augmenter la température ambiante de 21°C à 24 °C, par exemple, fait diminuer le taux d'humidité relative de 35 % à 29 %.

- Laisser les portes ouvertes dans les habitations: en effet, si le bruit et la propagation des odeurs ne sont pas un obstacle les portes devraient rester ouvertes pour permettre à la vapeur d'eau produite de se répartir dans toutes les pièces.

Les plantes dégagent de la vapeur d'eau. Cependant, il ne faut pas surestimer leur effet, un yucca d'environ 80 cm ne produit qu'environ 2 g/h. En outre, il peut arriver que les plantes en pot libèrent des spores de moisissures dans l'air intérieur. Si une humidification active est nécessaire pour des raisons de santé, il est judicieux de disposer des humidificateurs directement dans les pièces. Ces appareils sont à mettre en marche avec parcimonie, car ils consomment beaucoup d'énergie. Pour des raisons d'hygiène, il est indispensable de les nettoyer régulièrement.

Il est par contre délicat de laisser sécher le linge dans l'habitation pour augmenter le taux d'humidité de l'air intérieur.

Certes, les quantités considérables de vapeur d'eau dans l'air intérieur sont le résultat souhaité lors de basses températures extérieures. Cependant, lors de

températures extérieures plus élevées, le taux d'humidité de l'air intérieur peut devenir trop important et provoquer des problèmes de santé dus à des moisissures. Il est judicieux de surveiller l'humidité de l'air intérieur au moyen d'un hygromètre en particulier si on laisse sécher du linge dans l'habitation. Le document [4] donne des informations plus détaillées sur l'humidité et l'humidification.

Parquet et matériaux de construction sensibles à l'humidité

En résumé, le rapport final de l'étude «Raumluftfeuchte in Wohnneubauten» de 2007 [5] affirme au sujet des parquets: le bois est un matériau hygroscopique. Un parquet sans joints est impossible en raison des propriétés du bois. La largeur des joints dépend de l'essence de bois; le coefficient de retrait est un paramètre important. La conservation de la forme (en cas de retrait et de gonflement) dépend de la qualité du bois, entre autres de son homogénéité (part de bois jeune).

Un parquet de bonne qualité supporte une humidité relative de l'air intérieur jusqu'à 30%, voire des taux plus bas pour de courtes durées. La formation de fissures dépend par ailleurs de la température (chauffage au sol) et du gonflement durant le premier été. Si un faible risque de fissures sur la durée est exigé, les aspects suivants doivent être pris en compte:

- Choisir des essences et des qualités qui sont généralement moins susceptibles de se fissurer. A titre d'exemple, le chêne se fissure peu, le hêtre est moins favorable.
- Choisir des lames de parquet étroites.
- Éviter les vernis et les vitrifications sur les chants.
- Utiliser éventuellement un parquet stratifié (multicouches).
- Pour les chauffages au sol, limiter la température aller à 30 °C, si possible. La valeur maximale est de 35 °C, ce qui correspond également aux prescriptions cantonales relatives à l'énergie.

La norme SIA 180, chiffre 3.2.8, stipule que «Les matériaux de construction doivent être choisis de manière qu'ils ne s'endommagent pas en absence d'humidification.» Le chiffre 6.4 aborde la prévention de trop grandes variations de forme des matériaux organiques.

D'après celle-ci, les valeurs moyennes journalières de l'humidité relative de l'air intérieur doivent être généralement comprises entre 30 % et 70 % jusqu'à une altitude de 800 m. À des altitudes supérieures à 800 m, la limite inférieure et la limite supérieure sont réduites de 1% HR par 100 m. Il est admis que les limites sont dépassées vers le haut, respectivement vers le bas, pendant au maximum 5 jours consécutifs par mois. Certes, la norme SIA 180 dit que la plage admissible de l'humidité relative de l'air intérieur est à maintenir sans humidification ni déshumidification actives. Cependant, elle ne dit pas comment garantir ou justifier ce point de manière concrète. Les mesures listées au paragraphe «Recommandations pour l'hiver» sont judicieuses; en revanche, elles n'assurent pas le respect de cette exigence. En fonction de la situation, l'utilisation d'humidificateurs mobiles doit être envisagée.

Taux élevé d'humidité de l'air intérieur

Les taux élevés d'humidité de l'air intérieur sont nettement plus problématiques que des taux bas. Notamment pendant le semestre d'été, il y a un excédent d'humidité dans les habitations qui doit impérativement être évacué en aérant. Les taux d'humidité de l'air ambiant dépassant 70 % font augmenter le risque de développement de moisissures de manière significative.

La SIA 180:2014 aborde ce sujet au chapitre 6. L'air ambiant très humide n'est pas perçu comme frais et des odeurs apparaissent, générées par le développement de micro-organismes. Au moins pendant l'hiver, il faudrait créer des conditions défavorables à la prolifération des acariens pour les personnes allergiques. Selon le Centre d'Allergie Suisse,

ces conditions défavorables sont remplies lorsque l'humidité de l'air ambiante est inférieure à 50 % avec une température située entre 19 et 21°C au salon et à 19 °C au maximum aux chambres à coucher.

Avec des ventilations réalisées et exploitées dans les règles de l'art et une production de vapeur d'eau usuelle, il n'y a pas de problèmes dus à l'humidité excessive de l'air ambiant dans les habitations. En revanche, les locaux situés en dehors de la zone chauffée, tels que caves et locaux de séchage, peuvent être problématiques (voir point 10.3).

1.6 Protection contre la surchauffe estivale

Une bonne protection contre la surchauffe estivale est la base d'un confort thermique adéquat. Deux principes centraux s'appliquent dans tous les cas, indépendamment du fait de refroidir ou non:

- Une protection solaire extérieure et mobile qui réduit pendant la journée l'apport de chaleur à travers les vitrages de l'enveloppe.
- Une masse à capacité thermique suffisante qui amortit les apports de chaleur.

Ces deux points ne font pas partie du présent livre et ne sont pas approfondis davantage. Les paragraphes suivants abordent néanmoins l'évacuation de la chaleur par l'aération.

Pendant la journée, la charge thermique du rayonnement solaire et la chaleur générée à l'intérieur du bâtiment sont accumulées dans les masses à capacité thermique. Ce stock peut à nouveau être déchargé au moyen d'une ventilation intensive pendant les heures fraîches de la nuit et du matin. A condition que les exigences concernant la protection solaire et les masses à capacité thermique soient remplies, la ventilation naturelle suffit pour atteindre un bon confort thermique dans les habitations.

Refroidissement nocturne par ventilation naturelle

Un refroidissement nocturne efficace implique en principe un double, voire triple renouvellement d'air par heure. Les recommandations suivantes s'appuient sur la norme SIA 180:2014, chiff. 5.2.3: la section des ouvertures doit correspondre à 5 % au moins de la surface nette de plancher du local. Pour les locaux d'une profondeur jusqu'à 2,5 fois leur hauteur, les fenêtres disposées sur une seule face du local suffisent. Pour des profondeurs de local de 2,5 à 5,0 fois leur hauteur, les fenêtres doivent être situées sur deux faces du local (soit sur 2 faces parallèles ou perpendiculaires). L'ouverture des fenêtres basculantes ne correspond souvent pas à la surface nécessaire.

Refroidissement nocturne par ventilation mécanique

Les ventilations pour habitations réalisent un renouvellement d'air horaire situé entre 0,5 et 1,0. Elles ne sont ainsi pas très appropriées pour refroidir. Combinées avec de très bonnes mesures constructives, elles ne parviennent à abaisser la température ambiante maximale que légèrement, d'environ 1 à 3 K. Si une ventilation mécanique est censée contribuer au refroidissement nocturne, elle doit être mise en fonction de la manière suivante:

- Désactiver la récupération de chaleur.
- Désactiver également une régulation éventuelle en fonction des besoins via la qualité ou le taux d'humidité de l'air.
- Faire fonctionner l'appareil de ventilation au régime le plus élevé encore raisonnablement supportable la nuit par rapport au bruit généré.

Avec une aération douce, refroidir l'air neuf en amont au moyen d'un échangeur de chaleur air-sol, si possible. Il est en principe recommandé d'utiliser l'aération douce uniquement exceptionnellement pour le refroidissement nocturne. Com-

parée à d'autres solutions, son efficacité est plutôt faible et sa consommation d'énergie plutôt élevée.

1.7 Commande/régulation et exploitation

Définitions et exigences de la norme SIA 382/5

La norme SIA 382/5 distingue quatre différents régimes, voir le tableau 1.4. Afin de faciliter la lecture du présent livre, nous recourrons par la suite aux termes abrégés de ce tableau. Les habitants doivent pouvoir régler les installations de ventilation fonctionnant en plusieurs vitesses au minimum sur «régime normal» et sur «aération douce». Les boîtiers de commande sont à disposer à des endroits facilement accessibles à l'intérieur des habitations. Les installations de ventilation doivent être munies d'un interrupteur principal ou d'une prise secteur facilement accessible permettant de les éteindre, respectivement de les déconnecter du secteur en cas d'incendie ou de dysfonctionnement. Cette prescription ne s'applique pas aux ventilations par local qui ne sont pas prévues pour un fonctionnement continu, par exemple les ventilations d'air repris pour salles de bain ou toilettes. Les installations par logement et les ventilations par local doivent pouvoir être déclenchées par les utilisatrices ou les résidentes. Les installations pour plusieurs logements doivent pouvoir

être déclenchées par une personne ayant reçu une instruction. Dans les zones accessibles au public, il est important d'empêcher toute utilisation abusive de l'interrupteur principal, par exemple au moyen d'un boîtier vitré. En outre, les exigences de la directive de protection incendie AEAI 25-15 (chapitre 4.12) s'appliquent.

1.8 Protection incendie

Les cantons fixent les bases légales de la protection incendie. La plupart des cantons reprennent à ce titre les normes et directives de l'Association des établissements cantonaux d'assurance incendie (AEAI). La majorité des documents AEAI importants sont disponibles gratuitement sur www.praever.ch.

AEAI 25-15 Directive de protection incendie – Installations aérauliques

Cette directive définit les exigences et mesures générales pour les installations aérauliques. Elle fournit des détails et des exemples au sujet de la ventilation mécanique des habitations. Les prescriptions suivantes sont à relever:

- Chaque appartement représente un compartiment coupe-feu. Plusieurs appartements d'une habitation collective peuvent constituer un groupe de compartiments coupe-feu sans clapets coupe-feu à condition de ne pas dépasser 600 m².
- Un climatiseur alimentant plusieurs groupes de compartiments coupe-feu

Mode de fonctionnement (abréviation utilisée dans le présent livre)	Définition selon la SIA 382/5 et remarques
Régime normal de ventilation (régime normal)	Régime pour lequel l'installation de ventilation a été dimensionnée. Remarque: le calcul et le dimensionnement des ventilations mécaniques dans les habitations sont identiques pour le régime de jour et de nuit.
Ventilation de base (régime de base)	Régime d'aération réduit lorsque les locaux sont inoccupés. Remarque: il est possible d'activer ce mode de fonctionnement aussi lors d'une faible occupation, par exemple le jour avec une seule personne dans un appartement de 4 pièces.
Ventilation intensive (régime intensif)	Régime exceptionnel en cas de forte charge ou en dehors du temps d'utilisation effectif (p.ex. refroidissement nocturne). Remarque: il est possible de réaliser ce régime soit par une ventilation mécanique ou soit par une aération par ouverture manuelle des fenêtres.

Tableau 1.4:
Modes de fonctionnement des installations de ventilation selon la SIA 382/5.

ventilés ensemble doit être équipé, sur les conduites d'air vicié, d'un dispositif couplé à un détecteur de fumée qui en cas de besoin commande l'arrêt de l'installation aéraulique et la fermeture des clapets coupe-feu.

- Les conduites en matière synthétique de la classe RF3 sont autorisées à l'intérieur d'un compartiment coupe-feu si les conduits de ventilation sont noyés dans le béton ou s'il s'agit d'échangeurs de chaleur géothermique.
- A certaines conditions, l'air vicié des hottes d'aspiration peut être raccordé à la ventilation mécanique d'habitation.

Divers documents FAQ sur la protection incendie complètent, respectivement interprètent certaines normes et prescriptions. Pour les aérations douces, il est important de se référer au document fixant l'état de la technique intitulé «Protection incendie dans les aérations de bâtiments d'habitation», établi par l'association ImmoClimat Suisse. Il s'agit d'une aide à l'application et à la planification spécialement conçue pour les aérations douces. Ce document résume les exigences de différents documents AEAI et présente des solutions typiques à l'aide de nombreux exemples.

1.9 Bibliographie

- [1] Office fédéral de la santé publique (OFSP): Poussières fines dans l'air intérieur (fiche d'information), Berne, 2008. Téléchargement sur www.bag.admin.ch → Vivre en bonne santé → Environnement & santé → Produits chimiques → Produits chimiques de A-Z → Poussières fines
- [2] Bionda, Davide et al.; Radonbelastung in Innenräumen von Niedrigenergiebauten mit Luft-Erdwärmekesseln, Hochschule Luzern, Horw 2012. Download via www.uwe.lu.ch → Publikationen
- [3] Frei, Beat: Feuchte in Niedrigenergiebauten. Schlussbericht des BFE-Projekts 101843. Hochschule Luzern, Horw, 2007.
- [4] Office fédéral de la santé publique (OFSP): Humidificateurs (fiche d'information), Berne, 2007. Téléchargement sur www.bag.admin.ch → Vivre en bonne santé → Environnement & santé → Polluants de l'habitat → Habiter sainement → Humidificateurs
- [5] Ganz, Roland: Schlussbericht Raumluftfeuchte in Wohnneubau-ten. Ganz Klima GmbH, Rüti, 2007. Download via www.bag.admin.ch → Gesund leben → Umwelt & Gesundheit → Wohngifte → Ge-sundes Wohnen → Luftbefeuchter

Concept de ventilation, exigences

2.1 Elaboration du concept de ventilation

La norme SIA 180 exige l'élaboration d'un concept de ventilation dans la phase d'avant-projet. Ce concept peut être basé sur la ventilation naturelle ou sur la ventilation mécanique. Une combinaison des deux, appelée ventilation hybride, est aussi possible. Selon la norme SIA 382/5, un concept de ventilation comprend toutes les mesures de planification nécessaires pour assurer le renouvellement d'air défini.

La mise en œuvre technique peut se faire au moyen de nombreux systèmes, allant de l'ouverture manuelle des fenêtres à la climatisation. Le présent livre se limite aux solutions en grande partie mécanisées du renouvellement de l'air. Il préconise en outre que les installations de ventilation assurent et se limitent en priorité au renouvellement d'air nécessaire à l'hygiène et à la physique du bâtiment. Les fonctions «chauffer» et «refroidir» devraient être séparées du renouvellement d'air. Les exceptions à cette règle sont traitées aux points 1.6 Protection contre la surchauffe estivale, 10.4 Chauffages à air chaud et 9.10 Appareils multifonctions.

Les étapes suivantes sont recommandées pour élaborer un concept de ventilation:

1. Clarifier les conditions-cadres et les exigences
2. Déterminer la circulation de l'air dans l'habitation
3. Déterminer la circulation de l'air dans la pièce
4. Choisir le système de ventilation
5. Définir la ventilation de la zone de cuisson

Les conditions-cadres et les exigences sont abordées aux points 2.2 à 2.13. Les exigences acoustiques sont traitées au point 11.2. La circulation de l'air dans

l'habitation et la pièce fait l'objet du chapitre 3. Quant au choix du bon système, il n'y a pas de règle étant donné que les préférences personnelles jouent un rôle déterminant. Néanmoins, le chapitre 4 fournit un aperçu général des systèmes et des informations afin de pouvoir comparer et choisir le système approprié. Les hottes de cuisson sont traitées au point 10.1.

2.2 Occupation et utilisation

Même si dans ce livre il est uniquement question d'habitation (habitats individuels et collectifs), un nombre d'utilisations très large est possible englobant le ménage d'une personne, la collocation, la famille recomposée, la famille monoparentale, le télétravail, pour finir avec la famille conventionnelle avec deux enfants. Une des qualités essentielles d'une habitation est qu'elle s'adapte à diverses formes de cohabitation et modes de vie, qui, par définition, se modifient constamment. Le concept de ventilation doit en prendre compte.

Néanmoins, il est judicieux de limiter les données de planification à un cadre praticable. Le tableau 2.1 donne à cet égard quelques informations. Il donne le taux d'occupation moyen des appartements en Suisse pour 2019 et propose d'autres ratios sur la base desquels une installation de ventilation devrait être dimensionnée. La valeur la plus élevée est déterminante pour dimensionner le débit d'air. La valeur inférieure sert à déterminer le régime réduit qui empêche une humidité de l'air ambiant trop basse pendant la saison froide. Toutefois, le maître d'ouvrage peut évidemment définir des occupations différentes pour la planification.

L'énoncé principal du tableau 2.1 est le suivant: plus le logement est grand et plus l'occupation est basse, plus il faut pouvoir faire marcher l'installation en fonction des besoins. Cela permet a)

lors d'une occupation plus élevée d'obtenir une bonne qualité de l'air ambiant et b) lors d'une occupation plus basse de respecter la valeur limite pour l'humidité minimale de l'air ambiant en hiver. Outre la question de l'occupation de l'appartement se pose celle de l'utilisation et de l'occupation de chaque pièce. Dans le logement traditionnel, une pièce peut servir à dormir, jouer, étudier, télétravailler, aux loisirs ou encore au repos. Il est difficile de prévoir comment une pièce sera utilisée à long

terme. Même dans une famille traditionnelle, les parents ne dorment pas toujours dans

la grande chambre ni chaque enfant dans une plus petite chambre. Parfois, les parents se contentent de la plus petite chambre ou deux enfants partagent une petite chambre. Par conséquent, que ce soit pour des logements sociaux ou des logements traditionnels, chaque pièce doit pouvoir être utilisée comme chambre à coucher pour deux personnes et comme espace d'activité quotidienne pour une personne. Si les planificateurs de ventilation définissent à leur discréction les chambres des parents et des enfants, il s'agit d'un préjugé diminuant la valeur de l'habitat, car l'utilisation de l'espace est restreinte.

Des utilisations spéciales peuvent apparaître, telles que des pièces destinées à la thérapie ou la musique, en particulier pour les maisons unifamiliales et habitations de standard élevé. Le cas échéant, elles doivent être traitées spécifiquement par rapport au confort souhaité.

La planification de la ventilation ne doit pas définir, ni limiter les utilisations possibles.

Tableau 2.1: Taux d'occupation moyen des appartements en Suisse et propositions de taux présupposé pour le dimensionnement des installations de ventilation.

2.3 Qualité de l'air intérieur ressentie

Il est en principe recommandé de déterminer la qualité de l'air intérieur selon les exigences minimales de la norme SIA 382/5. Elles correspondent à une teneur en CO₂ se situant entre 1000 et 1400 ppm. Par défaut, cette valeur devrait être respectée lorsque les portes des pièces

Valeur standard du débit d'air fourni par chambre: 30 m³/h

sont fermées. Il en résulte un débit d'air par défaut d'au moins 30 m³/h par pièce. Cette valeur est utilisée à plusieurs reprises dans ce document.

Il est possible de définir une teneur en CO₂ plus élevée par convention d'utilisation, dans le cadre de bâtiments existants, de solutions minimales peu coûteuses ou d'une ventilation par mélange. Une autre possibilité est de spécifier que 1400 ppm sont respectés seulement si les portes des chambres sont ouvertes. Il est déconseillé de convenir de valeurs dépassant 1800 ppm. D'une part, la qualité de l'air diminuerait considérablement et, d'autre part, contrôler de manière complète la protection contre l'humidité deviendrait indispensable.

En cas d'exigences particulières, une autre possibilité consiste à convenir d'une teneur en CO₂ plus basse, respectivement d'un débit d'air plus important. Dans ce cas de figure, il faut être attentif à l'humidité de l'air ambiant qui baisse pendant la période de chauffage, ce qui peut impliquer le recours à des humidificateurs.

Dans les habitations planifiées avec une faible occupation, l'air intérieur peut être

Standard	Taille de l'appartement [nombre de pièces]					
	1–1,5	2–2,5	3–3,5	4–4,5	5–5,5	6–6,5
Moyenne en Suisse 2019 [nombre de personnes]	1,2	1,4	1,9	2,5	2,8	3,0
Taux d'occupation élevé (logement social, p.ex.) [nombre de personnes]	1–2	1–2	2–3	3–4	4–5	4–6
Taux d'occupation moyen (appartement locatif typique) [nombre de personnes]	1	1–2	1–2	2–3	2–4	3–5
Taux d'occupation bas (segment de prix élevé, habitat individuel, p.ex.) [nombre de personnes]	1	1	1–2	1–3	2–4	2–5

contaminé de manière significative par les émissions de polluants provenant des matériaux de construction ou du mobilier. C'est le cas par exemple lorsque la surface nette est supérieure à 50 m² environ par personne et/ou de présences de courtes durées. Il en va de même pour les résidences secondaires et les habitations régulièrement occupées moins de 10 heures par jour. Pour ce type d'utilisation, il faudrait convenir si une ventilation minimale est à planifier en dehors des plages d'utilisation ou si un supplément, induit par les émissions de polluants, est à ajouter pour le dimensionnement. Pour cette deuxième option, il faudra tenir compte que le débit d'air plus important entraîne un taux d'humidité de l'air intérieur plus bas.

2.4 Protection contre l'humidité

La protection contre l'humidité a comme objectif d'éviter l'apparition de condensation superficielle et de moisissure. Les surfaces froides des matériaux de construction combinées avec une humidité de l'air intérieur trop importante représentent un facteur de risque. La figure 2.1 indique l'humidité maximale admise de l'air intérieur pour des conditions standards et des données correspondant au chiffre 6.2 de la norme SIA 180:2014. Celles-ci presupposent

que la température ambiante est de 21°C lorsque la température extérieure est inférieure ou égale à 14°C. A des températures extérieures plus élevées, la température ambiante augmente de manière constante jusqu'à 24°C. Les nouvelles constructions respectent en général les exigences standard pour les éléments de construction selon la norme SIA 180. Les bâtiments existants, en revanche, peuvent présenter des points faibles tels que des ponts de froid, ce qui rend nécessaire une humidité de l'air intérieur plus basse. Ce point est à clarifier par un physicien du bâtiment. Pour écarter les risques de moisissure, plus la température extérieure est basse, plus l'humidité de l'air intérieur doit être basse. Toutefois, l'humidité minimale de l'air intérieur doit également être respectée (30 % jusqu'à une altitude de 800 m, voir point 1.5). La plage admissible du débit d'air est déterminée par rapport à ces deux exigences opposées en tenant compte aussi des aspects de commande/régulation et de récupération de l'humidité. Il faut assurer la protection contre l'humidité pour la plage supérieure de production de vapeur d'eau à l'intérieur de l'habitation. Il est conseillé de partir avec 1,2 kg par personne et par jour. L'humidité minimale de l'air intérieur, en revanche, devrait être respectée pour la plage inférieure de production de vapeur

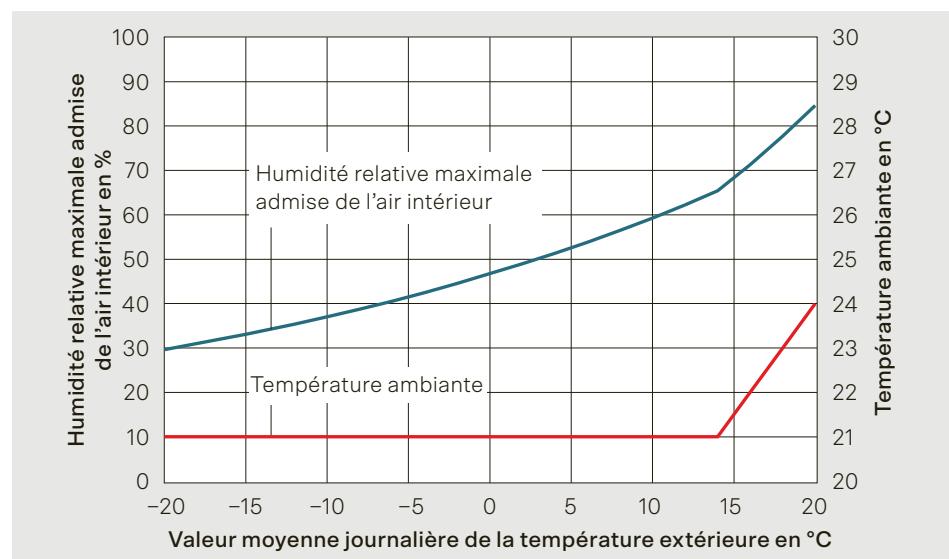


Figure 2.1: Protection contre l'humidité: humidité maximale admise de l'air intérieur pour des conditions standards selon la norme SIA 180:2014 en fonction de la température extérieure et de la température ambiante.

Interprétation 1 de la figure 2.2

Une installation de ventilation, fonctionnant en mode continu, fournit $30 \text{ m}^3/\text{h}$ par personne. La protection contre l'humidité est respectée dans tous les cas de figure. À partir d'une température extérieure de -1°C , tout en récupérant l'humidité, il n'est plus possible d'atteindre le taux exigé de 30 % d'humidité de l'air ambiant à Zurich.

À Davos, l'humidité relative minimale est de 22 % comme indiqué au point 1.5. Cette valeur n'est plus respectée en dessous de -8°C . La durée avec une valeur inférieure, admise à 10 % au maximum du temps d'utilisation comme indiqué au point 1.5, est probablement respectée. Pour les deux sites, sans récupération d'humidité, les durées avec une humidité trop basse devraient se prolonger.

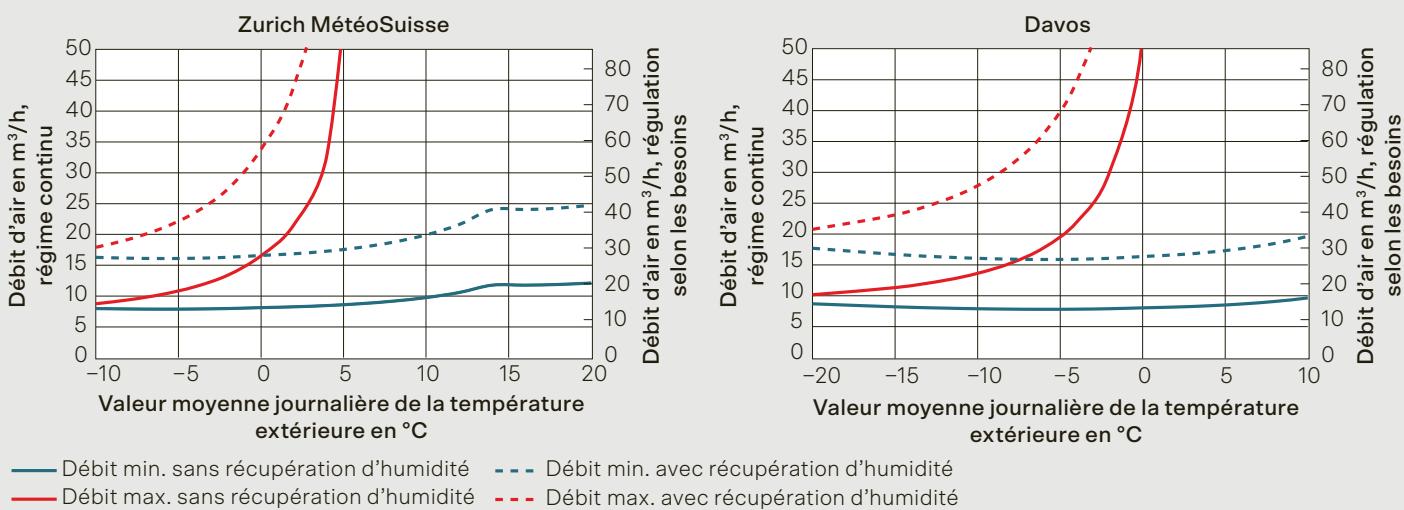
Interprétation 2 de la figure 2.2

L'installation de ventilation est dimensionnée pour $30 \text{ m}^3/\text{h}$ par personne, cependant elle est régulée pour fournir l'air selon les besoins. Sans récupération d'humidité, la protection contre l'humidité est garantie toute l'année. Avec une récupération d'humidité et lors de températures extérieures supérieures à 5°C , des mesures pour éviter des dégâts dus à l'humidité s'imposent. Les mesures qui entrent en ligne de compte sont l'augmentation de la durée de fonctionnement et/ou la désactivation de la récupération d'humidité, par exemple via le by-pass ou le régime du rotor.

La récupération d'humidité permet de respecter sans autre l'humidité minimale de l'air ambiant. En revanche, sans récupération d'humidité, le «critère des 10 %» est tout au plus respecté de justesse. Dans ce cas de figure, des investigations ou mesures supplémentaires sont nécessaires.

En recourant à la figure 2.1, il est primordial de vérifier si les conditions cadres présupposées s'approchent suffisamment de celles de la planification. Certaines utilisations peuvent produire plus de 1,2 kg de vapeur d'eau par personne et par jour. Pour les installations de ventilation sans récupération d'humidité, cela ne cause en général pas de problèmes. En revanche, pour les installations de ventilation avec récupération d'humidité, il est nécessaire de prévoir des mesures pour la protection contre l'humidité. La figure 2.1 permet de déduire que la valeur de consigne qui déclenche ces mesures dépend de la température extérieure.

Figure 2.2: Débit d'air minimal nécessaire et maximal admis par personne sur la base de l'humidité de l'air intérieur (hypothèses et conditions-cadres voir texte).



d'eau interne. A ce titre et selon le point 1.5, il faudrait partir avec 1,0 kg par personne et par jour.

Sur la base des données climatologiques pour Zurich et Davos, la figure 2.2 indique le débit d'air minimal requis par personne du point de vue de la protection contre l'humidité ainsi que le débit d'air maximal admis par personne pour assurer l'humidité relative minimale de l'air intérieur. La production de vapeur d'eau correspond aux valeurs proposées ci-dessus. La température ambiante et l'humidité maximale admissible de l'air ambiant sont les mêmes que sur la figure 2.1.

- L'axe vertical de gauche indique le débit d'air avec un fonctionnement constant pendant toute la journée (régime continu). L'axe vertical de droite indique le débit d'air avec une installation régulée selon les besoins. Les hypothèses sont les suivantes:
- La ventilation ne fonctionne que si l'utilisateur est présent.
- L'utilisateur est présent 14 heures par jour (14 heures à pleine charge par jour, cf. point 1.5).

La figure 2.2 montre les courbes des débits d'air admis, respectivement nécessaires, à chaque fois avec et sans récupération d'humidité. Pour la récupération d'humidité, il est présupposé que 60 % de l'humidité de l'air repris est transféré à l'air fourni.

En particulier dans le contexte de la récupération d'humidité, il faut évaluer la part du débit d'air entrant et sortant dans l'habitation par infiltration (fuites dans l'enveloppe du bâtiment). Celle-ci est admise à 15 % du débit d'air transporté de manière mécanique. Cette infiltration s'ajoute aux débits d'air indiqués à la figure 2.2 et évacue donc une quantité supplémentaire d'humidité.

2.5 Fenêtres

Les fenêtres ouvrables et les éléments tels que volets et ouvrants d'aération complètent de manière substantielle tous les systèmes traités dans ce livre. Ils peuvent notamment servir pour la ventilation intensive, le refroidissement nocturne et la protection contre l'humidité. En outre, un facteur psychologique important ne doit pas être négligé: la ventilation mécanique est nettement mieux acceptée si les utilisateurs ont la possibilité d'ouvrir une fenêtre à tout moment. Peu importe s'ils l'ouvrent effectivement.

La norme SIA 382/5, chiff. 4.1.7, exige en toute logique de pouvoir ouvrir au moins un vantail ou une fenêtre dans chaque local qui en dispose, cela même si l'aération exclusivement par ouverture des fenêtres ou le refroidissement nocturne ne sont pas envisageables, par exemple en raison du bruit extérieur.

Les fenêtres oscillantes restent plus facilement ouvertes en continu en comparaison avec les fenêtres dépourvues de cette fonction. Pour cette raison, il est parfois conseillé de ne pas monter des ferrures oscillantes. Nous rejetons ce point de vue sans hésitation. En effet, il s'agit d'une mise sous tutelle des utilisateurs et, en dehors de la saison de chauffage, il n'existe aucune raison de renoncer à laisser ouvertes les fenêtres oscillantes pendant de longues périodes. Enfin, les fenêtres oscillantes réduisent le risque d'effraction et protègent mieux contre les intempéries en comparaison avec les fenêtres ouvertes complètement.

Selon les exigences ou le niveau de confort, les fenêtres et les ouvrants d'aération peuvent être motorisés. En combinaison avec une commande/régulation, il est possible d'améliorer considérablement le refroidissement nocturne ainsi que la protection contre l'humidité et les intempéries.

2.6 Zone de séjour

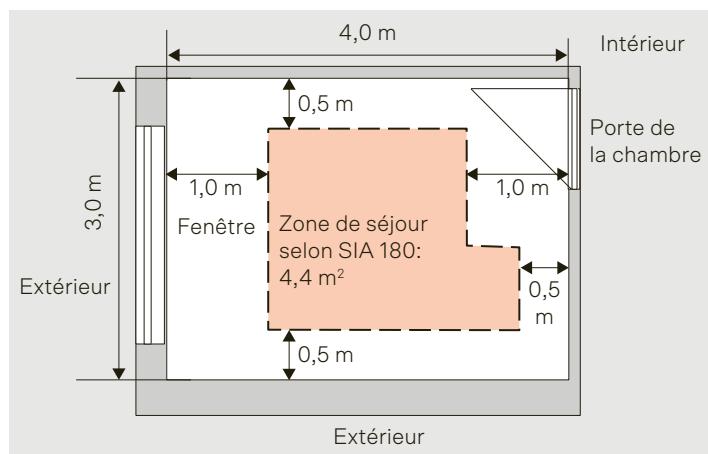
Toutes les exigences de confort doivent être remplies dans la zone de séjour. La norme SIA 180 définit une zone de séjour par les distances à certains éléments de construction et aux bouches d'air. Le concept de ventilation devrait aborder le sujet des zones de séjour de manière spécifique.

Pour la chambre de 12 m² représentée à la figure 2.3, la zone de séjour correspond à 37% seulement de la surface nette. Les exigences de confort sont remplies uniquement dans cette zone très restreinte, ce qui est sans doute insatisfaisant pour les maîtres d'ouvrage et utilisateurs. Dans les bâtiments répondant aux normes de construction actuelles, ces exigences sont remplies sur une zone plus étendue jusqu'à proximité immédiate des cloisons, parois extérieures et fenêtres isolées. En cas de distances plus petites, respectivement d'une zone de séjour plus grande, la disposition de la bouche d'air fourni est essentielle. Elle devrait se trouver à une distance comprise entre 0,5 et 1,0 m de la zone de séjour, ceci en fonction de la température de l'air fourni et de sa vitesse (voir aussi point 3.7).

2.7 Maintenance

Pour les propriétés par étage, il est conseillé de définir un responsable des travaux de maintenance de la ventilation (entretien, contrôle, remise en état). Les travaux de maintenance principaux sont résumés au point 13.6. Pour les locatifs, il est recommandé que le bailleur ou la gérance

Figure 2.3: Zone de séjour déterminée selon la norme SIA 180 pour une chambre (vue en plan).



mandatée organise tous les travaux de maintenance. Indépendamment du régime de propriété, les questions suivantes sont à clarifier:

- Est-il permis d'entrer dans les logements pour changer les filtres et effectuer des contrôles et nettoyages mineurs sur les appareils de ventilation? Si oui, à quelle fréquence? En fonction du type d'appareil et de la qualité des filtres, il faut prévoir deux à trois interventions par an.
- Est-il permis d'entrer dans chaque chambre, la cuisine et les locaux sanitaires pour changer les filtres et effectuer des contrôles et nettoyages mineurs? Si oui, à quelle fréquence? A titre d'exemple, pour des appareils de ventilation individuels par local et des bouches d'air neuf, il faut compter de deux à quatre opérations d'entretien par an.

Les exigences et préférences peuvent avoir un impact sur le choix du système.

2.8 Conditions de pression

Les installations de ventilation influencent les conditions de pression dans l'habitation. Les conditions de pression exigées pour l'exploitation de certains équipements tels que poêles ou cheminées peuvent avoir une incidence sur le choix du système de ventilation ou nécessiter des mesures spéciales (voir également point 10.2).

La norme SIA 382/5 comporte les exigences suivantes en matière de conditions de pression dont le concept de ventilation doit tenir compte:

4.4.5.2 *Sauf convention particulière, les installations de ventilation ne doivent induire ni surpression ni dépression dans une unité d'habitation.*

4.4.5.4 *Une dépression ou surpression éventuelle ne doit pas empêcher les usagers et les habitants qui ont une faible constitution corporelle de pouvoir ouvrir à tout moment les portes et les fenêtres. Il ne faut pas qu'une personne puisse se blesser en ouvrant une porte ou une fenêtre en raison d'une dépression ou d'une*

surpression (par ex. lors de la mise en marche d'une hotte à extraction d'air).

4.4.5.5 Lorsque les installations peuvent provoquer une dépression ou une surpression, il faut clarifier les risques liés à la physique du bâtiment.

Le concept de ventilation doit tenir compte de tout dispositif générant une sur- ou dépression, par exemple une installation d'aspirateur centralisé. Les hottes de cuisine sont traitées séparément au point 10.1, les infiltrations non souhaitées sont abordées au point 2.10.

2.9 Influences extérieures

Les influences extérieures comprennent, entre autres, la qualité de l'air extérieur, le bruit provenant de l'extérieur et le climat. Le concept de ventilation doit évaluer et déterminer si les immissions extérieures entraînent des restrictions en matière d'aération par les fenêtres.

Celles-ci peuvent influencer le concept de protection contre la surchauffe estivale (voir point 1.6).

Des conditions climatiques particulières, comme une forte exposition au vent ou des températures extérieures basses, peuvent limiter les fonctionnalités de certains systèmes de ventilation ou nécessiter des mesures complémentaires. C'est le cas dans les zones à risque élevé de radon et pour les maisons unifamiliales dans lesquelles une concentration élevée de radon a été mesurée. Les installations d'air repris, par exemple, ou les appareils de ventilation individuels par local sont particulièrement délicats dans ce contexte (voir point 1.4).

2.10 Etanchéité à l'air de l'enveloppe

Non seulement l'enveloppe des bâtiments doit être étanche, mais également les surfaces de séparation entre appartements. Les fuites génèrent les risques suivants:

- **Risque de dégâts de construction:** si l'air ambiant s'échappe par des fuites à l'extérieur, l'humidité peut se condenser sur ou dans les éléments de construction froids. Cette condensation peut provoquer des dégâts très importants.
- **Transmission du son:** si l'air arrive à passer, le son passe également. Les fuites affaiblissent par conséquent la protection contre le bruit provenant de l'extérieur, respectivement la protection entre appartements.
- **Courants d'air:** l'air extérieur froid pénétrant à l'intérieur provoque des courants d'air.
- **Transmission d'odeurs:** les fuites entre appartements permettent aux odeurs de passer.
- **Qualité de l'air douteuse:** les fissures et joints dans l'enveloppe du bâtiment et dans les zones d'installation sont souvent encrassés et ne répondent guère aux exigences hygiéniques pour les systèmes de ventilation. Il est impossible de contrôler et encore moins de nettoyer les endroits par lesquels l'air passe potentiellement. Des particules (poussières de chantier, restes d'insectes, etc.), mais aussi des émissions de matériaux de construction peuvent pénétrer par ces interstices dans l'appartement.
- **Apport de radon:** depuis une cave polluée, le radon peut pénétrer dans les habitations à travers des joints et des fissures, par exemple via des portes de cave et des zones d'installation.
- **Echange d'air accru:** l'échange d'air dû aux fuites augmente lors de températures extérieures basses ou de vents forts. Il en résulte une consommation accrue d'énergie et une basse humidité de l'air ambiant.

La figure 2.4 montre une zone d'installation non étanche dans un habitat collectif. Un volume d'air considérable pénètre par ce passage encrassé, en particulier lorsque la hotte d'aspiration est en fonction. Pour les installations d'air repris et les installations avec récupération d'humidité, les valeurs cibles d'étanchéité à l'air de l'enveloppe devraient être exigées, selon chiffre 3.6 de la SIA 180:2014. Les bâtiments existants non étanches à l'air subissent de plein fouet cette contrainte; le recours à une installation d'air repris est alors exclu et l'utilité d'une récupération d'humidité est très réduite. Ces valeurs cibles ne sont par ailleurs pas très élevées, elles méritent d'être aussi reprises pour les autres types d'installation de ventilation. Dans tous les cas, celles-ci ne doivent pas affaiblir l'étanchéité à l'air. A cet égard, les colonnes montantes des habitats collectifs constituent souvent un point faible.

2.11 Zones d'installation et protection incendie

Pour le concept de ventilation, il faut définir les zones d'installation possibles (colonnes montantes, distribution horizontale, emplacements des appareils). Le choix du système détermine l'espace nécessaire. Les zones disponibles dans les bâtiments existants restreignent parfois les choix. Par ailleurs l'accessibilité pour la maintenance doit être garantie. Pour les habitats collectifs, le concept de ventilation et la protection incendie dépendent l'un de l'autre. Il est à établir de concert avec l'expert incendie.

Figure 2.4: Zone d'installation en crassée par les fuites d'air passant d'un appartement à un autre. (Source: Haute école de Lucerne)



2.12 Locaux secondaires et annexes

Les locaux en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment ne peuvent en principe pas être raccordés à une ventilation mécanique pour habitation; leur conditionnement est traité au point 10.3. Les prescriptions de la norme SIA 382/5 sont peu contraignantes pour la ventilation des locaux secondaires et annexes à l'intérieur de l'enveloppe thermique. Pour les locaux borgnes avec une humidité accrue, une extraction d'air mécanique est indispensable, en mode continu ou intermittent (éventuellement avec un renouvellement d'air par local). Les cagibis et les réduits sont ventilés - ou non - en fonction des exigences de confort. Un faible débit d'air repris, 10 à 20 m³/h, est suffisant pour maintenir la qualité de l'air à un niveau élevé, si souhaité. Il permet d'évacuer les odeurs des chaussures ou vêtements, par exemple. La situation est plus floue s'il s'agit d'évacuer des charges thermiques provenant des appareils frigorifiques ou de la tour de lavage. Le débit proposé de 10 à 20 m³/h permet d'évacuer des charges thermiques d'une puissance continue d'environ 50 kW. Celles dégagées par un sèche-linge sont nettement plus importantes, même avec une utilisation ponctuelle. D'un point de vue énergétique et économique, il est absurde d'augmenter le débit d'air total d'une habitation en raison d'une buanderie borgne. Il est plus pertinent de la placer ailleurs ou d'installer un appareil de ventilation séparé avec un renouvellement d'air dédié.

2.13 Énergie, écologie et standards de construction

Le concept de ventilation doit définir les exigences particulières éventuelles à propos des besoins énergétiques ou de l'écologie. Les standards de construction tels que Minergie, SNBS, Passivhaus ou LEED ont leurs propres exigences pour la ventilation laquelle est incluse dans leurs critères d'évaluation.

Chapitre 3

Circulation de l'air

3.1 Flux d'air dans les habitations

Les flux d'air dans les locaux d'habitation sont marqués par la convection thermique. Ils proviennent de déplacements d'air générés par des personnes et le chauffage, tels que représentés à la figure 3.1, mais aussi par des appareils, fenêtres et autres sources ou puits de chaleur. Dans les locaux habités, le déplacement d'air par convection atteint toujours un multiple du débit d'air induit par la ventilation mécanique qui est souvent de $30 \text{ m}^3/\text{h}$. L'air d'un local étant ainsi en général très bien brassé, l'emplacement des bouches d'air fourni joue un rôle mineur. Les limites de ce principe sont exposées au point 3.9.

Lorsque les portes sont ouvertes, l'air est mélangé par convection dans toute l'habitation. La figure 3.2 montre un appartement de 4.5 pièces dans lequel le flux et la qualité de l'air intérieur ont été étudiés en détail [1]. Dans cet exemple, les bouches d'air fourni sont disposées uniquement dans les chambres à coucher, et non dans la zone séjour/salle à manger. L'étude presuppose deux personnes assises au salon. La représentation de la concentration de CO_2 montre que l'air se mélange parfaitement presque partout dans la zone de séjour. Les résultats de cette simulation ont été confirmés par des mesures. Il est à relever que le débit d'air circulant dans le

couloir est environ 10 fois plus important que le débit d'air fourni pour l'ensemble de l'appartement.

Autre point à noter, le salon est inhabituellement long. Même avec cette proportion particulière, l'air est bien mélangé, ce qui permet de considérer ce résultat comme valable pour presque tous les logements.

L'exemple montre que la qualité de l'air est à peu près la même dans tout l'appartement si les portes des chambres sont ouvertes. Ce constat correspond aux observations faites au quotidien: les odeurs prononcées générées dans une pièce, par exemple lors de la préparation d'une fondue, se propagent en quelques minutes dans tout l'appartement si les portes sont ouvertes. Par conséquent, une unique bouche d'air fourni dans l'appartement suffirait à condition que les portes des chambres restent ouvertes. L'air fourni se propagerait ensuite tout seul, principalement grâce aux déplacements d'air par convection.

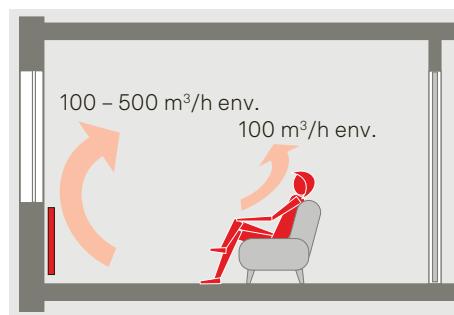


Figure 3.1: Déplacement d'air dans les locaux – des débits d'air nettement plus importants que le débit d'air fourni sont générés par convection entre les zones chaudes et les zones froides.

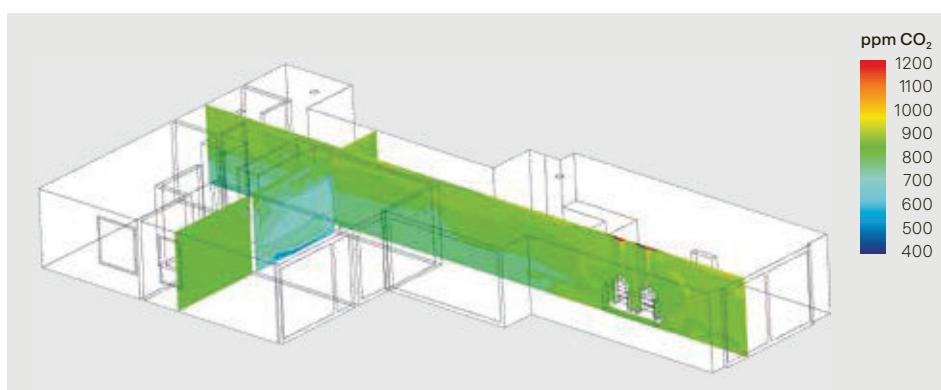


Figure 3.2: Concentrations de CO_2 dans un séjour en cas de circulation naturelle de l'air. (Source: AFC AG, [1])

Les observations de l'exemple peuvent être généralisées:

- A travers des ouvertures de grande taille (portes ouvertes, fenêtres), un échange d'air important s'effectue entre pièces attenantes. La pression d'entraînement provoquant ce flux d'air bidirectionnel résulte de la différence de température entre les pièces.
 - A travers les ouvertures de petite taille (bouches d'air, fuites), l'air passe en petites quantités dans un seul sens. La pression d'entraînement générant ce flux d'air provient soit des ventilateurs, soit du vent en cas de ventilation naturelle.

La figure 3.3 schématise toutes les dispositions possibles d'ouvertures dans une habitation. Chaque flèche droite représente une petite ouverture. Les paires de flèches représentent soit une grande soit deux petites ouvertures. Cette approche permet de schématiser les ventilations mécaniques, naturelles et hybrides.

Le concept de ventilation détermine les ouvertures nécessaires à l'échange d'air planifié ainsi que les directions des flux d'air. Il peut aussi définir des zones souhaitées sans flux d'air. Les principes suivants s'appliquent:

- Au moins pendant l'utilisation, les chambres et le salon sont alimentés en air non pollué provenant de l'extérieur ou d'autres locaux ayant une bonne qualité d'air.
 - L'air sortant des chambres et du salon est dirigé vers d'autres locaux ou vers l'extérieur.

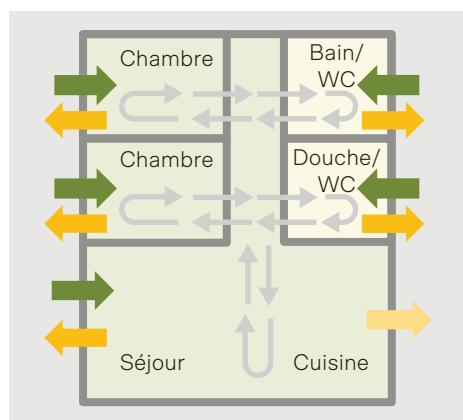


Figure 3.3: Dispositions possibles de petites et grandes ouvertures

- Air fourni/air neuf
 - Air rejeté ■ Air intérieur/air transféré
 - Air repris zone de cuisson

- Dans la salle de bain, la douche, les toilettes et la cuisine, l'air pollué est évacué vers l'extérieur, au moins pendant l'utilisation. L'air de remplacement provient des autres locaux ou encore de l'extérieur.

Ces considérations offrent une grande marge de manœuvre en matière de circulation de l'air. Les points 3.3 à 3.6 traitent les principes courants.

3.2 Volume du local et profil horaire du débit d'air

Dans un local qui vient d'être occupé ou après une aération sporadique par les fenêtres, la qualité de l'air est en général bonne. Puis elle se dégrade peu à peu. Plus la pièce est petite et plus les personnes présentes sont nombreuses, plus la qualité de l'air intérieur se dégrade rapidement. La formule suivante, figurant aussi dans la norme SIA 382/1 permet de décrire ce lien de causalité:

$$C_{INT,t} = \left(C_{INT,0} - C_{FOU} - \frac{0,001 \cdot G}{q_{v,FOU}} \right) \cdot e^{-\frac{q_{v,FOU}}{V_L} \cdot t} + C_{FOU} + \frac{0,001 \cdot G}{q_{v,FOU}}$$

$C_{INT,t}$ Concentration de polluants dans le local à l'heure t, en ppm

$C_{INT,0}$ Concentration de polluants dans le local à l'heure $t = 0$, en ppm

C_{FOU} Concentration de polluants dans l'air fourni, en ppm

G Taux d'émission de polluants dans le local, en l/h

$q_{v, \text{fou}}$ Débit d'air fourni, en m^3/h

V_l Volume du local, en m^3

t Temps, en h

Cette causalité permet de mettre en évidence de quelle manière les portes ouvertes influencent la qualité de l'air intérieur.

La figure 3.4 présente à ce propos quatre cas de figure:

- a) Aération sporadique par les fenêtres,
porte des chambres fermées la nuit

- b) Aération sporadique par les fenêtres, porte des chambres ouvertes la nuit
- c) Ventilation mécanique, portes des chambres fermées la nuit
- d) Ventilation mécanique, portes des chambres ouvertes la nuit

Les autres hypothèses par rapport à la figure 3.4 sont les suivantes:

- Appartement de 3½ pièces, d'une surface nette de 70 m²
- Occupation par deux adultes, temps d'occupation selon la norme SIA 2024 (par jour, éveil 6 h, sommeil 8 h). Les deux personnes utilisent la même chambre à coucher d'une surface nette de 12 m².
- La journée, les portes de toutes les chambres sont ouvertes, la concentration de CO₂ dans tout l'appartement est donc uniforme.
- La ventilation mécanique amène un débit d'air de 30 m³/h dans la chambre à coucher et de 60 m³/h dans l'appartement tout entier. Si au moins une personne est présente, la ventilation s'enclenche, sinon elle est déclenchée.
- Aération sporadique par les fenêtres trois fois par jour.
- Le renouvellement d'air total de l'appartement est identique pour toutes les variantes.

- Pour le cas «aération par les fenêtres», une infiltration supplémentaire de 5 m³/h est supposée dans la chambre à coucher et de 7 m³/h dans le reste de l'appartement. Pour le cas «ventilation mécanique» et lorsque celle-ci n'est pas en marche, l'infiltration de 3 m³/h est supposée dans la chambre à coucher et de 5 m³/h dans le reste de l'appartement.

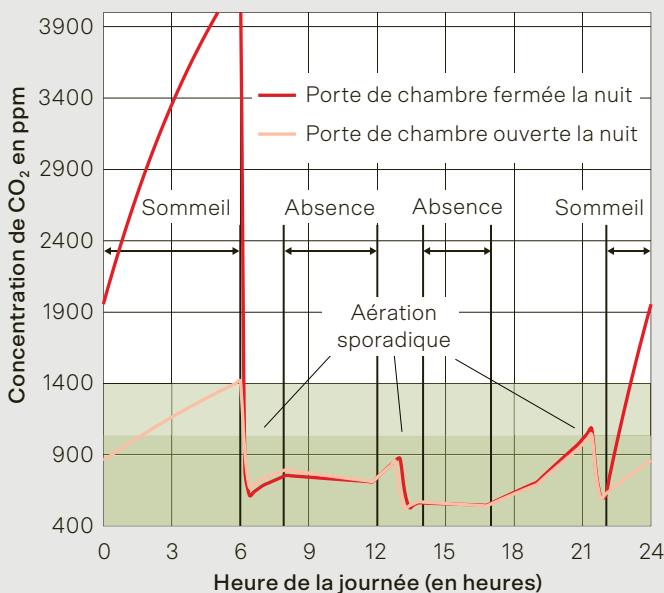
Dans les deux cas, la qualité de l'air intérieur est nettement meilleure la nuit si la porte de la chambre à coucher reste ouverte. En effet, le volume d'air de tout l'appartement agit comme un réservoir d'air frais. En revanche, la ventilation mécanique permet d'atteindre une qualité de l'air acceptable (classe INT 3, voir point 1.3) même si la porte de la chambre à coucher est fermée, grâce à l'apport d'air continu. La journée, lorsque les portes de toutes les chambres sont ouvertes, une qualité élevée de l'air intérieur est atteinte dans tous les cas de figure (classe INT 2).

La figure 3.4 permet de tirer les conclusions générales suivantes:

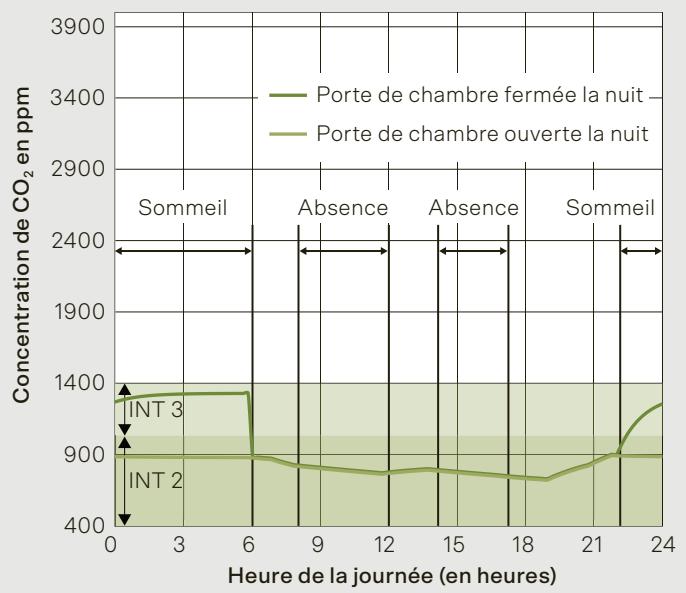
- Un petit volume (chambre à coucher avec porte fermée, par exemple) nécessite un renouvellement d'air constant pour atteindre une bonne qualité de l'air intérieur.

Figure 3.4: Chambre à coucher d'un appartement de 3½ pièces: concentration de CO₂ de l'air intérieur soit avec aération sporadique par les fenêtres, soit avec ventilation mécanique, à chaque fois avec porte de chambre à couper ouverte et fermée; pour des indications plus détaillées, se référer au texte.

Aération sporadique par les fenêtres



Ventilation mécanique



- Un grand volume (volume de tout un appartement, par exemple) et un fonctionnement intermittent, par exemple trois aérations sporadiques par jour, suffisent pour atteindre une bonne qualité de l'air intérieur.
- Dans le cas d'un petit volume, les aérations sporadiques ne permettent pas d'atteindre une qualité acceptable de l'air intérieur. Pour que la concentration de CO₂ ne dépasse pas 2000 ppm dans la chambre de 12 m² de l'exemple, occupée par deux personnes, il faudrait se lever la nuit toutes les deux heures pour aérer.
- Dans le cas d'un grand volume et d'un renouvellement d'air constant, une qualité de l'air intérieur uniforme et très bonne est en général atteinte tout au long de la journée. Cette combinaison permet éventuellement un dimensionnement plus petit de l'installation (voir point 3.5).

Ces relations sont à prendre en compte pour déterminer la circulation de l'air et la commande/régulation. Mais attention, sans convention d'utilisation contraire, l'installation de ventilation est à dimensionner avec portes et fenêtres fermées.

3.3 Principe «cascade»

Fonctionnement

Le principe «cascade» consiste à amener l'air dans la zone d'air fourni, c'est-à-dire dans les chambres. Il est évacué dans la zone d'air repris, c'est-à-dire les salles de bain, douches et WC. La zone de transit se trouve entre la zone d'air fourni et celle d'air repris. Elle comprend le couloir et le

Le débit minimal d'air fourni par chambre (avec porte) est de 30 m³/h.

séjour ouvert. Aucune bouche d'air fourni ou d'air repris ne s'y trouve, car la zone de transit est ventilée suffisamment par la circulation naturelle de l'air. Même si la cuisine se trouve dans la zone de transit, la SIA 382/5 n'y exige pas d'extraction d'air, à l'exception de la hotte d'aspiration. L'air passe par les bouches d'air transférés de la zone d'air fourni à la zone de transit et

de là à la zone d'air repris. La figure 3.5 schématise le principe «cascade».

Conditions de pression

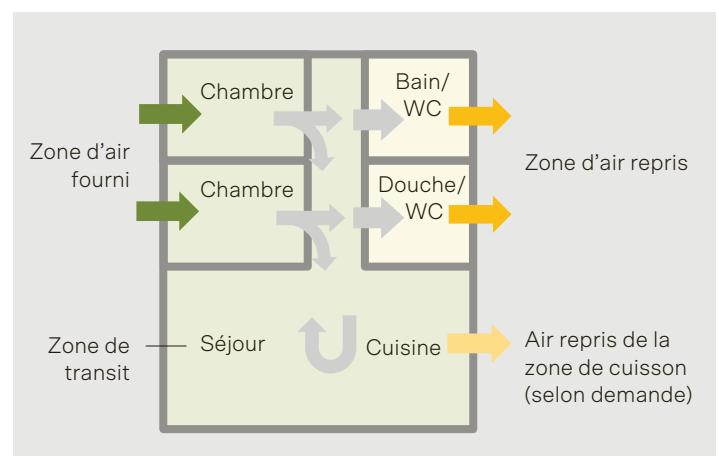
Pour les installations avec ventilateurs d'air fourni et d'air repris (aération douce), la pression de l'air dans la zone de transit est considérée être identique à la pression extérieure. Une surpression de 3 Pa ne devrait pas être dépassée dans les locaux d'air fourni avec portes fermées, tout comme une dépression de 3 Pa dans les locaux d'air repris. Les installations d'air repris doivent remplir des exigences spécifiques, traitées au point 7.2.

Débit minimal d'air fourni

Pour déterminer le débit minimal d'air fourni, il est admis que deux personnes puissent dormir dans chaque chambre et que les portes soient fermées. Le cas c du chapitre 3.2 correspond à cette donnée. Le débit minimal d'air fourni est alors de 60 m³/h pour un appartement de 3 ou 3,5 pièces, similaire au schéma de la figure 3.5. Pour l'appartement de 4 pièces de la figure 3.2, il est de 90 m³/h. Avant de pouvoir fixer pour un logement le débit déterminant d'air fourni et d'air repris (voir points 6.1, 7.3 respectivement 8.1), il est indispensable de choisir le système de ventilation.

Figure 3.5: Principe de la ventilation en cascade.

- Air fourni/air neuf
- Air rejeté ■ Air intérieur/air transféré
- Air repris zone de cuisson



chambres sont fermées, la qualité de l'air repris ne permet pas de déduction sur la qualité de l'air intérieur dans la chambre la plus défavorisée (chambre à coucher avec deux personnes). La nuit, l'installation de ventilation devrait par conséquent fonctionner en régime normal. La journée, les personnes sont considérées se tenir dans la zone de transit et les portes des chambres être ouvertes, ce qui permet de réguler l'installation de ventilation au moyen d'un capteur de qualité de l'air. Le jour et pendant la semaine (rythme de vie régulier), une autre

Conditions de pression et éléments actifs de transfert d'air

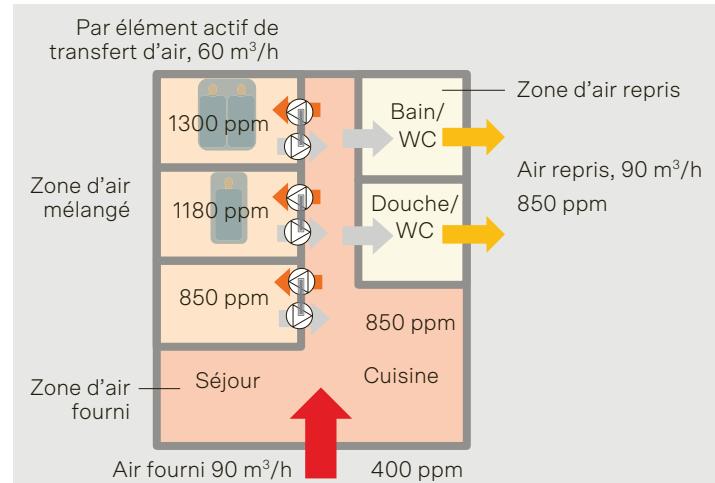
En principe, les mêmes valeurs maximales de surpression et de dépression que celles du principe «cascade» doivent être respectées. Il est possible d'équiper les éléments actifs de transfert d'air avec un ou deux ventilateurs – un ventilateur qui pulse l'air dans la chambre et un autre qui l'en extrait. Les dispositifs avec un seul ventilateur impliquent le recours à une bouche passive d'air transféré permettant un flux d'air qui sort de la chambre, comme pour la ventilation en cascade. Ces bouches d'air sont difficiles à trouver pour les habitations étant donné que la chute de pression qu'elles provoquent doit être au maximum de 3 Pa et que les débits d'air sont compris entre 45 et 60 m³/h. Il est en conséquence conseillé d'utiliser des éléments actifs avec deux ventilateurs.

Débits minimaux d'air fourni et d'air transféré

Dans le cas des ventilations par mélange, la qualité de l'air de la zone d'air fourni est inférieure à celle de l'air extérieur, car il s'agit d'air mélangé. Pour cette raison, le débit d'air d'un élément actif de transfert d'air doit être plus élevé que le débit d'air fourni (d'une chambre) dans le cas d'une ventilation en cascade pour que la concentration de CO₂ dans les chambres ne dépasse pas 1400 ppm. L'occupation maximale de l'appartement est déterminée selon le point 2.2.

Figure 3.6: Principe de la ventilation par mélange avec transfert d'air actif pour un appartement de 4 pièces; dimensionnement selon la norme SIA 382/5.

- Air fourni
- Air repris
- Air intérieur/air transféré
- Air mélangé



Les locaux faisant partie de la zone de transfert n'ont pas besoin d'air fourni.

possibilité consiste à faire fonctionner l'installation à régime réduit par programme horaire.

Les habitants doivent alors pouvoir contourner temporairement le programme horaire, par exemple au moyen d'un bouton-poussoir enclenchant le régime normal pour trois heures environ.

3.4 Principe «mélange avec transfert d'air actif»

Fonctionnement

La zone d'air fourni correspond à l'espace ouvert adjacent aux chambres. Elle comprend en général le couloir et le salon. Le débit total d'air fourni est introduit dans cette zone, si souhaité par une seule bouche d'air fourni. L'air repris est évacué dans la zone d'air repris comprenant salles de bain, douches et toilettes. Les chambres se trouvent dans la zone d'air mélangé. Si les portes sont ouvertes, les déplacements naturels de l'air assurent une circulation de l'air suffisante. Si les portes sont fermées, des éléments actifs de transfert d'air assurent l'échange de l'air entre la zone d'air fourni et les locaux faisant partie de la zone d'air mélangé (figure 3.6). Les conduits courts d'air fourni sont caractéristiques des ventilations par mélange ce qui est particulièrement intéressant sur le plan financier et architectural lors de l'assainissement de bâtiments existants.

Comme pour le principe «cascade», deux personnes sont considérées pour pouvoir dormir dans chaque chambre. La figure 3.6 indique, à titre d'exemple, les débits d'air pour un appartement de 4 pièces, avec une occupation de trois personnes et selon les exigences de la SIA 382/5.

Le débit minimal d'air fourni peut être déterminé à l'aide du graphe à la figure 3.7 d'une part pour l'appartement en entier et de l'autre pour les éléments actifs de transfert d'air. Le graphe est basé sur une concentration maximale de CO₂ de 1400 ppm de l'air intérieur correspondant à la limite supérieure de la classe INT 3. Le dimensionnement s'effectue à partir de l'occupation prévue de l'appartement. Pour trois à cinq personnes, les chambres à coucher sont considérées pouvoir être utilisées par deux per-

sonnes. Pour une occupation à deux personnes, il est supposé qu'une seule personne dort par chambre. Alternative-ment, les deux personnes peuvent utiliser la même chambre à condition de laisser la porte ouverte la nuit pour ne pas dépasser 1400 ppm de CO₂. Le débit déterminant d'air fourni et d'air repris d'un appartement ne peut être défini qu'après avoir choisi le système de ventilation.

Remarques sur la commande/ régulation

Le principe «mélange» est parfait pour une régulation en fonction de la qualité de l'air intérieur. La concentration de CO₂ peut être limitée à une valeur de consigne de 900 ppm via un capteur dans l'air repris ou dans la zone d'air fourni.

Interprétation possible de la figure 3.7

Un appartement de 5 pièces est planifié pour une occupation par quatre personnes. Un élément actif de transfert d'air avec un débit d'air de 60 m³/h est choisi, ce qui permet de dimensionner le débit d'air fourni à 100 m³/h pour l'appartement. Si l'appartement est occupé par trois personnes seulement, le débit d'air fourni peut être ramené à 75 m³/h.

Comparé au principe «cascade», le principe «mélange» a le grand avantage de permettre d'adapter le débit d'air fourni proportionnellement au nombre de personnes si l'occupation change. Dans ce cas, il n'est pas nécessaire de savoir quelle chambre sera occupée par deux personnes.

Débit d'air par élément actif de transfert d'air en m³/h

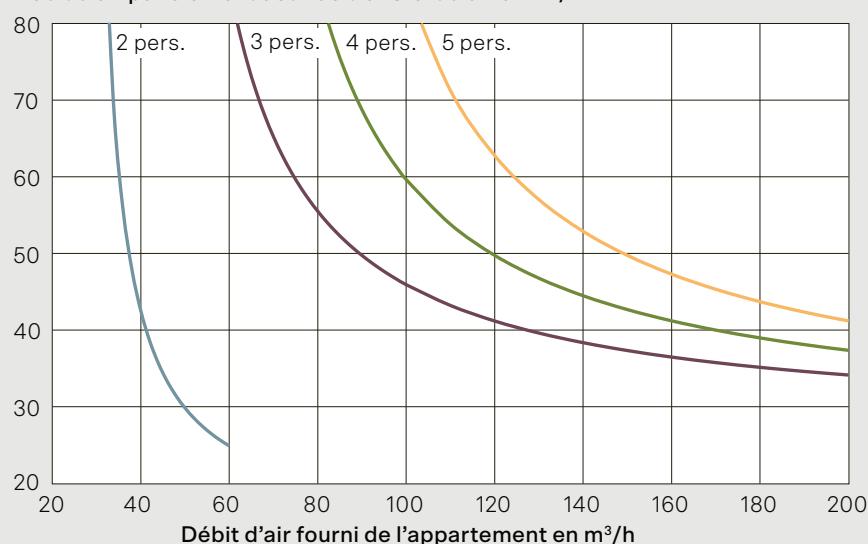


Figure 3.7: Dimensionnement du débit minimal d'air fourni pour des appartements de différentes tailles et du débit d'air par élément actif de transfert avec la contrainte de ne pas dépasser une concentration de CO₂ de 1400 ppm.

Exemple d'installation 3.1: assainissement d'un lotissement – aération douce et ventilation par mélange combinées

Le lotissement Glatt 1 de la ville de Zurich a été assaini énergétiquement selon les principes de la société à 2000 watts. Dans le cadre de l'assainissement, il aurait certes été possible d'intervenir dans les appartements. Cependant, la pose d'installations de ventilation collectives aurait été relativement onéreuse pour ces bâtiments de deux étages. Pour cette raison, chaque appartement a été équipé d'un appareil de ventilation avec récupération de chaleur, disposé dans une armoire encastrée du couloir. La distribution de l'air pour les deux chambres et le salon s'effectue de manière conventionnelle dans un faux plafond. Étant donné que la troisième chambre donne directement sur le salon, une conduite d'air fourni aurait dû traverser le salon.

Cette solution a pu être écartée grâce à un élément actif de transfert d'air posé sous le plafond et faisant passer l'air de la chambre au salon. L'air de remplacement passe par la fente sous la porte dans la chambre.

Remarque: l'élément actif de transfert d'air est enclenché et déclenché uniquement manuellement. C'est un aspect important pour éviter que des odeurs, de cuisine par exemple, ne parviennent dans la chambre. Il est aussi judicieux de recourir à un contact de porte qui déclenche le dispositif si la porte est ouverte.

Localisation	Zurich
Réalisation/rénovation	1970/2013
SRE	4488 m ²
Système de ventilation	Aération douce, distribution de l'air en cascade et par mélange
Commande/régulation	Commande par appartement selon les besoins
RC	85 %
Composants actifs	Elément actif de transfert d'air pour une chambre
Traitement d'air	Filtre air neuf F7, filtre air repris G4



Figure 3.8: Situé au-dessus de la porte à gauche, l'élément actif de transfert d'air fait passer l'air de la chambre à coucher au séjour.

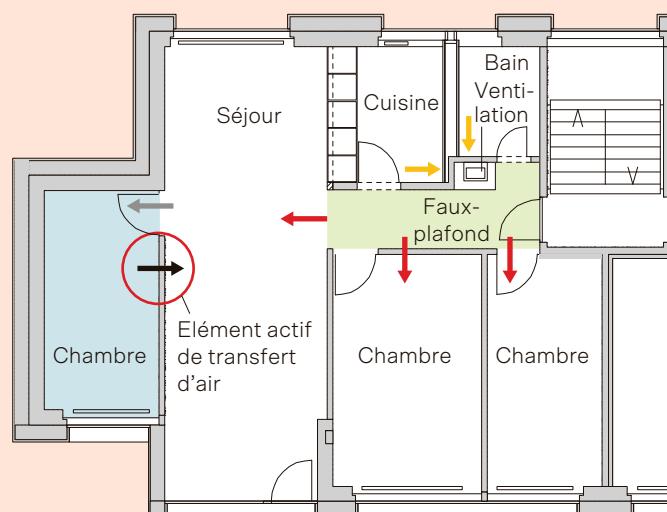


Figure 3.9: L'air fourni est acheminé par une distribution d'air classique dans trois chambres; une chambre est équipée d'un élément actif de transfert d'air la reliant au séjour.

Eléments actifs de transfert d'air

En 2020, il y avait environ 10 différents types de ces dispositifs sur le marché suisse, certains ne transférant l'air que dans un seul sens. Lors du choix, il faudrait tenir compte des points suivants:

- Les éléments actifs de transfert d'air ne devraient s'enclencher que si la porte est fermée. Un interrupteur de contact permet de l'assurer. Certains fournisseurs proposent une régulation de CO₂ adaptée.

- Avec le principe «mélange», des odeurs, par exemple de cuisine, parviennent dans les chambres si aucune disposition n'est prise. Ces dispositifs doivent par conséquent pouvoir être déclenchés selon les besoins. Les interrupteurs à impulsions conviennent pour désactiver le ventilateur pendant environ deux heures.
- Le niveau de pression acoustique dans la chambre doit remplir les exigences de la norme SIA 382/5. Le niveau de puissance acoustique pondéré A doit être au maximum de 25 dB. Si la valeur indiquée par le fabricant comporte la précision «à 1 m de distance», elle peut être au maximum de 17 dBA, voir tableau 8.3.
- L'indice d'affaiblissement acoustique des éléments actifs de transfert d'air

devrait être aussi élevé que celui de la porte de chambre. Si aucune exigence n'a été définie pour la porte, la valeur $D_{n,e,w}$ doit être de 33 dB au moins.

- La puissance électrique absorbée des éléments actifs de transfert d'air ne doit pas dépasser 3 W. La consommation d'électricité des installations avec éléments actifs de transfert d'air n'est pas plus élevée que celle des systèmes en cascade, malgré les petits ventilateurs supplémentaires. En effet, la perte de charge due à la distribution de l'air fourni est plus petite et les éléments actifs de transferts d'air ne fonctionnent que 10 heures par jour environ.
- Comme toute autre installation aéraulique, ces dispositifs doivent pouvoir être facilement inspectés et nettoyés. Un contrôle bisannuel est recommandé.



Figure 3.10:
Eléments actifs
de transfert d'air
intégrés dans les
portes. (Source:
Erich Keller AG)

3.5 Principe «mélange avec circulation naturelle de l'air»

Fonctionnement

A la place d'éléments actifs (avec ventilateurs), des éléments passifs de transfert d'air (sans ventilateurs) sont utilisés pour échanger l'air entre la zone d'air fourni et la zone d'air mélangé. La circulation de l'air est générée par les différences de température entre les locaux. Celles-ci sont comprises entre 0,5 et 1,0 K pendant toute l'année dans presque tous les logements.

Un échange d'air efficace nécessite une surface d'échange non obstruée relativement grande. Cette solution a dès lors pour inconvénient principal d'affaiblir l'isolation acoustique entre la zone d'air fourni et la zone d'air mélangé lorsque les éléments sont ouverts. Selon le type, ils compromettent même la protection contre la lumière entre les locaux.

Le principe «mélange avec circulation naturelle de l'air» n'est pas normé. Il est par conséquent nécessaire de prévoir expressément son utilisation et son dimensionnement dans une convention d'utilisation.

Transfert par porte ouverte

Les portes ouvertes des chambres représentent l'élément de transfert le plus simple. En d'autres termes: les portes ouvertes transforment les ventilations en cascade, par local ou encore celles avec des éléments actifs de transfert d'air en «ventilation par mélange avec circulation naturelle de l'air».

Une différence de température de 0,5 K entraîne déjà un échange d'air de 200 à 300 m³/h si une porte de chambre est ouverte. Pour qu'un échange d'air suffisant se produise dans la chambre, celle-ci n'a même pas besoin d'être complètement ouverte. Des essais simples

montrent qu'une porte quasiment fermée avec une ouverture résiduelle de 5 cm laisse passer déjà 40 % du flux atteint par une porte complètement ouverte, compris entre 80 et 120 m³/h environ. Il est conseillé d'utiliser ce débit d'air pour le dimensionnement. De plus, une

ouverture de 5 cm assure encore une certaine protection contre la lumière. Pour les rénovations Minergie, les portes ouvertes sont admises comme élément de transfert. Cependant, si des problèmes tels que des moisissures apparaissent,

La distribution naturelle de l'air dans un logement est peu coûteuse et ne nécessite pratiquement aucun entretien, par contre elle entraîne des pertes de confort.

des éléments actifs de transferts d'air ou d'autres dispositifs aérauliques fonctionnant de manière automatique doivent être ajoutés dans ces chambres.

Dans les faits, il est probable que beaucoup de chambres sont fermées la nuit. Le calcul des besoins énergétiques doit en tenir compte.

Eléments de transfert spéciaux

Dans le cadre d'un projet de la Haute école de Lucerne, des alternatives aux portes ouvertes ont été étudiées [2]. Une alternative pragmatique est la création d'une ouverture de 0,08 m² (L x H = 0,8 m x 0,1 m) en haut et en bas de la porte permettant à l'air de passer sans encombre. Dans des conditions typiques, un débit d'air d'environ 50 m³/h s'installe.

Débit minimal d'air fourni

Pour le dimensionnement du principe «mélange avec circulation naturelle de l'air», les débits minimaux d'air fourni pour l'ensemble de l'appartement sont listés au tableau 3.1 qui se base sur la figure 3.7 et par conséquent sur les mêmes hypothèses.

Tableau 3.1: Propositions de débits minimaux d'air fourni pour tout l'appartement pour le principe «mélange avec circulation naturelle de l'air».

Principe de la circulation naturelle	Débit minimal d'air fourni avec une occupation de l'appartement de			
	2 pers.	3 pers.	4 pers.	5 pers.
Porte de la chambre ouverte au moins de 5 cm	35 m ³ /h	60 m ³ /h	80 m ³ /h	100 m ³ /h
Ouverture de 0,08 m ² en haut et en bas de la porte	40 m ³ /h	90 m ³ /h	120 m ³ /h	150 m ³ /h

Exemple d'installation 3.2: assainissement d'un lotissement – ventilation de base avec circulation naturelle de l'air intérieur.

Lors de l'assainissement du lotissement Paradies datant du début des années 1990, une aération douce n'entre pas en ligne de compte par manque de place. Des travaux disproportionnés auraient été nécessaires pour mettre en place la distribution de l'air fourni. Une ventilation de base est tout de même mise en place dans les appartements densément occupés; l'air fourni est amené dans le couloir à travers une grille projetée avec soin par les architectes et disposée au-dessus de la porte de la salle de bain. L'air fourni passe par les portes ouvertes dans les chambres. La circulation naturelle de l'air intérieur assure ensuite que la qualité de l'air est similaire dans tout l'appartement. Dans ce concept de ventilation, il est par conséquent important que la plupart des portes soient ouvertes si des personnes sont présentes. L'air repris est évacué par la cuisine et les salles d'eau, comme pour une aération douce. Des fenêtres ouvertes n'affectent pas la fonctionnalité de la ventilation. La cuisine a été pourvue d'une hotte d'aspiration à air recyclé peu encombrante.

Des appareils de ventilation centraux avec récupération de chaleur filtrent et chauffent l'air neuf. Le confort et l'hygiène sont ainsi garantis. En outre, les conditions de pression dans le bâtiment sont équilibrées et le risque de transmission d'odeurs entre les appartements est faible.

Localisation	Zurich
Réalisat./rénovat.	1993/2017
SRE	20 971 m ²
Système de ventilation	Ventilation de base avec RC
Commande/régulation	Fonctionnement continu à vitesse fixe
RC	Échangeur de chaleur à plaques avec un rendement thermique élevé
Composants actifs	Appareils de ventilation à la cave ou sur le toit, régulateurs à débit d'air constant dans les appartements
Traitement d'air	Filtre air neuf F7, filtre air repris G4



Figure 3.11: Par la bouche d'air disposée au-dessus de la porte de la salle de bain (à gauche), l'air fourni parvient dans le couloir. Une circulation conventionnelle de l'air aurait impliqué un faux-plafond recouvrant la lumière zénithale. (Source: Ralph Feiner)

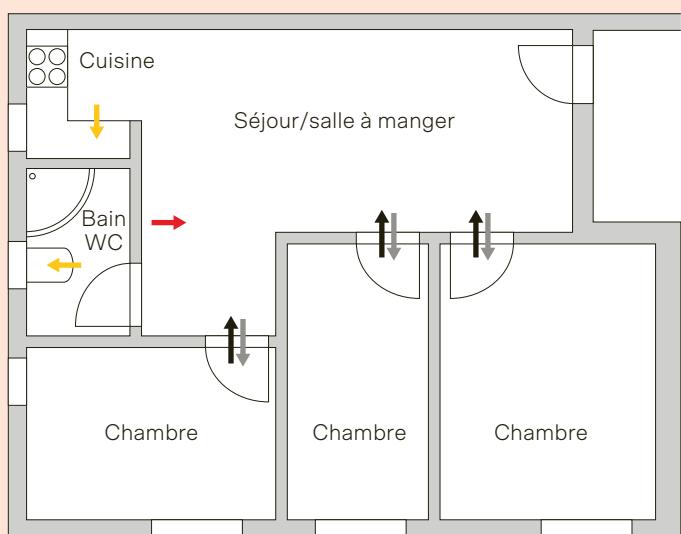


Figure 3.12: L'air fourni est acheminé de manière centralisée dans le couloir. La circulation naturelle de l'air intérieur assure le renouvellement d'air nécessaire dans les chambres lorsque les portes sont ouvertes. L'air repris est évacué par la cuisine et les salles d'eau.

3.6 Principe «local individuel»

Fonctionnement

Pour le principe «ventilation par local», l'air fourni est amené directement depuis l'extérieur dans le local et l'air repris évacué directement à l'extérieur. En d'autres termes, le couloir n'est pas ventilé directement. Les portes ouvertes et les personnes circulantes sont considérées générer un flux d'air suffisant. Le schéma présenté (figure 3.13) permet de comprendre en un coup d'œil que ce principe peut être appliqué soit à la ventilation mécanique soit à la ventilation naturelle.

Débit minimal d'air

Un débit minimal d'air de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ est fourni et repris dans le salon ainsi que les chambres à coucher et de travail.

Remarques sur la commande/ régulation

La grande force de ce principe est de pouvoir commander ou réguler la ventilation de manière individuelle et simple pour chaque local, selon les besoins.

Formes hybrides de circulation de l'air
Il est possible de combiner les principes de circulation de l'air. Cela fonctionne non seulement en théorie, mais se fait de manière étonnamment fréquente dans la pratique. Par exemple, dans de nombreux nouveaux appartements, les salles de bains et WC borgnes sont équipés de ventilateurs d'extraction. Les chambres quant à elles, sont aérées par les fenêtres. Il s'agit ainsi bien d'une combinaison des principes «local individuel» et «cascade».

Le lotissement Glatt 1 de la ville de Zurich combine lui aussi les principes «cascade» et «mélange». Pour plus d'informations, voir l'exemple d'installation 3.1 à la page 29.

3.7 Circulation de l'air dans le local

Du point de vue aéraulique, peu importe qu'une bouche d'air soit disposée au plafond ou au plancher. Sur le plan pratique, en revanche, il est plus judicieux de les disposer dans la zone supérieure du local, soit au plafond ou au mur, tout près du plafond. Voilà pourquoi:

- Les conduites ne traversent pas les couches d'isolation contre le bruit de choc (important pour les habitats collectifs).
- Les raccords constructifs sont plus faciles à réaliser au plafond et aux murs qu'au plancher.
- De l'eau ou des saletés peuvent pénétrer dans la distribution par les bouches d'air au plancher.
- Les bouches d'air pour plafonds et murs sont souvent moins onéreuses que celles pour le plancher.

Bouches d'air fourni à induction standard

La plupart des bouches d'air fourni fonctionnent à des vitesses de pulsion de 1 à 2 m/s. La pratique montre que les vitesses de l'air intérieur induites sont basses dans la zone de séjour, inférieures à 0,07 m/s. Selon la norme SIA 382/1, la valeur limite est de 0,12 m/s. La marge de manœuvre pour positionner les bouches d'air à induction normale est grande. En revanche, l'air pulsé ne devrait pas être orienté vers la zone de séjour. Les emplacements les plus usuels sont indiqués à la figure 3.14.

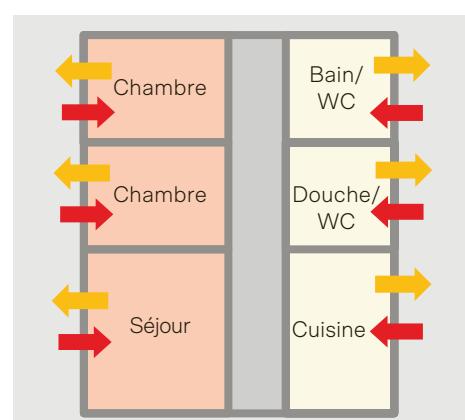


Figure 3.13: Principe «local individuel».
 ■ Air fourni
 □ Air repris
 ▨ Air intérieur/
 air transféré

Le positionnement au-dessus de la porte est particulièrement intéressant, car il est sans conséquence pour l'aménagement. Des études en laboratoire et en situation réelle ont démontré que cette disposition ne génère pas de courts-circuits même si la porte en dessous est complètement ouverte.

Bouches d'air fourni à faible induction

Des bouches d'air fourni à faible induction sont parfois utilisées (vitesse de pulsion maximale de 0,2 m/s). Toutefois, il ne s'agit pas d'une ventilation à déplacement d'air, car le débit d'air de 30 m³/h environ par chambre ne permet pas un flux régulier de déplacement. En sortant des bouches à faible induction, l'air froid fourni se répand sur le sol pendant la première demi-minute. Cependant, l'air reste au total une heure dans ce local et se mélangue avec l'air amené plus tôt ainsi qu'avec l'air pulsé après. À la hauteur où l'on respire normalement (0,5 à 1,8 m au-dessus du sol), la qualité de l'air est généralement la même que celle garantie par une ventilation par mélange, à une exception, précisée au point 3.9.

Bouches d'air repris

Les bouches d'air repris devraient être disposées au plafond ou aux murs, directement sous le plafond. En effet, les sources d'odeurs et d'humidité sont presque toujours liées à des sources de chaleur. L'air chaud et pollué monte; il est évacué un peu plus efficacement par des bouches d'air disposées en haut que par celles disposées en bas. Mais cet effet ne doit pas être surestimé. Une bouche disposée en haut n'améliore l'effi-

cacité de la ventilation que si elle se trouve près d'une source de chaleur. C'est souvent le cas dans les petits locaux, telles salles de bain et toilettes.

3.8 Bouches d'air transféré

Dans le principe «cascade» et lorsque les portes de chambre sont fermées, les bouches d'air transférées ont pour fonction d'amener l'air depuis le local d'air fourni dans la zone de transit, respectivement de celle-ci dans le local d'air repris. La figure 3.15 en représente différents types. Il faut tenir compte des points suivants avant de choisir le produit à mettre en œuvre:

- L'isolation acoustique entre les locaux ne doit pas être affaiblie au-delà de ce qui est admis.
- Pour les installations avec air fourni et air repris, la chute de pression générée doit s'élever à 3 Pa au maximum. Il faut viser 1 Pa pour une installation d'air repris avec bouches d'air neuf traversant l'enveloppe thermique.
- L'air sortant ne doit pas générer de courants d'air (ne vaut pas pour le cou-

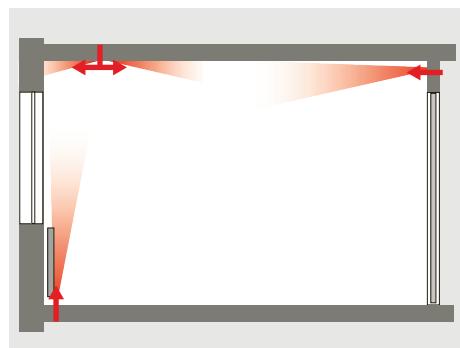


Figure 3.14: Disposition pour bouches d'air fourni – le jet d'air fourni ne doit pas être dirigé vers la zone de séjour.

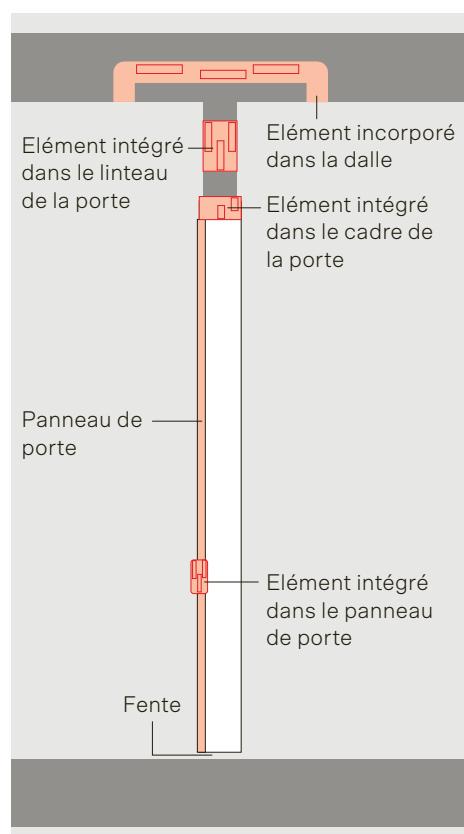


Figure 3.15: Différentes variantes de transfert de l'air.

Exemple d'installation 3.3: assainissement d'un habitat collectif – ventilation par local

L'enveloppe thermique du bâtiment datant des années septante a été assainie de manière complète; elle remplit désormais quasiment les exigences pour constructions nouvelles. Le chauffage et la production d'eau chaude ont été remplacés par une pompe à chaleur air-eau.

Aucune intervention constructive n'était envisagée à l'intérieur des appartements. L'intégration d'une ventilation centrale aurait été relativement compliquée dans les appartements de 2 et 3 pièces. Des appareils VPL (appareils de ventilation individuels par local) avec récupération de chaleur au salon et dans les chambres se sont avérés être plus judicieux. Leur mise en œuvre a été facilitée, car l'assainissement comportait aussi le remplacement des fenêtres. Il a ainsi été possible d'intégrer les appareils VPL dans les cadres des nouvelles fenêtres. Les salles de bains ont été équipées de ventilateurs d'extraction régulés selon les besoins.

Remarque: si les ventilateurs d'extraction sont en fonction, une grande partie de l'air de remplacement passe par les appareils VPL. L'utilité de la récupération de chaleur est ainsi réduite, ce qui doit être pris en compte pour le calcul des besoins en énergie (voir 9.4).

Localisation	Pregassona
Réalisation/ rénovation	1968–1975/2017
SRE	567 m ²
Système de ventilation	Appareils VPL avec RC et ventilateurs d'extraction dans les salles d'eau
Commande/ régulation	Régulation par local et selon les besoins
RC	Environ 80 % si les appareils VPL sont enclenchés, environ 50 % si les ventilateurs d'extraction le sont aussi (moyenne annuelle environ 70 %)
Composants actifs	Elément actif de transfert d'air pour une chambre
Traitement d'air	Filtre air neuf F7, filtre air repris G4



Figure 3.16: Appareils VPL intégrés dans l'élargissement des cadres de fenêtres, sans complication particulière. (Source: Ventoswiss AG)

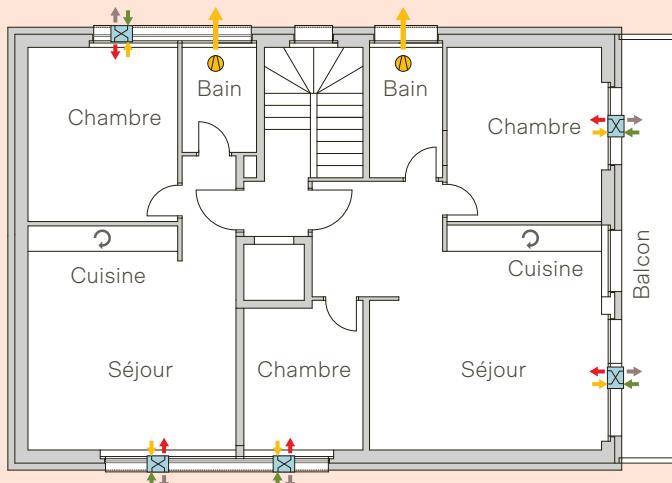


Figure 3.17: Les appareils VPL assurent le renouvellement d'air dans les chambres. Dans les salles de bains, des ventilateurs régulés à la demande évacuent l'air repris.

loir qui ne fait pas partie de la zone de séjour).

- Il faut pouvoir contrôler, et nettoyer si nécessaire, ces bouches comme tout autre composant aéraulique.

Fente sous la porte

Laisser une fente sous la porte est une solution avantageuse pour le transfert de l'air. A ce titre, tenir compte des points suivants:

- Les habitants sont à informer que la fente ne doit pas être obstruée par des tapis.
- La réduction de l'indice d'affaiblissement acoustique est à accepter.
- L'affaiblissement de la protection contre la lumière est à accepter.

La norme SIA 382/5 recommande un autre type de transfert d'air si la fente devait être supérieure à 10 mm pour respecter la perte de charge maximale. Les portes usuelles laissent une fente de 7 mm. Si cette cote est respectée, aucune porte spéciale n'est nécessaire. Par contre, il est indispensable de définir des tolérances de ± 1 mm avec le fournisseur de portes.

Le graphe à la figure 3.18 permet d'évaluer la réduction de l'indice d'affaiblissement acoustique des portes. L'affaiblissement est à peine perceptible pour les portes simples avec un indice jusqu'à 20 dB environ et une fente jusqu'à 7 mm. Les portes des chambres étant de plus généralement fermées la nuit, le son entre deux chambres passe par deux fentes; il est par conséquent davantage affaibli. Dans la plupart des cas, la transmission du son à travers les cloisons des chambres est plus importante qu'à travers les fentes sous les portes. Cependant, si les exigences sont élevées et s'il s'agit de locaux spéciaux, tels que des locaux de musique ou de thérapie, cet affaiblissement est difficilement accepté. Des bouches d'air transférées insonorisées sont alors indispensables. Le graphe de la figure 3.19 indique les pertes de charge pour une porte de 0,9 m de large en fonction de la dimension de la fente.

Pour les autres largeurs de porte, le débit d'air est converti pour une largeur de fente d'un mètre. La perte de charge est déterminée en utilisant la graduation du haut.

Seuils automatiques avec passage d'air

Il existe sur le marché des seuils automatiques qui laissent passer un débit d'air de 30 m³/h environ avec une baisse de pression de 3 Pa. Pour les portes avec une très bonne isolation acoustique ($R_w > 30$ dB), ils permettent, selon le type, d'améliorer l'indice d'affaiblissement acoustique jusqu'à 4 dB par rapport à une simple fente. En revanche, pour les portes avec une isolation acoustique moyenne ($R_w > 20$ dB) l'amélioration n'est pas perceptible.

Produits standards

Différents fournisseurs proposent des bouches d'air transférées pour pose soit dans la porte, soit au-dessus de la porte ou dans le mur. Lors de l'évaluation de tels produits, il faut vérifier de quelle manière le fabricant indique l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré. La définition de l'indice R_w se rapporte à la surface visible de l'élément. Parfois, c'est l'isolement acoustique normalisé pondéré de petits éléments, l'indice $D_{n,e,w}$ qui est utilisé. Il faudrait comparer si la bouche d'air transférée laisse passer nettement moins de bruit que la fente sous la porte. Des valeurs $D_{n,e,w}$ en dessous de 33 dB et des valeurs R_w en dessous de 10 dB environ indiquent que ce n'est pas le cas. Pour que la bouche d'air transférée réduise l'isolement acoustique de 1 dB au plus, la valeur $D_{n,e,w}$ devrait être de 15 dB plus haute que la valeur R_w de la porte.

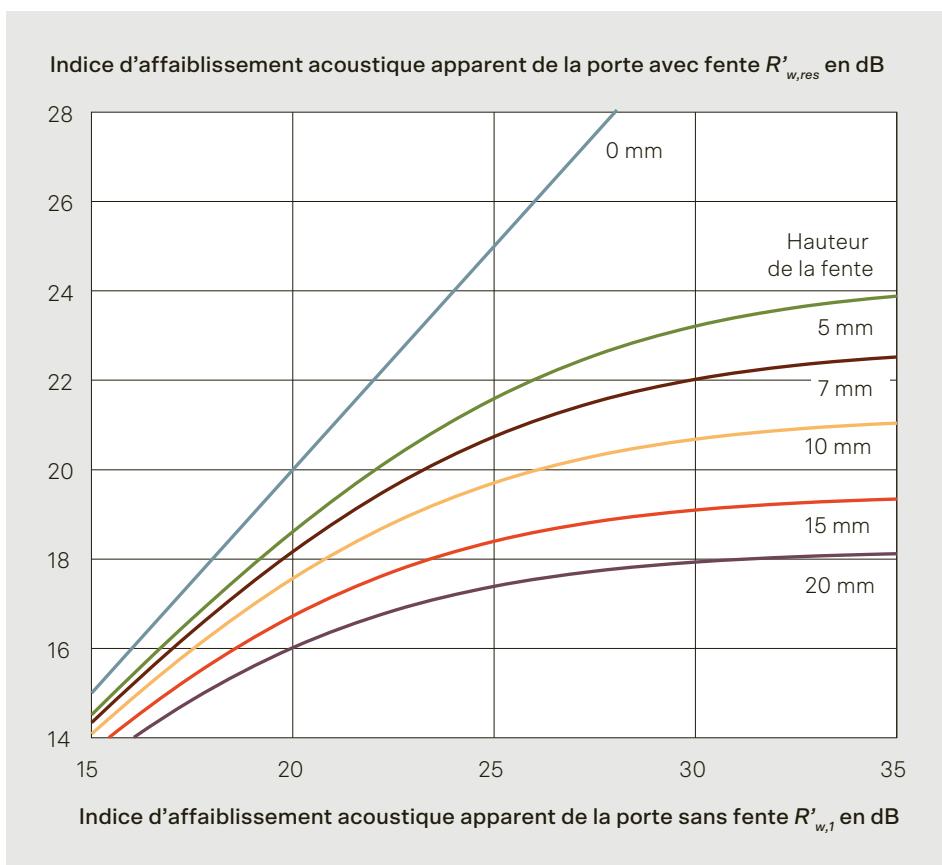


Figure 3.18:
L'indice d'affaiblissement acoustique apparent d'une porte avec fente en fonction de l'indice d'affaiblissement acoustique apparent d'une porte sans fente.

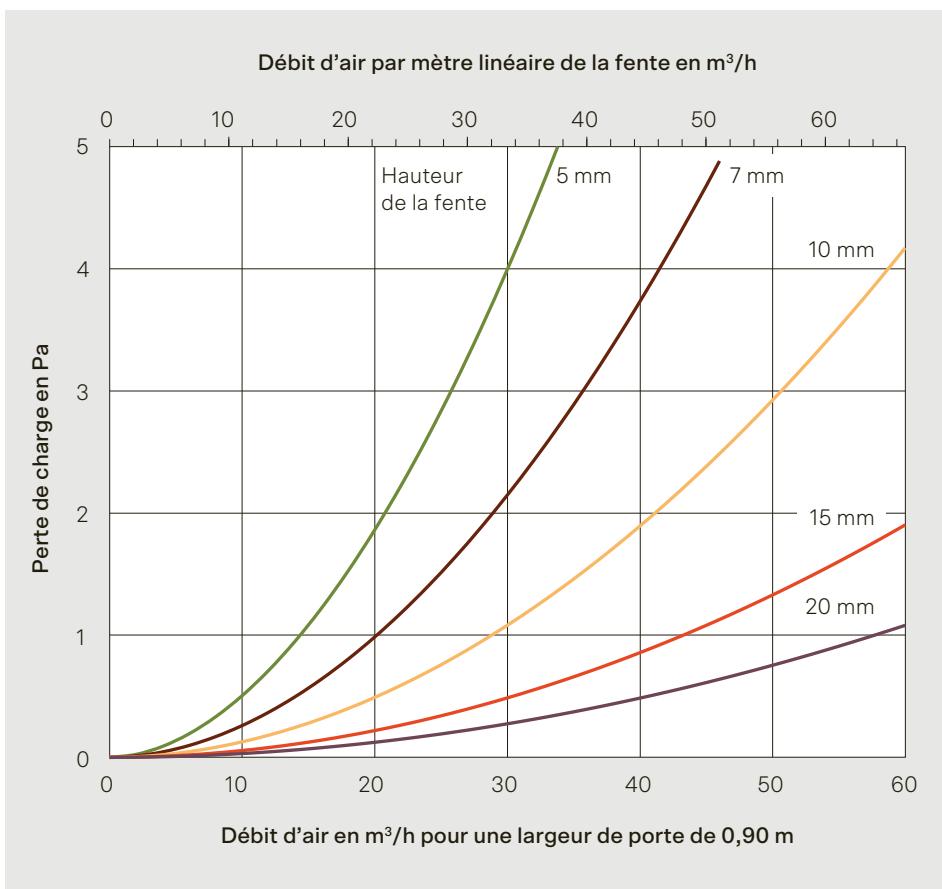


Figure 3.19: Perte de charges générée par différentes hauteurs de fente pour une largeur de porte de 0,90 m (axe inférieur), respectivement par mètre linéaire de fente (axe supérieur).

3.9 Limites de la ventilation par mélange

Circulation de l'air intérieur

La ventilation par mélange fonctionne de manière limitée dans certaines conditions; l'essai effectué dans une chambre à couche décrit ci-après le démontre. L'air fourni est amené dans la chambre au niveau du plancher. L'air repris passe par une fente sous la porte dans le couloir.

Avec cette disposition (figure 3.20, à gauche), la concentration de CO₂ mesurée au-dessus du lit est nettement plus élevée que celle près de la fente sous la porte. L'air fourni est pulsé dans le local à 0,5 m/s environ. Les valeurs mesurées permettent de déduire qu'environ 30 % du volume d'air pulsé ressortent directement par le passage d'air transféré. Une expérience simple consistant à couvrir partiellement la bouche d'air fourni pour augmenter la vitesse de pulsion à 1 m/s environ permet d'améliorer ces valeurs de manière sensible. Le volume d'air fourni reste inchangé, en revanche le flux d'air est pulsé plus haut dans le local. En conséquence, la concentration de CO₂ diminue dans la zone de séjour de 1500 ppm à 1300 ppm environ. Le flux de court-circuit est ainsi divisé par deux. La vitesse de pulsion constitue par conséquent le problème principal. Autre fait à relever: la circulation d'air générée par la chaleur corporelle s'effectue seulement à partir de la hauteur du lit, à savoir 0,6 m environ. De plus, l'étude est réalisée pendant la période de transition sans enclenchement du chauffage au sol. Avec le chauffage enclenché, il est

très probable que les premières valeurs relevées auraient déjà confirmé un bon échange de l'air.

La simple mesure ci-dessus permet d'atteindre la qualité de l'air intérieur exigée; une solution optimale consisterait à éléver la vitesse de pulsion à 1,5 m/s environ. Une solution alternative serait de placer la bouche d'air transférée au-dessus de la porte. Les leçons à tirer de cet essai sont les suivantes:

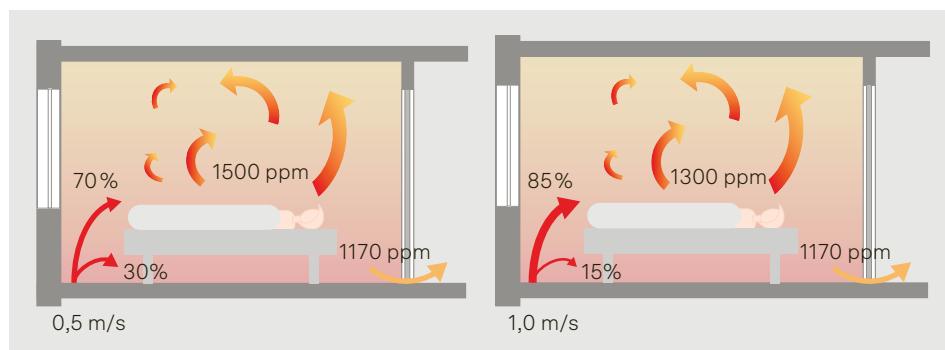
- Si les bouches d'air fourni au sol sont combinées avec des bouches d'air transférées près du sol, la vitesse de pulsion devrait être de 1,5 m/s au moins.
- Si une petite vitesse de pulsion est souhaitée (par des diffuseurs à déplacement d'air), la bouche d'air transférée devrait être positionnée à une hauteur de 2 m au moins.
- Le mieux est de positionner la bouche d'air fourni dans la zone supérieure du local, par exemple au-dessus de la porte. Ainsi, une bonne ventilation par mélange est obtenue, quelle que soit la position de la bouche d'air transférée.

Positionner les bouches d'air transférés

Des essais en laboratoires et des simulations [3] ont démontré que deux bouches d'air transférées, situées dans un local d'air fourni pour l'une, respectivement dans un local d'air repris pour l'autre, et qui sont disposées l'une en face de l'autre avec une faible distance, peuvent provoquer un court-circuit. Dans la zone de transit, il est alors possible que la concentration de CO₂ de l'air soit un peu plus élevée que dans le local d'air repris. Le schéma d'une telle disposition à court-circuit se trouve à la figure 3.21.

Figure 3.20:

Circulation de l'air intérieur et concentration de CO₂ dans une chambre à couche avec un diffuseur d'air au sol; à gauche avec une vitesse faible de l'air pulsé de 0,5 m/s environ, à droite avec une vitesse moyenne de l'air pulsé de 1 m/s environ.



Toutefois, celle-ci n'est pas problématique si au moins une des exigences suivantes est remplie:

- La porte au moins d'un local d'air fourni est ouverte. C'est une situation typique pendant la journée.
- Toutes les personnes se trouvent dans les locaux d'air fourni. C'est une situation typique la nuit.
- Deux portes au moins sont décalées de 1,5 m au minimum (distance a, selon la figure 3.21).
- Deux portes au moins sont écartées de plus de 3 m l'une de l'autre (distance b, selon la figure 3.21.)

Si le problème se pose malgré tout, le solutionner est simple: ouvrir une porte de chambre. Si les contraintes géométriques en plan sont défavorables et si toutes les portes de chambre doivent rester fermées le jour, la solution consiste à positionner la bouche d'air transférée de certaines portes en haut (p. ex. locaux d'air fourni) et celle des autres portes en bas.

3.10 Débits minimaux d'air repris

Les débits d'air minimaux à évacuer des locaux d'air repris dépendent du mode de fonctionnement. Pour les installations avec régime continu, les installations de ventilation sont considérées être enclenchées toute la journée ou au moins lors de la présence de personnes. Une bonne qualité de l'air intérieur est ainsi garantie dans les locaux d'air fourni ainsi que dans les zones d'air mélangé et les zones de transit.

En régime marche/arrêt, les installations d'air repris sont seulement enclenchées si un local d'air repris est occupé, respectivement si de la pollution de l'air y est générée. Les ventilateurs d'extraction usuels fonctionnent de cette manière. La norme SIA 382/5 définit les débits minimaux d'air repris comme indiqués au tableau 3.2.

Remarque sur le débit d'air repris commandé en fonction des besoins

Outre l'extraction mécanique, l'aération par les fenêtres entre en principe aussi en ligne de compte pour un remplacement d'air commandé en fonction des besoins. Cette solution a l'inconvénient suivant: en particulier pour les salles de bain et les toilettes, les fenêtres restent très fréquemment ouvertes en position oscillante toute la journée.

Le standard Minergie exige une ventilation automatique pour tous les locaux d'air repris. Celle-ci est en règle générale assurée par une extraction mécanique – une aération automatique par les fenêtres peut cependant également l'assurer.

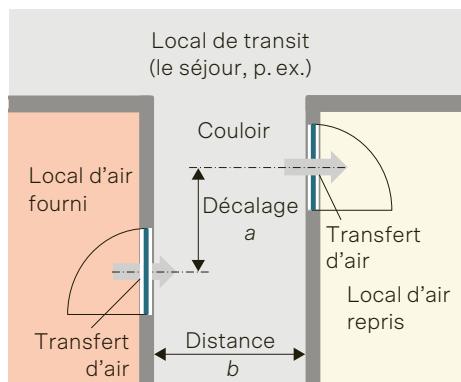


Figure 3.21:
Disposition excluant tout court-circuit entre bouches d'air transférées.

Local	Débit minimal d'air repris	
	Fonctionnement continu	Marche/arrêt selon les besoins
Cuisines situées en dehors de la zone de transit ou d'air fourni	20 m ³ /h	30 m ³ /h
Salles de bain ou douches, avec ou sans WC	30 m ³ /h	50 m ³ /h
WC séparé	15 m ³ /h	25 m ³ /h
Locaux à utilisation courte (2 h par jour environ)	10 m ³ /h	15 m ³ /h
Total logement	50 m ³ /h	–

Tableau 3.2:
Débits minimaux d'air repris selon la norme SIA 382/5.

Remarques sur les cuisines

La norme SIA 382/5 n'exige pas d'extraction d'air pour les cuisines situées dans la zone de transit (principe «cascade») ou dans la zone d'air fourni (principe «mélange»). Les valeurs du tableau 3.2 ne se réfèrent pas à la ventilation de la zone de cuisson (hotte d'aspiration) mais à la ventilation du local. Il est possible de la prendre en charge par la ventilation de la zone de cuisson, ou également de manière indépendante de celle-ci.

Dès lors, les cuisines fermées avec hotte d'aspiration à air recyclé doivent disposer d'une extraction d'air. Comme précédemment, il peut s'agir soit d'une extraction mécanique soit d'une fenêtre. Le point 10.1 informe plus en détail sur la ventilation de la zone de cuisson.

Remarque sur les locaux à utilisation courte

La norme SIA 382/5 ne comprend pas de définition exacte du terme «locaux à utilisation courte». Il peut s'agir de locaux secondaires et annexes à condition d'être effectivement utilisés 2 h environ par jour. Il peut aussi s'agir d'autres locaux tels que dressing. Une marge d'interprétation existe donc bel et bien.

3.11 Bibliographie

- [1] Barp, Stefan; Fraefel, Rudolf; Huber, Heinrich: Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen. Zürich: R. Fraefel, dipl. Arch. ETH SIA/AFC Air Flow Consulting AG, 2009
- [2] Primas, Alex; Moser, Marie-Teres; Zakovorotnyi, Andrii: Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte. Hochschule Luzern, Horw, 2020
- [3] Rojas, Gabriel; Pfluger, Rainer; Feist, Wolfgang: Cascade ventilation – Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. In: Energy and Buildings (2015), Vol. 100, S. 27–33

Systèmes de ventilation

4.1 Ventilation naturelle

La ventilation naturelle est générée par des différences de pression dues à des écarts de températures et au vent. Les différences de pression naturelles sur le Plateau suisse sont faibles (généralement inférieures à 10 Pa) et très variables dans le temps. Dans ces conditions, il n'y a pas de règles simples pour obtenir un apport d'air suffisant par ventilation naturelle. En revanche, des régions exposées au vent permettent d'élaborer un concept basé sur la ventilation naturelle. La ventilation naturelle offre moins d'avantages que la ventilation mécanique:

- Si le dispositif d'aération est ouvert, l'isolation acoustique contre le bruit extérieur est affaiblie.
- La température de l'air fourni en hiver est la même que celle de l'air extérieur ce qui peut influencer le confort thermique.
- Sur les façades ensoleillées, la température de l'air fourni en été peut être nettement supérieure à celle de l'air extérieur. Il en résulte des apports thermiques supplémentaires.
- Il est impossible de filtrer l'air de remplacement si bien que les polluants et particules pénètrent directement dans les locaux.
- Le renouvellement d'air dépend fortement du vent et de la température extérieure.
- Aucune récupération de chaleur n'est possible.
- Un dispositif de ventilation doit être entretenu pour bien fonctionner. Ce principe s'applique aussi à la ventilation naturelle.

Limites de la ventilation naturelle

Selon la norme SIA 382/1:2014, la ventilation naturelle est considérée comme inappropriée dans les conditions suivantes:

- Si les nuisances sonores extérieures sont importantes. Cette situation est

réelle si le niveau sonore selon l'Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) est supérieur à 55 dB(A) pendant la journée et supérieur à 45 dB(A) pendant la nuit.

- Si l'air extérieur est fortement pollué par les oxydes d'azote (NO_x) et les particules fines (PM2,5 et PM10). Si la valeur de NO_2 ou celle de PM10 dépasse de plus de 50 % la valeur limite d'immessions arrêtée par l'ordonnance fédérale sur la protection de l'air (OPAir) (voir point 1.4).
- Si une ventilation mécanique est impérative en raison de salles de bain, douches, WC et autres locaux borgnes avec production de vapeur d'eau ou régulièrement utilisés.

Aération par ouverture manuelle des fenêtres

L'aération par ouverture manuelle des fenêtres englobe l'aération unilatérale et l'aération transversale. Le vent est le plus souvent la force motrice de l'aération transversale. L'aération unilatérale fonctionne grâce à la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Avantages

- Faible investissement
- Faibles coûts de maintenance
- Compte tenu des grandes sections d'ouverture, même des différences de pression très faibles génèrent un échange d'air élevé.
- Faible risque de salissures des éléments en contact avec l'air amené.

Inconvénients

Les inconvénients sont les mêmes que pour la ventilation naturelle en général, avec les compléments suivants:

- Les fenêtres ouvertes augmentent le risque d'effraction.
- Les fenêtres ouvertes amoindrissent la protection contre les intempéries.

- Le comportement des utilisateurs a un rôle décisif sur la qualité et l'humidité de l'air intérieur, la protection contre l'humidité et les déperditions thermiques dues à l'aération.
- L'aération sporadique induit une qualité de l'air intérieur irrégulière.

Aération par ouverture automatique des fenêtres

Il est possible de motoriser les vantaux des fenêtres, notamment des fenêtres oscillantes. Les moteurs peuvent être commandés par des programmes horaires, par la température et par la qualité de l'air. Ils sont appropriés pour le rafraîchissement nocturne à condition de se refermer automatiquement en cas de pluie ou de vent.

Une automatisation implique impérativement des scénarios de coupure de courant: que se passe-t-il en cas d'orage, par exemple? En outre, selon le type d'entraînement et de verrouillage, la force de fermeture peut être considé-

rable. Il faut prendre les dispositions nécessaires pour écarter tout risque de blessures.

L'aération par ouverture automatique des fenêtres est rarement utilisée pour les séjours et chambres. En effet, même les entraînements lents et silencieux restent audibles. De plus, des craquements peuvent se produire lors de l'ouverture. L'ouverture et la fermeture modifient par ailleurs immédiatement l'isolation acoustique par rapport à l'extérieur.

Aérateurs de fenêtre

Les aérateurs de fenêtre sont des ouvertures d'aération séparées, disposées dans la zone de la fenêtre. L'aération ne dépend pas de la position du vantail de la fenêtre.

Une étude de la FHNW [1] arrive à la conclusion que les aérateurs de fenêtre ne permettent pas de garantir le débit hygiénique d'air nécessaire dans les régions à faible vent tel que le Plateau suisse. Dans les zones densément construites et/ou les appartements des étages inférieurs (rez jusqu'au 2^{ème} étage environ), ces aérateurs seuls n'atteignent souvent même pas le débit d'air minimal exigé par rapport à la protection contre l'humidité. En revanche, des ventilateurs d'extraction à la salle de bain et la cuisine permettent d'atteindre un débit d'air suffisant. Dans ce cas de figure, les aérateurs de fenêtre remplissent le rôle d'une bouche d'air neuf pour les ventilateurs d'extraction.

Il est conseillé de consulter des professionnels spécialisés pour planifier et dimensionner les aérateurs. Voici quelques remarques conceptuelles qui ne remplacent toutefois pas une planification professionnelle:

- Une ventilation transversale doit être possible.
- Des bouches d'air transférées doivent être disposées entre les chambres et le couloir (voir point 3.8). Les portes des chambres doivent être ouvertes le jour.
- Un aérateur de fenêtre au minimum est nécessaire par local.



Figure 4.1: Exemple d'une aération par ouverture automatique de la fenêtre. Des entraînements électriques ouvrent et ferment les vantaux de la fenêtre.

(Source:
Geze GmbH)

- Les aérateurs de fenêtre affaiblissent la protection contre le bruit extérieur.
- Les aérateurs de fenêtre sont encrassés par la poussière provenant de l'air intérieur et extérieur. Pour cette raison, ils sont à inspecter et si nécessaire nettoyer une à deux fois par année. Cependant, la plupart des produits ne conviennent pas au nettoyage par des non-spécialistes. Il est donc judicieux de définir les modalités de maintenance dès la phase de conception.
- Pour des raisons d'hygiène, il est conseillé de renoncer aux produits avec un revêtement intérieur en matériau à pores ouverts (isolation acoustique).

4.2 Installation simple d'air repris

Fonctionnement de l'installation simple d'air repris

Seul l'air repris est transporté par un système mécanique. La dépression générée fait entrer l'air extérieur. Pour que ce type d'installation fonctionne correctement, il est indispensable de définir les dispositifs de renouvellement d'air. En cas de régime continu, des bouches d'air neuf traversant l'enveloppe sont utilisées. En cas de temps de fonctionnement courts et de régime marche/arrêt (WC, par exemple), d'autres solutions sont possibles. Il est envisageable de recourir à des ouvertures d'aération automatiques ou contrôlées, par exemple à une motorisation automatique de fenêtre.

Les pompes à chaleur côté air repris (PAC air repris) permettent d'utiliser la chaleur contenue dans l'air repris pour la production d'eau chaude, et en partie aussi pour le chauffage. L'aide à l'exécution EN 105[3] du Mopec 2014 exige l'utilisation de la chaleur perdue (UCP) si le débit d'air repris dépasse 1000 m³/h pour une durée de fonctionnement au-delà de 500 h/a. Plusieurs installations simples d'air repris d'un même bâtiment sont considérées comme une seule installation. Il est possible de renoncer à l'UCP si l'installation simple d'air repris est régulée par appartement ou par local

en fonction de la concentration de CO₂ ou de l'humidité. En revanche, une PAC air repris est en principe obligatoire pour un habitat collectif d'une certaine taille (plus de 10 appartements) avec installations simples d'air repris fonctionnant en continu.

Le dimensionnement des installations simples d'air repris est traité au chapitre 7. La figure 4.2 schématise le fonctionnement de ces installations. La signification des symboles se trouve à l'annexe 13.2.

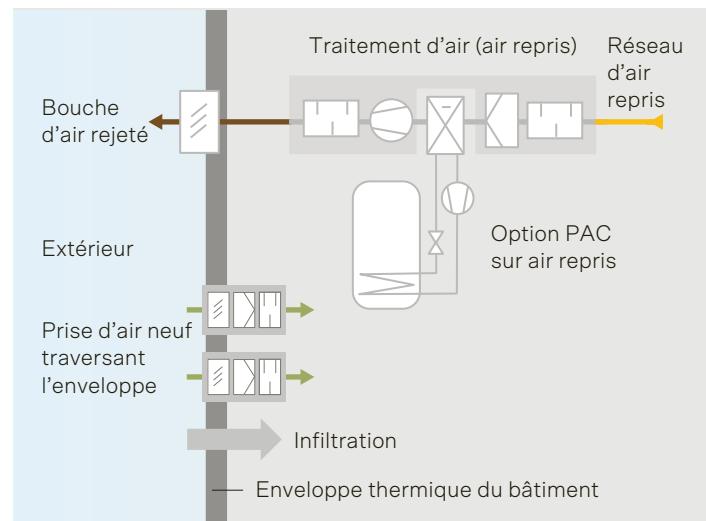
Principes de la circulation de l'air

Le principe «cascade» est au premier plan pour les installations simples d'air repris. Etant donné que les bouches d'air neuf traversant l'enveloppe sont disposées dans les chambres, ce principe permet d'aérer tout l'appartement.

Le principe «mélange» est théoriquement possible. Cependant, si une seule bouche d'air neuf (p. ex. pour 100 m³/h) était utilisée dans un appartement, il ne serait quasi plus possible de remplir les exigences en matière de confort thermique dans le local concerné.

Le principe «local séparé» est théoriquement aussi possible. Dans les habitations, cette solution n'est pas très viable sur le plan économique, car chaque chambre devrait être équipée d'un ventilateur d'extraction et d'une bouche d'air neuf traversant l'enveloppe.

Figure 4.2: Installation d'air repris avec prises d'air neuf.



Avantages

- Les installations simples d'air repris nécessitent peu de place, ce qui les rend attractives pour les assainissements.
- Comparé à d'autres ventilations mécaniques, l'investissement est plus bas.
- Les coûts d'exploitation, en revanche, sont plus hauts.
- Comparée aux installations de ventilation simples, la consommation d'énergie pour le transport de l'air est inférieure.
- L'humidité et les odeurs dans les locaux d'air repris sont évacuées de manière fiable.
- Comparée à la ventilation naturelle, la qualité de l'air intérieur obtenue est plus uniforme et en général meilleure. Il ressort de projets de recherche et de développement que les utilisateurs sont en général satisfaits de la qualité de l'air intérieur.

Inconvénients

- Même dans les bâtiments très étanches, la dépression aspire l'air non seulement par la bouche d'air neuf, mais aussi par des fissures et joints de l'enveloppe, par des zones d'installation non étanches et depuis la cage d'escalier. Ces débits d'air font augmenter la consommation d'énergie sans améliorer la qualité de l'air intérieur. De plus, ils peuvent transmettre des odeurs d'un appartement à l'autre.
- Les résidents doivent être informés que le système ne fonctionne plus si les fenêtres sont ouvertes. L'air extérieur entre alors majoritairement par la fenêtre ouverte selon le principe de la moindre résistance. Ce n'est pas problématique pour de courtes durées. En revanche, dormir la fenêtre ouverte implique de supprimer l'apport d'air frais dans toutes les pièces dont les fenêtres sont fermées.
- Il est indispensable d'assurer le contrôle et la maintenance des bouches d'air neuf. L'étude [2] démontre que les filtres doivent être remplacés deux à quatre fois par année dans chaque pièce afin de garantir l'apport d'air planifié. Les éléments sensibles à l'encrassement tel

que grille extérieure des bouches d'air neuf et grilles anti-insectes sont également à nettoyer au moins une fois par année. Cet aspect est à prendre en compte dès la phase de projet (accès, coûts). Il faut partir du fait que cette maintenance n'est pas effectuée par les locataires.

- Aucune récupération de chaleur n'est possible.
- Comparée à la récupération de chaleur, l'utilisation de la chaleur perdue au moyen d'une PAC air repris a un moins bon rapport chaleur récupérée – consommation d'électricité.
- Aucune récupération d'humidité n'est possible.
- La marge de manœuvre pour positionner les bouches d'air neuf est très petite. L'air extérieur est aspiré côté route le cas échéant. En été, les bouches d'air neuf disposées sur des façades ensoleillées font pénétrer un air très chaud dans l'appartement.

Limites de l'installation d'air repris

- Si une dépression est générée dans le bâtiment, il ne doit y avoir aucun risque de concentration élevée du radon (informations supplémentaires au point 1.4).
- Les bouches d'air neuf ne doivent pas amoindrir l'indice d'affaiblissement acoustique exigé.
- Une concentration élevée de poussières dans l'air extérieur implique d'utiliser des filtres de la classe ISO ePM1 50% (voir point 9.1). La norme SIA 382/5 exige même et dans tous les cas d'utiliser au minimum la classe 50 % d'ISO ePM10. De nombreuses bouches d'air neuf sur le marché n'ont pas de filtres ou de simples filtres grossiers (classe Coarse).
- Le bâtiment doit présenter une étanchéité à l'air élevée. Si la valeur cible de la SIA 180 n'est pas atteinte, une installation d'air repris est discutable du point de vue de la fonction tout comme de la consommation d'énergie (cf. point 2.10).
- L'air devrait pouvoir circuler au maximum sur deux étages. Si le nombre d'étages est plus élevé, il est nécessaire de les séparer par des portes étanches à l'air.

- Il est délicat d'aménager des chauffages à combustion (p. ex. cheminée) dans les appartements (voir point 10.2).
- Un vent fort peut perturber le fonctionnement de l'installation. Par conséquent, les installations simples d'air repris ne doivent pas être utilisées à des endroits fortement exposés au vent.
- La perte de pression due aux bouches d'air transférée doit être de 1 Pa au maximum (voir point 3.8). Par conséquent, atteindre un indice élevé d'affaiblissement acoustique entre les pièces devient exigeant. En d'autres termes: il est difficile de satisfaire à des exigences élevées de protection contre le bruit à l'intérieur d'un appartement.

Le confort thermique dépend fortement de la construction et de la position de la bouche d'air neuf. Toutefois, recourir à des produits de haute qualité et respecter les spécifications du fournisseur permet de remplir les exigences de confort requises par les normes. Les installations d'air repris avec bouches d'air neuf suscitent tout de même plus de plaintes pour courants d'air en comparaison avec les aérations douces.

La basse température d'entrée d'air de ce type d'installations a un effet sur le dimensionnement du chauffage. A titre d'exemple, dans une pièce, un apport d'air de 30 m³/h à une température extérieure de -10 °C implique une puissance de chauffage de 290 W pour chauffer l'air fourni. Dans les mêmes conditions, une aération douce réduit la puissance nécessaire à environ 70 W grâce à la récupération de chaleur.

Autre exemple: avec une installation d'air repris, le chauffage au sol d'une chambre de 15 m² doit fournir une puissance spécifique supérieure de 5 W/m² à celle nécessaire avec une aération douce. Si la température aller doit rester la même, il faut réduire la distance entre les tuyaux. Si la distance entre les tuyaux doit rester la même, il faut augmenter la température aller de 5 K environ. Si cette deuxième solution est combinée avec un chauffage par pompe à chaleur, son

coefficient de performance diminue d'environ 15%. Alors qu'elle est exigée par la loi, il arrive que la température aller maximum de 35 °C des chauffages au sol ne soit plus respectée dans des locaux d'angle et/ou avec une part élevée de surfaces vitrées.

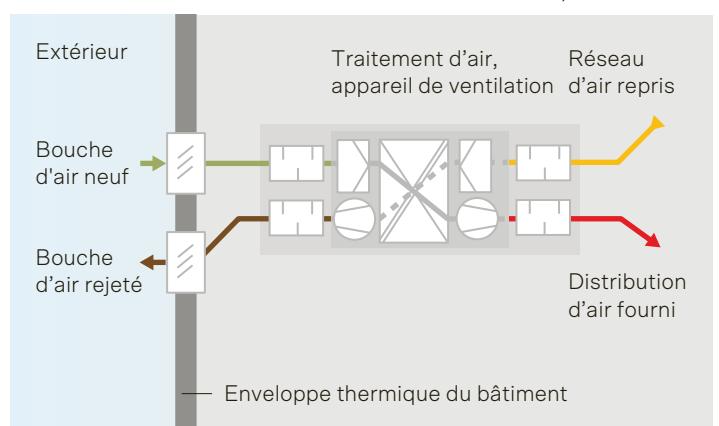
Comparées aux aérations douces, les installations d'air repris sont souvent plus exigeantes à planifier et à gérer. Pour cette raison, il est fortement conseillé d'attribuer un mandat de planification rémunéré et de consulter les mandataires pour choisir l'ensemble des composants. Comme pour les autres systèmes de ventilation, les débits d'air sont à régler et à contrôler.

4.3 Installation de ventilation simple (aération douce)

Fonctionnement

Une installation de ventilation simple, appelée également «aération douce», amène et évacue l'air au moyen de ventilateurs. Une récupération de chaleur (RC) transfère la chaleur de l'air repris à l'air fourni. En entrant dans l'appareil de ventilation, l'air est filtré côté air neuf tout comme côté air repris. Ainsi, l'appareil de ventilation et les autres composants de l'installation exposés au flux d'air sont protégés de l'encrassement. De plus, côté air fourni, moins de poussière est ramenée dans l'appartement. La figure 4.3 montre le principe de l'aération douce. Le dimensionnement de ces installations est traité au chapitre 6.

Figure 4.3: Installation de ventilation simple (aération douce).



Aération douce et circulation de l'air

L'aération douce est parfaitement appropriée pour le principe «cascade» tout comme pour le principe «mélange». Même le principe «local séparé» est possible en théorie, mais trop onéreux, car chaque local devrait être équipé de bouches d'air fourni et d'air repris.

Avantages

- Le renouvellement d'air se fait de manière fiable et indépendante des intempéries.
- La distribution de l'air dans l'appartement n'est quasiment pas influencée par des fuites éventuelles de l'enveloppe du bâtiment ni par le comportement des utilisateurs (ouverture des fenêtres).
- Des filtres efficaces assurent une bonne qualité de l'air fourni, même en cas de forte pollution de l'air extérieur par des poussières fines ou le pollen.
- Les bouches d'air fourni peuvent être placées n'importe où dans la pièce.
- La protection contre le bruit provenant de l'extérieur est meilleure que celle de tout autre système.
- Les pertes de chaleur dues à la ventilation sont plus faibles que celles rencontrées dans tout autre système, si la récupération de chaleur est bonne et si l'enveloppe du bâtiment est étanche. Le confort thermique est en outre meilleur que celui des autres systèmes, ceci grâce à l'air fourni d'une température légèrement réduite.
- Une récupération d'humidité permet en hiver une légère augmentation de l'humidité de l'air ambiant.
- Les filtres sont entretenus de manière centralisée (non pas par local).
- Il est possible de choisir l'emplacement de la prise d'air neuf, par opposition à l'aération par les fenêtres, aux installations simples d'air repris et aux appareils VPL (ventilation par local).

Inconvénients

- Comparée à d'autres systèmes, la consommation d'énergie pour le transport de l'air est plus importante.

- La place nécessaire pour les installations de ventilation ainsi que les investissements sont plus importants que ceux de l'aération par les fenêtres et des installations simples d'air repris, voire des appareils VPL en cas d'assainissements.
- Dès les premières phases de planification, il faut penser à la distribution de l'air, en particulier de l'air fourni.

Ventilation avec chauffage du bâtiment

Dans beaucoup de villas correspondant au standard de maison passive, l'installation de ventilation prend en charge également le chauffage (chauffage à air chaud). C'est souvent un appareil multifonction qui assure ventilation, chauffage et production d'eau chaude (voir point 9.10). La planification et la réalisation de telles installations sont très exigeantes. Il est fortement recommandé de consulter des spécialistes ayant une formation et une expérience correspondantes.

Selon la SIA 382/5, «une installation de ventilation ne pourra servir à chauffer les locaux que si le débit d'air neuf ne dépasse pas celui requis pour l'hygiène dans un régime normal de ventilation». Cette contrainte permet de couvrir au maximum une puissance thermique spécifique de 10 W par m² de surface de référence énergétique.

Avec le principe «cascade», l'air fourni réchauffé doit aussi être amené dans la zone de transit afin d'en assurer le chauffage. Le principe «mélange» est exclu. Pendant le fonctionnement du chauffage, une commande/régulation en fonction de la qualité de l'air intérieur n'est possible que de manière très restreinte. Un fonctionnement continu est nécessaire, en particulier lors de basses températures extérieures. Les débits d'air tendanciellement plus élevés et le régime en fonction de la charge de chauffage impliquent de vérifier si des mesures spéciales d'humidification sont nécessaires afin d'atteindre le taux d'humidité minimal exigé. Le point 10.4 informe davantage sur les chauffages à air chaud.

Fonctions spéciales

Lors de l'élaboration du concept de ventilation, il faut clarifier si l'aération douce est à compléter par des fonctions spéciales. Il s'agit notamment des fonctions suivantes:

- Refroidissement ou pré-refroidissement de l'air fourni.
- Mesures de protection anti-givrage spéciales de la RC (voir point 9.5).

Le recours à un échangeur de chaleur géothermique ou à un appareil multi-fonction peut alors s'imposer.

4.4 Appareils VPL et installations d'air repris

Fonctionnement

Les appareils VPL (appareils de ventilation individuels par local) sont équipés d'un ventilateur d'air fourni et d'air repris, de filtres et de la RC. Le traitement d'air est donc identique à celui de l'aération douce.

Dans la pratique, les appareils VPL sont souvent combinés avec des installations simples d'air repris. Dans ce cas, au lieu d'équiper salle de bain, douche et WC de ces appareils, l'air repris (sans RC) est soufflé vers l'extérieur et la dépression générée amène l'air de remplacement. Le dimensionnement est traité au point 8.1.

La figure 4.4 montre un système combinant appareils VPL et installation simple d'air repris régulée à la demande.

Appareils VPL et circulation de l'air

Il est logique que les appareils VPL soient utilisés en premier lieu pour les installations fonctionnant selon le principe «local séparé». Des solutions les combinant avec le principe «mélange» sont aussi envisageables, par exemple pour un appartement de 2 pièces. Certains appareils sont disponibles avec des raccordements dits «pour locaux secondaires» qui permettent d'amener et d'évacuer de l'air pour des locaux attenants. Il en résulte une petite ventilation en cascade. Cette solution est en

principe efficace et judicieuse, mais fait partie du principe «cascade».

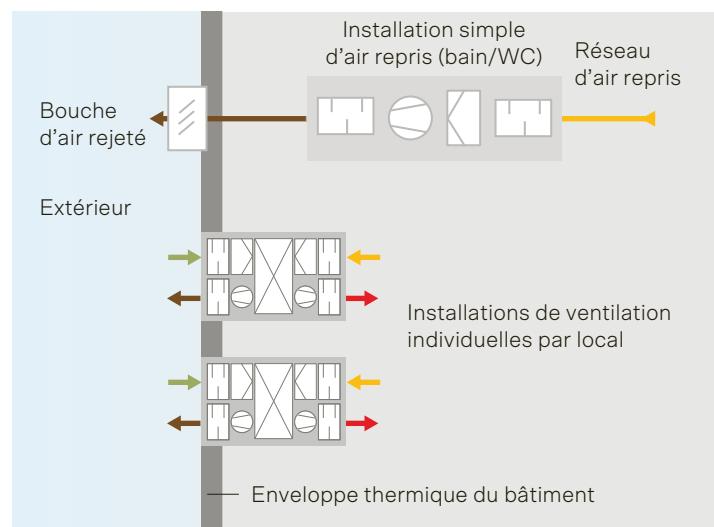
Avantages

- Les appareils VPL sont appropriés pour mettre à niveau les bâtiments existants. Ils peuvent être installés de manière ciblée dans les chambres à coucher de personnes allergiques au pollen ou dans des endroits exposés au bruit, par exemple.
- La ventilation par local est le seul système de ventilation pour habitations qui permet une commande standard par local sans surcoûts.
- La consommation d'énergie pour le transport de l'air est moindre que celle d'une aération douce si les appareils sont efficents.
- La RC réduit les déperditions thermiques dues à la ventilation d'environ 60% si les appareils sont de très bonne qualité.
- Il existe des appareils équipés d'échangeurs à enthalpie. Ils permettent en hiver d'augmenter le taux d'humidité relative d'environ 5% HR.

Inconvénients

- Les ventilateurs se trouvent dans les chambres! Pour cette raison, les appareils VPL sont souvent plus bruyants que les autres systèmes. Certains appareils disponibles sur le marché ne respectent pas les exigences de protection contre le bruit exigées par les normes.

Figure 4.4: Appareils VPL combinés avec une installation d'air repris.



- Comparé aux aérations douces, l'indice d'affaiblissement acoustique par rapport à l'extérieur est plus faible.
- Les frais de maintenance sont élevés en raison du nombre d'appareils. Les filtres sont à remplacer deux à quatre fois par année. Les éléments sensibles à l'enrassement tels que grille extérieure de la bouche d'air neuf et grille anti-insectes sont également à nettoyer une à deux fois par année. Une étude de cas [2] a démontré que cette fréquence de maintenances est indispensable afin d'assurer l'apport d'air planifié. Cet aspect est à prendre en compte déjà lors de la planification (accès à chaque chambre à coucher, coûts). Il faut partir du principe que cette maintenance n'est pas effectuée par les locataires.
- En raison de la protection anti-givrage, la plupart des appareils s'arrêtent complètement à partir d'une température de -3 °C environ ou alors désactivent la RC, par exemple en déclenchant le ventilateur d'air fourni. En d'autres termes: lors de basses températures extérieures, il faut aérer par les fenêtres ou alors s'accommoder de l'air extérieur froid pénétrant par des fissures et joints dans l'appartement. Ainsi, lors du dimensionnement du chauffage, il n'est pas possible de prendre en compte l'apport de la RC (cf inconvénients des installations simples d'air repris).
- Pour divers appareils, les débits d'air fourni et d'air repris sont fortement impactés par le vent et la pollution. Le gain énergétique baisse en conséquence.
- L'emplacement de la prise d'air neuf ne peut être choisi librement. L'air extérieur est ainsi aspiré côté route le cas échéant. En été, il arrive d'aspirer de l'air extérieur très chaud au droit des façades ensoleillées.
- L'intégration architecturale des appareils VPL est exigeante, d'autant plus qu'un bon accès doit être garanti pour la maintenance.

Limites de la ventilation par local

- Le recours à des appareils VPL doit être mûrement réfléchi si le climat est

froid, ceci en raison de la protection anti-givrage. A Davos, par exemple, si la protection anti-givrage était activée à -3 °C, la RC serait désactivée pendant environ 1800 h par an, en d'autres termes pendant 2,5 mois.

- Les différences de pression ont un impact considérable sur le débit d'air de beaucoup d'appareils. Le vent, un effet de cheminée prononcé (courant d'air ascendant en cas de différences de température) et la pollution provoquent un déséquilibre massif entre les débits d'air fourni et d'air repris ce qui entrave la fonction de ventilation et l'utilité de la RC. En présence de situations impactées fortement par le vent, donc aussi en présence de tours ou zones de ventilation comprenant plusieurs étages (p.ex. habitat individuel), seuls des produits choisis avec des débits très stables entrent en ligne de compte.

La rentabilité ne peut pas être évaluée précisément. Toutefois, pour les constructions nouvelles et en comparaison à une aération douce planifiée de manière économique, il faut s'attendre à des coûts plus élevés pour une qualité identique (bruit, filtre, durabilité, stabilité de la pression). Les coûts de maintenance et d'énergie sont en général également plus importants.

4.5 Ventilations individuelles vs collectives

Une installation de ventilation individuelle (VI) n'approvisionne qu'un seul logement. Une installation de ventilation collective (VC) approvisionne plusieurs logements. Les aérations douces tout comme les installations simples d'air repris sont adaptées aux deux types de construction. La figure 4.5 montre les deux schémas correspondants pour l'aération douce.

La comparaison suivante se réfère principalement à l'aération douce. Plusieurs points s'appliquent néanmoins aussi aux installations simples d'air repris.

Confort thermique

Une VC permet de mettre en place un post-chauffage de l'air fourni ce qui présente plusieurs avantages notamment dans les régions ayant des températures extérieures basses, typiquement les régions alpines.

Bruit

Pour les VI, le risque de transmission du bruit d'un appartement à l'autre est plus faible. Le risque pour les VC est tout aussi faible, si la mise en œuvre est réalisée selon les règles de l'art.

De plus, les box de ventilation d'appartement de qualité permettent d'obtenir un niveau sonore à priori plus bas dans les chambres. En revanche, les VI obtiennent un meilleur résultat si des régulateurs de débit d'air peu onéreux sont installés.

Les appareils de ventilation des VI se trouvent en partie dans le logement ce qui peut préférer l'acoustique. Il est parfois possible de les installer en dehors du logement.

Commande/régulation

Avec des surcoûts moindres, les VI peuvent être équipées par appartement de commandes en fonction des besoins

et de régulations. Les VC nécessitent un box de ventilation d'appartement pour y parvenir. En cas de construction nouvelle, le standard Minergie exige pour les deux types de construction une commande ou une régulation individuelle.

Maintenance

Pour les VC, un seul appareil de ventilation est à nettoyer ce qui constitue un avantage important surtout par rapport au changement de filtres.

Pour les VI, le changement de filtres devient particulièrement fastidieux s'il est nécessaire d'entrer dans chaque appartement. Toutefois, des solutions permettant l'accès aux appareils depuis l'extérieur de l'appartement sont possibles, dans certains cas au moyen d'un local technique commun.

Centralisé ou décentralisé?

En Allemagne, les «installations décentralisées» désignent des appareils de ventilation individuels par local (appareils VPL). Le terme suisse «installation de ventilation individuelle» correspond au terme allemand «installation centrale». Pour éviter tout malentendu, il est recommandé d'utiliser les termes de la norme SIA 382/5.

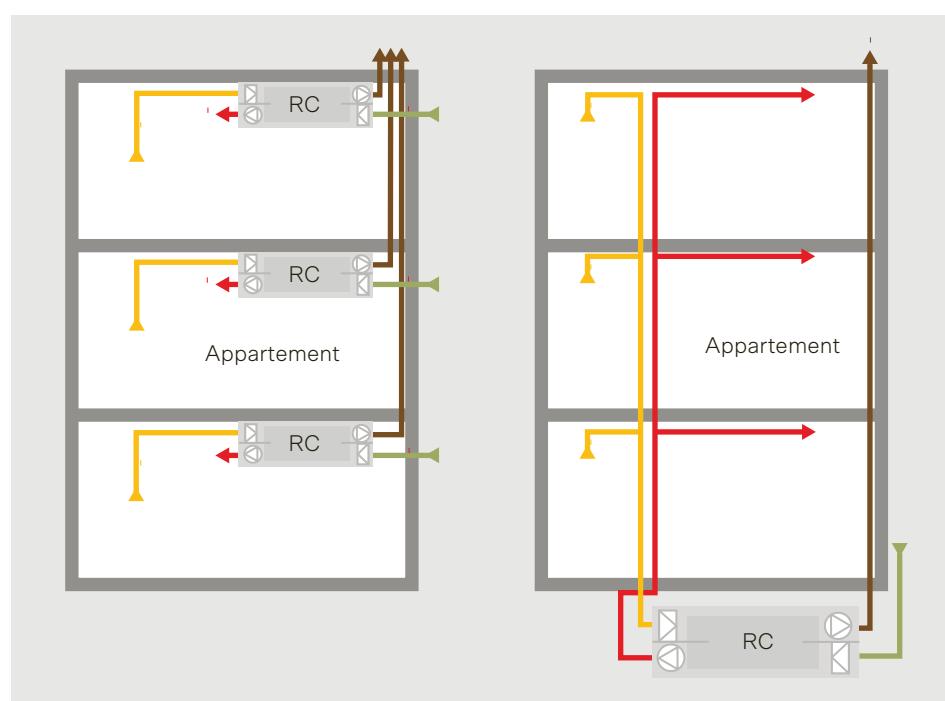


Figure 4.5: Aération douce comme installation de ventilation individuelle (à gauche) et comme installation de ventilation collective.

Consommation d'électricité

Les VI ont d'ordinaire un réseau de distribution plus court, en revanche le rendement des ventilateurs est plus bas. La pratique montre que les VI consomment en général moins d'électricité que les VC, ceci en raison des pertes de pression des VC souvent plus importantes que celles prescrites par la SIA 382/1. Ceci est fréquemment dû aux régulateurs de débit d'air (produits de bas de gamme) et à l'ajustement de la régulation. En effet, une VC planifiée et réglée avec soin n'a pas forcément une consommation électrique plus élevée qu'une VI.

Récupération de chaleur et d'humidité, utilisation de la chaleur perdue

Les appareils de ventilation d'une VI récupèrent souvent plus de chaleur que ceux d'une VC. Ils permettent par ailleurs de mettre en place plus simplement la récupération d'humidité. Pour les VC, une récupération de chaleur (RC) par échangeurs rotatifs est actuellement encore déconseillée à cause du risque de transmission d'odeurs de cuisine. Un revêtement spécial des rotors apportera probablement une solution dans le futur.

Les VI et les VC permettent la récupération d'humidité par échangeur de chaleur à plaques (échangeur à enthalpie, généralement à base de membranes perméables à l'eau). Dans le cas d'une VC, le risque de transmission d'odeurs doit être clarifié avec le fournisseur. En outre, il faut examiner comment assurer la protection contre l'humidité étant donné qu'un seul conduit d'air fourni dessert plusieurs appartements (voir point 2.4).

Le bénéfice de la RC peut être réduit par des flux de chaleur non souhaités, en particulier dans les zones d'installation (voir point 9.7). Les VC sont très peu problématiques à cet égard. Pour les VI, l'emplacement de l'appareil est le paramètre principal (voir point 6.4).

Pour la RC des VI, un échangeur à enthalpie permet d'assurer la protection

anti-givrage de manière élégante sur le Plateau suisse. Si aucun échangeur à enthalpie n'est prévu, il est plus simple et moins énergivore de résoudre cet aspect pour une VC (voir point 9.5).

Pour les installations simples d'air repris avec PAC air repris, l'alimentation en eau chaude détermine en substance si une VC ou une VI est plus appropriée. Une production d'eau chaude décentralisée, donc par appartement, rend une VI plus avantageuse alors qu'une production centrale d'eau chaude favorise une VC.

Protection incendie

Les installations couvrant plusieurs secteurs de ventilation exigent des mesures de protection incendie particulières – plusieurs colonnes montantes ou clapets coupe-feu, par exemple (voir aussi point 1.8). Les VC sont les premières concernées, les VI avec des conduites communes d'air neuf ou d'air rejeté le sont également. Les appareils de ventilation qui couvrent plusieurs secteurs doivent être équipés côté entrée air repris d'un dispositif de détection de fumée déclenchant l'installation de ventilation et fermant les clapets coupe-feu.

Coûts

Pour les habitats collectifs jusqu'à 8 appartements environ, les VI coûtent souvent moins cher que les VC. Les coûts doivent comprendre également les zones d'installation. Pour les VC, l'emplacement de l'appareil a un impact considérable sur les coûts. Par ailleurs, la place nécessaire pour l'appareil vaut plus cher dans l'appartement qu'à la cave. Les colonnes montantes sont à priori moins importantes pour les VC. Les coûts d'exploitation pour les VI sont déterminés par le prix des filtres de recharge et le travail d'entretien nécessaire. A cet égard, les VC sont en général plus avantageuses.

4.6 Comparaison de systèmes

Une étude [4] a comparé de manière détaillée différents concepts de ventilation pour habitations. Une des conclusions principales de l'étude est la suivante: il ne faudrait pas se limiter aux investissements et à la consommation d'énergie. Il faudrait également tenir compte de critères difficilement quantifiables tels que la santé et le confort pour choisir un système. La comparaison présentée dans ce document englobe dix critères au total qui sont énumérés au tableau 4.1. En revanche, il est rappelé que la pertinence

et la pondération des critères dépendent fortement de chaque projet et de ses conditions-cadres. Les décideurs doivent les définir pour chaque projet individuellement. Les 5 diagrammes 4.6 à 4.9 permettent de comparer cinq systèmes de ventilation selon les critères du tableau 4.2. L'objet de la comparaison est un locatif neuf avec cinq appartements de 4½ pièces et cinq de 5½ pièces situé sur le Plateau suisse. Il est présupposé que toutes les installations répondent aux normes et que les recommandations présentées dans ce document sont respectées (pas d'air fourni dans les zones

Tableau 4.1:
Critères et indicateurs de comparaison des systèmes de ventilation.

Critère	Indicateurs
Energie de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> – Consommation d'électricité pour le transport de l'air – Consommation d'électricité pour l'alimentation auxiliaire et la protection anti-givrage de la RC – Déperditions de chaleur de la ventilation en tenant compte du bénéfice effectif de la RC (déséquilibre entre débits d'air, protection anti-givrage) et de flux thermiques non souhaités (pertes dues à la distribution)
Energie grise	Indicateur des émissions grises de gaz à effet de serre, des unités de charge écologique et de l'aptitude à la déconstruction/l'élimination
Coûts d'investissement	<ul style="list-style-type: none"> – Coûts de réalisation et de rénovation des installations aérauliques – Coûts locaux pour installations aérauliques
Maintenance	<ul style="list-style-type: none"> – Travail pour la maintenance et l'entretien – Fournitures nécessaires au fonctionnement (filtres de remplacement) – Aisance de la maintenance – Remplacement des composants
Protection contre le bruit extérieur	Protection contre le bruit provenant de sources extérieures selon la SIA 181: <ul style="list-style-type: none"> – Affaiblissement de l'indice acoustique apparent par les installations aérauliques
Protection contre le bruit intérieur	Protection contre le bruit provenant de sources intérieures selon la SIA 181: <ul style="list-style-type: none"> – Affaiblissement de l'indice acoustique apparent entre les appartements – Affaiblissement de l'indice acoustique apparent à l'intérieur de l'appartement – Bruits des installations aérauliques
Qualité de l'air intérieur	<ul style="list-style-type: none"> – Teneur en CO₂ de l'air intérieur – Apport, respectivement filtrage de pollutions de l'air extérieur (poussières fines, pollen) – Evacuation des pollutions intérieures provenant de matériaux de construction et de l'ameublement
Humidité relative de l'air intérieur	<ul style="list-style-type: none"> – Risque d'un faible taux d'humidité de l'air intérieur en hiver – Protection contre l'humidité selon la SIA 180
Confort thermique	<ul style="list-style-type: none"> – Risque de courants d'air – Contribution à la protection contre la surchauffe estivale (réduction ou augmentation)
Solidité	Capacité du système de ventilation à résister aux changements extérieurs, en d'autres termes à remplir les exigences définies (qualité de l'air, confort, consommation d'énergie, etc.) également dans des conditions cadres variables. A titre d'exemple, il peut s'agir des aspects suivants: <ul style="list-style-type: none"> – Taux d'occupation des appartements – Comportement des utilisateurs, en particulier les fenêtres ouvertes – Position des portes à l'intérieur de l'appartement – Vent – Encrassements/maintenance – Possibilité de rééquipement

Tableau 4.2: Description succincte des systèmes de ventilation comparés au moyen de graphes selon les figures 4.6 à 4.9.

Abré-viation	Description
AD VC	Aération douce, installation de ventilation collective: commande selon besoins, échangeur à enthalpie
AD VI	Aération douce, installation de ventilation individuelle: commande selon besoins, échangeur à enthalpie
REP + PAC	Installation d'air repris, bouche d'air neuf, pompe à chaleur côté air repris pour la production d'eau chaude
VPL + REP	Ventilation par local combinée avec air repris commandé selon besoins dans salle de bain/WC (marche/arrêt)
AFe + REP	Aération par les fenêtres combinée avec air repris commandé selon besoins dans salle de bain/WC (marche/arrêt)

de transit, conduites courtes, peu de composants noyés dans les dalles en béton, etc.).

L'évaluation est basée sur la méthode de l'étude [4] et sur les avantages et les inconvénients des systèmes de ventilation énumérés ici aux points 4.1 à 4.5.

L'échelle d'évaluation va de 1 à 5 points, 5 étant le meilleur résultat. Pensée comme point de repère, l'évaluation de l'aération par les fenêtres avec ventilateurs d'air repris commandés selon les besoins est reportée dans chaque diagramme. Le constat suivant est valable pour tous les systèmes: un bon résultat pour les

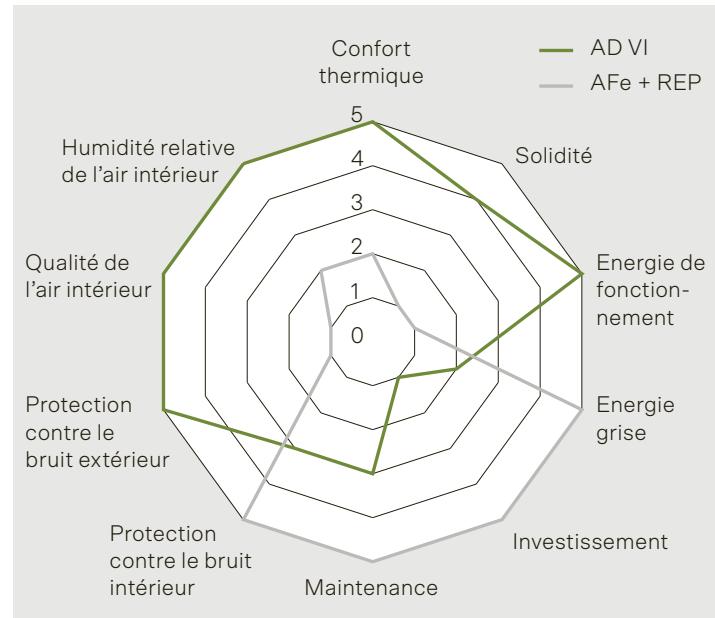
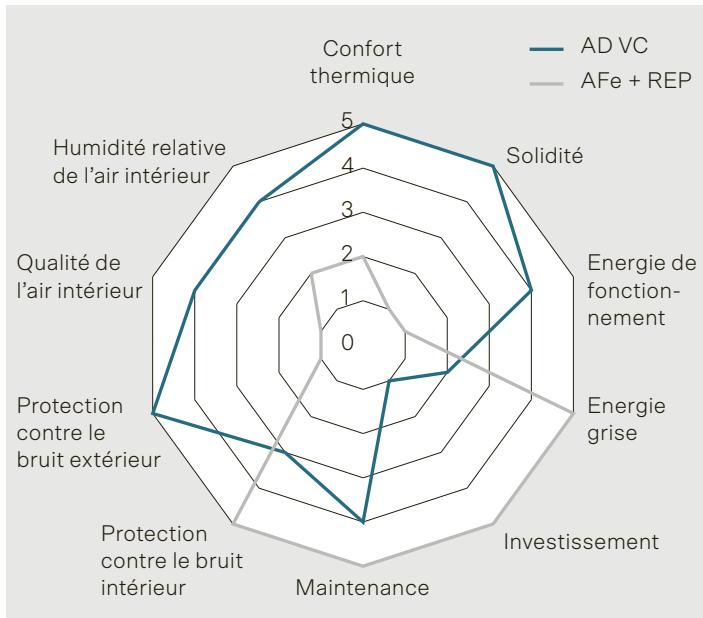
critères qualité de l'air intérieur, humidité de l'air ambiant, confort thermique, robustesse, énergie d'exploitation et protection contre le bruit extérieur, fait toujours augmenter les coûts d'investissements et l'énergie grise.

Il est plus compliqué d'évaluer la protection contre le bruit intérieur: la solution minimale «aération par les fenêtres» provoque très peu de bruits de ventilation et n'affaiblit pas l'isolation acoustique interne. Les faiblesses acoustiques de l'aération douce sont pratiquement compensées par des mesures techniques telles que des amortisseurs de bruit ou des bouches d'air transféré adéquates.

Pour les systèmes avec bouches d'air neuf ou appareils VPL traversant l'enveloppe thermique, le conflit suivant est à résoudre: soit l'élément isole bien par rapport au bruit extérieur et devient par conséquent lui-même une source de bruit (ventilateur) ou alors il n'émet pas de bruit lui-même et isole en revanche moins bien contre le bruit extérieur. La maintenance soulève des points similaires: l'aération par les fenêtres ne nécessite pratiquement pas de maintenance. Pour l'aération douce, la maintenance est réduite étant donné la centralisation des composants les plus encrasés (filtres, prise d'air neuf et grille anti-

Figure 4.6 à gauche: Comparaison qualitative: aération douce comme installation collective (AD VC) – aération par les fenêtres combinée avec des ventilateurs d'extraction (AFe + REP).

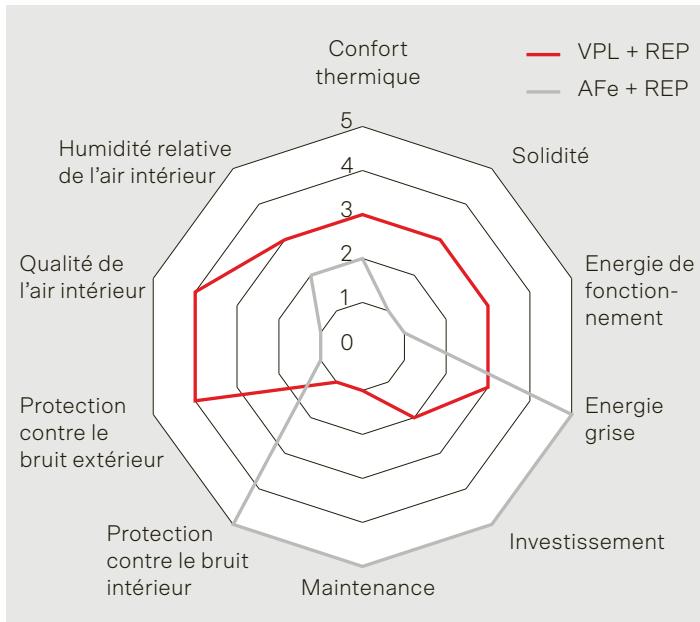
Figure 4.7 à droite: Comparaison qualitative: aération douce comme installation individuelle (AD VI) – aération par les fenêtres combinée avec des ventilateurs d'extraction (AFe + REP).



insectes). Les systèmes avec beaucoup d'éléments en façade sont nettement moins favorables. Concernant la maintenance des bouches et conduites d'air repris, il n'y a toutefois pas de différence notable entre les systèmes.

Les coûts de maintenance cumulés sur toute la durée de vie ont la même importance que les coûts d'investissement. Pour un appareil VPL, les filtres conformes aux normes coûtent entre 30 et 50 Fr. Avec un prix moyen et trois changements par an, les filtres pour un appartement de 4 pièces coûtent environ 500 Fr. par an ce qui fait 10 000 Fr. en 20 ans. Pour le travail y compris le nettoyage de l'appareil, il faut multiplier ce montant au moins par 1,5. A titre de comparaison, le prix d'un appareil VPL conforme aux normes et de qualité moyenne s'élève à environ 1500 Fr. Il en va de même pour les installations simples d'air repris. En revanche, l'investissement initial pour une aération douce est environ deux fois plus élevé que les coûts de maintenance cumulés sur la durée d'utilisation.

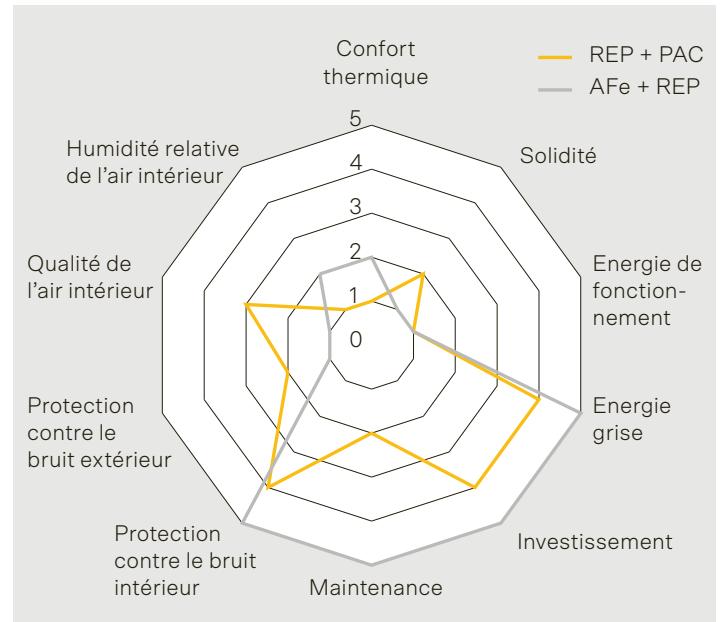
Figure 4.8:
Comparaison qualitative: ventilation par local combinée avec une installation simple d'air repris (VPL + REP) – aération par les fenêtres combinée avec des ventilateurs d'extraction (AFe + REP).



4.7 Bibliographie

- [1] Hoffmann, Caroline: Fensterlüfter, Literaturstudie, Marktstudie und Thermische Simulationen. Fachhochschule Nordwest-schweiz, Institut Energie am Bau, Muttenz, 2014
- [2] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Naf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via www.endk.ch → Dokumentation/Archiv → Studien
- [3] Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK): aide à l'application EN-105 Installations de ventilation, édition décembre 2018. Téléchargement sur www.endk.ch → Professionnels → Aides à l'application
- [4] Primas, Alex; Gianrico Settembrini; Zuber, Stephan; Huber, Heinrich: Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2021

Figure 4.9:
Comparaison qualitative: installation avec pompe à chaleur sur air repris (REP + PAC) – aération par les fenêtres combinée avec des ventilateurs d'extraction (AFe + REP).



Chapitre 5

Indications pour la conception

5.1 Déroulement du projet

La planification se base toujours sur un concept de ventilation, décrit au point 2.1. La circulation de l'air dans l'habitation et dans les locaux y est définie, au moins sous forme de concept. Le système de ventilation est choisi et par conséquent la décision d'une installation individuelle ou collective a été prise. Lors de la planification, les thèmes suivants sont traités:

- Calcul des débits d'air
- Emplacement de l'appareil de ventilation et des zones d'installation
- Emplacements de la bouche d'air neuf et de la bouche d'air rejeté
- Mode de distribution dans l'habitation
- Dimensionnement de la distribution de l'air et de son isolation thermique
- Choix de l'appareil de ventilation
- Commande/régulation
- Mise en œuvre des mesures de protection incendie
- Concept de nettoyage
- Fonctions spéciales telles que l'intégration de l'air repris de la cuisine et les mesures de sécurité pour les poêles et cheminées de salon dans l'appartement
- Coordination des détails de construction tels que l'évacuation des condensats et les raccordements électriques

Les documents suivants sont réalisés:

- Schéma de principe
- Plans à l'échelle 1:50
- Plans de détail, si nécessaire, par exemple du local technique
- Description de l'installation

La phase d'exécution avec liste de matériel n'est pas abordée dans le présent ouvrage.

Coordination

La bonne exécution et le bon fonctionnement d'une ventilation pour habitation dépendent de manière décisive d'une

bonne coordination. Le tableau 5.1 montre avec quels spécialistes et corps de métier l'installation de ventilation doit être coordonnée.

Exigences et erreurs à éviter

La liste de contrôle au tableau 5.2 aide à éviter des erreurs dans la pratique. Il est conseillé de vérifier pour chaque phase de planification si les critères sont remplis – dans la mesure où ils s'appliquent à l'installation concernée. Le non-respect des exigences élémentaires de la liste de contrôle doit être qualifié de défaut.

Outil KWL

Le logiciel en ligne «KWL» (<https://www.enerweb.ch/kwl.html>; en allemand) est un outil d'aide à la conception des aérations douces avec les fonctions suivantes:

- Dimensionnement des débits d'air
- Calcul de la perte de charge
- Calculs acoustiques pour tous les locaux
- Calcul de la puissance électrique absorbée et du rapport de température résultant du fonctionnement de l'appareil
- Dimensionnement de l'isolation thermique des conduites et des canaux selon le MoPEC 2014

L'«outil KWL» est accessible à tous et mis gracieusement à disposition des spécialistes. Il comporte une vaste bibliothèque de produits et permet de saisir les données d'appareils qui n'en font pas partie. Etant donné que c'est un outil en ligne, aucune installation n'est nécessaire. Les données des produits sont toujours actualisées. Une page d'aide et une petite vidéo facilitent le démarrage.

Intervenants/sujet	Chapitre, paragraphe	Chiffre de la SIA 382/5	Concept de ventilation	Projet et exécution
Mandant, respectivement son représentant				
Utilisation (occupation, exigences spécifiques, activités spécifiques)	2	2.2, 3.4	x	
Circulation de l'air dans l'appartement et dans les locaux	3	4.4	x	
Choix du système de ventilation (avantages et inconvénients, limite du système de ventilation, critères)	4	4.1, 4.2	x	
Mode de fonctionnement et commande/régulation	6.2, 7.4	5.3.8	x	
Ventilation de la zone de cuisson	10.1	4.4.4	x	
Chauffage à combustion dans l'appartement	2.8, 10.2	2.4.2	x	
Bouches d'air fourni, d'air repris, d'air transféré	3.7, 3.8	2.2.2, 5.3.5	x	x
Mode d'emploi, guide rapide pour les résident-e-s	12	6.4		x
Instruction	12	6.4		x
Maintenance et nettoyage, p.ex. changement des filtres	12	7.2		x
Architecture				
Programme des locaux, étanchéité à l'air, radon	2	2.1	x	
Circulation de l'air dans l'appartement et dans les locaux	3	4.4	x	
Emplacement des appareils et de la distribution principale	6.4, 6.5, 7.5		x	x
Tracé des conduites d'air (p.ex. noyées dans les dalles en béton), type et emplacement des bouches d'air fourni et d'air repris	6.3		x	x
Bouche d'air neuf et d'air rejeté traversant l'enveloppe thermique	6.6	5.3.2	x	x
Bouche d'air fourni, d'air repris, d'air transféré	3.7, 3.8	2.2.2, 5.3.5		x
Totalité des points listés ci-dessous			x	x
Planification énergétique				
Standard énergétique (p.ex. Minergie)	2.13	2.3	x	
Protection contre la surchauffe estivale	1.6, 4.1, 9.5	2.1.3	x	
Ventilation avec réchauffement de l'air et/ou pompe à chaleur côté air repris	4.2, 9.10	5.4.5, 5.4.2.3.3	x	
Traitement d'air, récupération de chaleur spéciale, protection anti-givrage	9.1– 9.5	4.3, 5.4.4.2	x	x
Consommation d'énergie	9.8	5.5	x	x
Statique/génie civil				
Tracé des conduites, en particulier pour les conduites dans les dalles	6.3		x	
Percements des bouches d'air neuf et d'air rejeté à travers l'enveloppe du bâtiment	6.4, 6.5	5.3.2	x	
Mesures constructives en lien avec les échangeurs de chaleur géothermique	6.7	5.3.3		x
Acoustique				
Standard de protection contre le bruit et des exigences, bruit extérieur	11.1	2.2.7	x	
Mesures constructives de protection contre le bruit dans l'habitation (bouches d'air transféré)	3.8	5.3.5	x	x
Niveau sonore de l'installation de ventilation et effet téléphone	11.5	2.2.7		x
Protection contre le bruit provenant de l'extérieur	11.6		x	x
Protection incendie				
Compartiments coupe-feu et compartiments coupe-feu ventilés	1.8	2.4.3	x	
Installations de ventilation collectives	4.5, 6.5		x	x
Installations sanitaires				
Evacuation du condensat de l'appareil de ventilation	6.4, 5.1			x
Pour les appareils multifonctions: eau froide et eau chaude	9.10		x	x

Tableau 5.1: Coordination de la planification des installations de ventilation dans les habitations.

Intervenants/sujet	Chapitre/ paragraphe	Chiffre de la SIA 382/5	Concept de ventilation	Projet et exécution
Installations électriques				
Schéma électrique et commande	6.2, 7.4		x	
Raccordement des dispositifs de commande et des capteurs			x	x
Raccordement des appareils (via compteurs des appartements?)			x	x
Raccordements éventuels de la protection anti-givrage, du réchauffeur et de la PAC	9.5, 9.10		x	x
Installations de chauffage				
Type et emplacement de la diffusion de chaleur (en raison des bouches d'air fourni)	3.1, 7.6		x	x
Dimensionnement du chauffage (déperditions de chaleur de la ventilation)	4.2	Annexe D	x	x
Pour les échangeurs de chaleur sol-saumure: dimensionnement et raccordement	6.7	5.3.4		
Raccordement du réchauffeur d'air le cas échéant	4.5, 6.5, 9.5		x	x
Cuisines				
Raccordement de la ventilation de la zone de cuisson, le cas échéant	10.1	4.4.4	x	x
Construction de poêles/chauffage à combustion				
Mesures en cas de chauffage à combustion dans l'appartement: maintien de la pression et précautions de sécurité	2.8, 10.2	2.4.2	x	x
Amenée de l'air de combustion	10.2	2.4.2	x	x

Suite du tableau 5.1.

Critères	Chapitre/ paragraphe	Chiffre de la SIA 382/5
Les prises d'air neuf ne doivent pas se trouver au niveau du terrain ou dans un saut de loup.	6.6	5.3.2
Pour les ventilations mécaniques, un filtre à poussières fines de la classe ISO ePM1 50 % est exigé pour l'air neuf.	9.1	5.3.6
Pour les bouches d'air neuf, la classe ISO ePM10 50 % est parfois admise.	7.6	
Les filtres à air sont des produits à usage unique. Ils ne peuvent en général pas être nettoyés ou lavés, car ils perdent au lavage presque toute leur efficacité. Par ailleurs, les personnes manipulant les filtres usagés peuvent être contaminées.	9.1, 12.4, 12.5	5.3.6
Tous les composants de l'installation doivent pouvoir être nettoyés ou remplacés.	5.5, 6.8, 7.6, 8.6, 9.1, 12	2.4.4
L'eau ne doit pas pouvoir s'accumuler et stagner dans aucun composant de l'installation. Les composants de l'installation, dans lesquels de l'eau peut apparaître (p. ex. échangeurs de chaleur géothermique) doivent être asséchés en continu.	6.6, 6.7	2.4.4
Les installations et composants de ventilation ne doivent pas affaiblir l'isolation acoustique contre le bruit extérieur au point de ne plus respecter les exigences de la SIA 181. Il faut être attentif en particulier aux appareils VPL (ventilation par local) et, pour les installations simples d'air repris, aux bouches d'air neuf.	7.6, 8.2, 11.7	2.2.7
Dans les séjours et chambres, une installation/un appareil de ventilation doit respecter le niveau de pression acoustique standardisé de 25 dB(A) au maximum. Cette exigence correspond aux exigences accrues de la SIA 181 et doit être remplie lors du fonctionnement en régime normal.	11.1–11.6	2.2.7
Aucune installation aéraulique ne doit générer une dépression qui perturbe un chauffage à combustion dans l'appartement (p. ex. poêle à bois).	2.8, 7.2, 8.5, 9.5, 10.1	2.4.2, 4.3.4, 4.4.4, 4.4.5
Aucune installation aéraulique ne doit générer des transferts d'air entre les logements.	2.8, 2.10	2.2.5, 5.5.6
Les débits d'air doivent être réglés, mesurés et consignés par local dans un procès-verbal.	5.4, 12.2	6.2
Les utilisateurs doivent être instruits. Une documentation d'exploitation détaillée doit être fournie.	7.6, 12.4	6.4
Il ne faut pas réduire l'isolation thermique des conduites noyées dans les dalles en béton ou dans des zones d'installation avec peu de place.	6.3, 6.4, 9.7	5.5.4

Tableau 5.2: Liste de contrôle des exigences élémentaires et des erreurs à éviter.

5.2 Dimensionnement des conduites d'air

Vitesses de l'air

Les vitesses de l'air admises dans les conduites sont définies par la norme SIA 382/1 ainsi que par le MoPEC. Les conduites d'air sont toujours dimensionnées pour un régime normal de ventilation.

Une perte de charge – celle des conduites d'air et celle des accessoires (valeurs zéta) – d'environ 1 Pa par mètre linéaire de réseau de distribution est recommandée. Pour des conduites courtes, des conduites de pulsion vers des locaux individuels par exemple, 2 Pa/m sont parfois nécessaires afin d'éviter des diamètres trop importants. Le tableau 5.3 liste les débits maximaux d'air pour des conduites rondes en tôle de dimensions standard. Il s'agit d'une part des valeurs recommandées et de l'autre des valeurs maximales admises selon la SIA 382/1. Le tableau 5.4 indique les mêmes valeurs pour des conduites rondes en matière synthétique. Ce sont toujours les diamètres intérieurs qui sont déterminants.

Le tableau 5.5 liste les valeurs pour d'autres sections et des débits d'air plus importants. Parallèlement aux valeurs maximales de la norme SIA 382/1, des recommandations sont fournies par

TopMotors.ch [1] pour les installations dont le temps de fonctionnement avoisine les 8000 h/a.

5.3 Types de conduites et de matériaux

Energie grise

Pour les aérations douces, 40 à 60 % de l'énergie grise de l'ensemble de l'installation est due à la distribution d'air. La marge d'approximation est importante en raison d'une part, des longueurs de conduites qui varient en fonction des concepts de ventilation et d'autre part, en raison des matériaux choisis.

Etanchéité de l'enveloppe

La classe d'étanchéité CII doit être exigée pour toute installation de ventilation, indépendamment du matériau et du mode de construction. Les détails se trouvent dans la norme SIA 382/1. A l'inverse à d'autres systèmes de classification, la classe A est la classe la moins bonne et D la meilleure.

Tubes spiralés

Ces tubes «Spiro» sont bon marché et faciles à poser. Leur étanchéité dépend de la technique de pliage. Les tubes ronds de fabricants renommés sont généralement très étanches. Cependant, la prudence est de mise avec des produits bas de gamme. Les raccords sont les points faibles potentiels: à défaut d'utiliser un système avec des joints à lèvres, les joints doivent être étanchés avec des rubans adhésifs ou rubans d'étanchéité rétractables à froid. Il existe par ailleurs des tubes spiralés laqués

Tableau 5.5: Vitesses maximales de l'air dans les conduites.

Diamètre nominal en mm	Diamètre intérieur en mm	Débit maximal d'air en m ³ /h		Vitesse maximale de l'air en m/s
		Recommandation	SIA 382/1	
DN 63	24		28	
DN 80	43		54	
DN 100	75		85	
DN 125	127		132	
DN 160	225		217	
DN 200	375		339	

Tableau 5.3: Débits maximaux pour conduites rondes en tôle.

Tableau 5.4: Débits maximaux pour conduites rondes en matière synthétique.

Diamètre nominal en mm	Débit maximal d'air en m ³ /h	
	Recommandation	SIA 382/1
DN 75	22	26
DN 90	35	38
DN 110	62	73
DN 125	94	102
DN 140	120	126
DN 160	170	171

Conduites: besoin en matériaux et en espace

Pour bien comprendre les différents besoins en matériaux, en place nécessaire et en énergie grise, quatre sections de conduites différentes sont présentées ci-après. Dans toutes les variantes, le débit d'air est identique et la perte de charge linéaire est de 1,0 Pa/m. Le calcul prend en compte un coefficient de perte de charge (valeur zéta) de 0,04 par mètre linéaire du réseau de distribution.

Une conduite ronde avec un diamètre extérieur de 315 mm et un débit d'air de 1109 m³/h est la variante de base (variante 1). Une conduite en tôle de section carrée constitue la variante 2. Dans la variante 3, le flux d'air est réparti sur deux conduites rondes et parallèles. La variante 4 consiste en un canal en tôle rectangulaire avec un rapport hauteur/largeur de 1 sur 2.

Les conduites des variantes 2 à 4 ne correspondent pas à des sections standard, leur dimension ayant été calculée de sorte que la perte de charge reste identique à celle de la variante 1. Le poids des conduites rondes est majoré de 15 % pour tenir compte des raccords et des suspensions. Celui des conduites rectangulaires est majoré de 30 %, car les brides plates sont particulièrement lourdes. Dans le cas des conduites d'air, l'énergie grise est proportionnelle au poids.

La surface de la section nécessaire pour la colonne montante est calculée pour des conduites non isolées. Dans le cas des conduites rectangulaires, la section est majorée de 22 mm pour les brides plates, dans le cas des conduites rondes, de 5 mm pour la fixation par colliers. La surface de la colonne montante est présumée rectangulaire avec des côtés majorés de 10 mm par rapport aux dimensions extérieures des conduites, y compris brides plates et colliers.

La figure 5.1 et le tableau 5.6 montrent les résultats de la comparaison. Pour le même débit d'air et la même perte de charge, la conduite carrée nécessite 80 % de tôle galvanisée de plus que le canal rond. Par conséquent, l'énergie grise est aussi d'environ 80 % plus élevée. Pour les conduites non isolées, la section rectangulaire n'offre aucun avantage, même pas en termes d'encombrement. Isolée, la conduite ronde nécessiterait un peu plus de place que la conduite carrée.

Même avec un rapport hauteur/largeur de 1:2, l'énergie grise des variantes avec conduites rondes est plus basse que celle de la conduite rectangulaire. Cependant, les besoins en place augmentent davantage dans la variante ronde comparée à la rectangulaire.

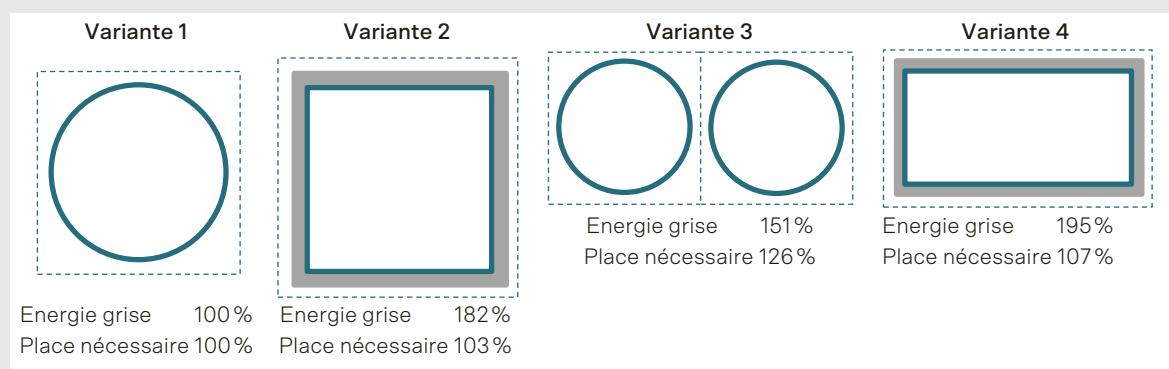


Figure 5.1: Variantes avec des conduites en tôle de sections rondes et rectangulaires pour un débit d'air de 1109 m³/h et une perte de charge de 1,0 Pa/m.

Tableau 5.6:
Caractéristiques
des variantes de la
figure 5.1.

Paramètre	Unité	Variante			
		1	2	3	4
Dimensions extérieures	mm	Ø 315	286 x 286	2 x Ø 237	204 x 408
Epaisseur de tôle	mm	0,6	1,0	0,6	1,0
Vitesse de l'air	m/s	4,0	3,8	3,5	3,7
Poids par mètre linéaire	kg	6,4	11,7	9,7	12,5
Place nécessaire, colonne montante	m ²	0,141	0,144	0,170	0,150

Les remarques ci-dessus s'appliquent aussi aux tubes ovales étant donné qu'ils sont fabriqués selon la même technique. En revanche, les raccords ont tendance à être moins étanches. L'avantage des tubes ovales est leur faible hauteur (à partir de 80 mm). Les accessoires pour les tubes ovales sont chers.

Conduites rectangulaires en tôle

Les conduites rectangulaires en tôle contiennent beaucoup plus d'énergie grise par mètre linéaire que les tubes Spiro (voir encadré). Les conduites classiques en tôle ne devraient pas être utilisées pour les petites installations.

Isolation thermique

Les conduites froides dans les locaux chauds et les conduites chaudes dans les locaux froids doivent être isolées thermiquement. Le terme «locaux froids» désigne les locaux situés en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment (cave, garage, toiture froide, etc.). Le terme «conduites froides» désigne les conduites d'air neuf et d'air rejeté. Les «conduites chaudes» sont les conduites d'air fourni et d'air repris. Les conduites doivent également être isolées si l'humidité de l'air risque de condenser au contact de celles-ci. L'isolation thermique des conduites d'air doit être réalisée selon l'aide à l'application EN-105 du MoPEC 2014.

Le point 9.7 aborde les différentes exigences et l'influence des pertes de chaleur par les conduites d'air reliées sur une RC.

5.4 Régulation et mesure

Les débits d'air fourni et d'air repris doivent être réglés, mesurés et consignés par procès-verbal pour chaque local. Les débits totaux d'air fourni et d'air repris d'un appartement avec une installation de ventilation individuelle sont réglés sur l'appareil de ventilation. Avec une installation de ventilation collective, les débits dans l'appartement sont réglés en général au moyen de régulateurs

de débit d'air (régulateur de ventilation d'appartement). Il faut pouvoir à tout moment mesurer et ajuster les débits moyennant un investissement raisonnable. Cet aspect doit être pris en compte dans le projet.

Les accessoires de régulation et d'étranglement génèrent des émissions sonores dues au flux d'air. Pour cette raison, si un étranglement est matérialisé par des bouches d'air fourni et d'air repris, il faut évaluer si les émissions sonores liées au flux d'air remplissent les exigences de la norme avec les régimes envisagés. À cet égard, il est souvent favorable acoustiquement de placer le réglage des débits d'air directement à la sortie du distributeur ou à l'entrée du collecteur.

Il est déconseillé de recourir à des régulateurs à débit constant pour des locaux individuels. Ils génèrent des pertes de charge importantes et rendent impossible un fonctionnement à plusieurs régimes.

5.5 Hygiène et nettoyage

En matière d'hygiène, les exigences de la directive SWKI VA 104-01 [2] doivent être respectées. Les aspects significatifs par rapport à l'hygiène sont abordés aux paragraphes sur les filtres (point 9.1), sur les systèmes de distribution (point 6.8) et sur la réception et l'exploitation (chapitre 12). En règle générale, les surfaces lisses sont plus faciles à nettoyer que les surfaces ondulées ou poreuses.

5.6 Bibliographie

- [1] Fiche technique 24 «Ventilation» de topmotors. Téléchargement sur www.topmotors.ch → connaissances → fiches techniques
- [2] Directive SICC VA104-01 Aéralrique – qualité de l'air – Partie 1: Exigences hygiéniques pour les installations et appareils aérauliques

Conception des aérations douces

Paramètres relatifs à l'aération douce

Lors de la conception, les points listés ci-dessous contribuent de manière déterminante à la qualité d'une installation de ventilation.

Installations de ventilation individuelles

- Emplacement de l'appareil à proximité de l'enveloppe thermique du bâtiment.
- Conduites courtes d'air neuf et d'air rejeté à l'intérieur de l'enveloppe thermique; ne les noyer en aucun cas dans des dalles en béton situées dans la zone chauffée.
- Conduites courtes d'air fourni et d'air repris en dehors de l'enveloppe thermique; ne les noyer en aucun cas dans des dalles en béton situées en dehors de la zone chauffée.
- Appareil de ventilation de classe énergétique A ou supérieure.
- Récupération de chaleur, de préférence avec un échangeur à enthalpie.
- Pas de registre de chauffage électrique, ni pour la protection anti-givrage de la RC, ni pour le post-chauffage.

Installations de ventilation collectives

- Emplacement des colonnes montantes à proximité des distributeurs d'étage.
- Distribution horizontale courte (entre l'appareil de ventilation et les colonnes montantes).
- Distribution principale avec des conduites rondes (tubes Spiro).
- Puissance interne spécifique du ventilateur $SPF_{int} \leq 0,22 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$, respectivement $800 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})^1$.
- Pression d'alimentation maximale de 20 Pa pour la box de ventilation d'appartement, respectivement du régulateur à débit variable.

Distribution de l'air en cascade

- Pas d'air fourni dans le salon.
- Conduites courtes d'air fourni, p. ex. avec des bouches d'air fourni au-dessus des portes de chambre.
- Si possible, ne pas noyer les conduites dans des dalles en béton.
- En cas de conduites d'air noyées dans le béton: pas de croisements.
- En cas de locaux impliquant de longues conduites d'air fourni, éventuellement avec des croisements: si possible, recourir à des solutions mixtes du principe «mélange» (voir exemple d'installation 3.1).
- Pour une régulation en fonction de la qualité de l'air: en régime nuit, faire fonctionner l'installation au débit de dimensionnement.

Distribution de l'air par mélange

- Débit d'air fourni de l'appartement: ne pas fixer un débit supérieur à celui qui prévaut avec le principe «cascade».
- Régulation en fonction de la qualité de l'air pendant toute la journée.

Commande/régulation

Comme alternative à la régulation selon les besoins, des commutateurs à trois positions, bien visibles et accessibles, entrent en ligne de compte pour les installations de ventilation individuelles; pour les installations de ventilation collectives, ils devraient avoir au minimum deux positions. Le cas échéant, il est judicieux de combiner le commutateur avec un programme horaire par appartement.

¹ Conformément à l'OEEE, cette valeur doit être déclarée par le fournisseur de l'appareil.

6.1 Débit d'air déterminant

Démarche

Le débit d'air déterminant d'un appartement est défini en six étapes:

1. Le **débit minimal d'air fourni** est défini en fonction du principe de la circulation de l'air. Le débit d'air nécessaire pour les locaux annexes éventuels, alimentés par la même installation, doit y être additionné.
2. Le **débit minimal d'air repris** est la somme de tous les débits d'air repris de tous les locaux d'extraction. Le débit d'air nécessaire pour les locaux secondaires et annexes éventuels, alimentés par la même installation, doit y être additionné.
3. Le **débit d'air déterminant** pour le dimensionnement correspond à la valeur la plus élevée des deux premières étapes. Toutefois, le débit minimal requis selon la norme SIA 382/5 doit être respecté.
4. La **protection contre l'humidité** en hiver est contrôlée de manière estimative. Si nécessaire, le débit d'air est augmenté. Afin de garantir la protection contre l'humidité pendant toute l'année, des mesures d'exploitation sont définies.
5. Il faut évaluer dans quelles conditions **l'humidité minimale de l'air intérieur** est atteinte. Afin de remplir les exigences en matière d'humidité minimale pendant toute l'année, des mesures d'exploitation sont définies. Si le débit d'air doit être réduit, il faut retourner à l'étape 1.

6. Le débit d'air déterminant s'applique à l'air fourni et l'air repris, il est ensuite **réparti entre les pièces**.

La procédure est itérative étant donné que différents aspects du concept entrent en jeu. En d'autres termes: si le concept défini au préalable n'est pas compatible avec le débit d'air déterminant établi ci-dessus ou avec les mesures complémentaires, il est envisageable d'adapter la circulation de l'air ou tout le concept.

Le contrôle de la protection contre l'humidité et de l'humidité minimale de l'air intérieur est effectué de manière estimative. D'une part, la production de vapeur d'eau dans un appartement ne peut pas être estimée avec précision. De l'autre, il est impossible de prévoir le comportement des habitants (installation mécanique et aération par les fenêtres) et les infiltrations.

Exemple de calcul 6.1: appartement de 4,5 pièces, installation «Glatt 1»

L'installation «Glatt 1» de l'exemple 3.1 est à concevoir comme «cascade» uniquement au lieu d'une combinaison «cascade» et «mélange».

Conditions cadres:

- Appartement de 4,5 pièces avec salon faisant partie de la zone de transit.
- Le dimensionnement de l'installation et l'estimation de la protection contre l'humidité se basent sur une occupation de trois personnes.

- L'estimation du respect de l'humidité minimale de l'air intérieur se base sur une occupation de deux personnes.
- Il n'y a pas de convention d'utilisation. Le calcul effectué correspond à l'utilisation standard selon la norme SIA 2024 et aux conditions standard pour la protection contre l'humidité selon la norme SIA 180.
- La cuisine est un local séparé.
- L'hypothèse de départ est une installation avec récupération d'humidité et régulation selon besoins.

Etape	Description/remarque	Débit d'air en m ³ /h	
		Air fourni	Air repris
1	Débit minimal d'air fourni 3 chambres à 30 m ³ /h d'air fourni	90	-
2	Débit minimal d'air repris Selon le tableau 3.2: salle de bain 30 m ³ /h, cuisine 20 m ³ /h	-	50
3	Débits d'air minimaux de l'appartement Valeur maximale de l'étape 1 et 2 (selon la SIA 382/5, la valeur minimale s'élève à 50 m ³ /h, elle n'est toutefois pas déterminante ici)	90	90
4	Estimation de la protection contre l'humidité et mesures Selon l'étape 3, le débit d'air par personne est de 30 m ³ /h. Selon le graphe de la station «Zurich MétéoSuisse» ¹⁾ (figure 2.2), la protection contre l'humidité est ainsi respectée jusqu'à environ + 5 °C.		
	Mesures en cas de températures extérieures plus élevées ou encore de production de vapeur d'eau plus élevée: une surveillance de l'humidité contourne la réduction du débit d'air (fonctionnement continu au lieu de régulation selon les besoins). Si la température extérieure moyenne journalière dépasse 15 °C, la récupération d'humidité est désactivée (régime estival). Il n'est pas nécessaire d'augmenter le débit d'air.	90	90
5	Estimation de l'humidité minimale de l'air ambiant et mesures Avec l'occupation supposée de deux personnes dans cette étape, l'étape 4 donne un débit d'air de 45 m ³ /h par personne. Selon le graphe de la station «Zurich MétéoSuisse» (figure 2.2), ce n'est qu'à partir de températures extérieures de -2 °C environ que l'humidité minimale de 30 % de l'air ambiant n'est plus atteinte. Cette donnée permet de déduire que la durée avec une valeur inférieure, admise à 10 % au maximum du temps d'utilisation, est aisément remplie. Il est alors possible de confirmer le débit d'air déterminé à l'étape 4.		
	Mesures en cas de production de vapeur d'eau inférieure à la moyenne: manuel d'utilisation et instruction indiquant le fonctionnement selon les besoins de l'installation ainsi que la production de vapeur d'eau supplémentaire éventuellement (p. ex. humidificateur).	90	90
6	Répartition du débit sur les locaux Débit d'air fourni, 30 m ³ /h par chambre Débit d'air repris salle de bain 40 m ³ /h, cuisine 50 m ³ /h Remarque: il faut adapter les bouches d'air transférées pour la salle de bain et la cuisine aux débits d'air – une fente de 7 mm sous les portes ne suffit pas.	90	90

Tableau 6.1: Exemple illustrant l'établissement du débit d'air déterminant pour le principe «cascade».

Discussion des variantes

Le débit d'air de 90 m³/h pour une installation selon le principe «cascade» est identique à celui du système mixte réalisé. La ventilation en cascade amène cependant un volume d'air fourni de 30 m³/h directement dans chaque chambre. L'élément actif de transfert d'air (chambre 3) ainsi que la bouche d'air fourni du salon et du couloir sont donc supprimés. Si l'appartement était dimensionné pour le principe «mélange avec circulation active» avec un débit d'air de 50 m³/h par élément actif de transfert d'air, il en résulterait le même débit d'air déterminant de

90 m³/h. En revanche, la totalité de l'air fourni serait dans ce cas pulsée au salon ou au couloir. Si la ventilation par mélange était réalisée avec une circulation naturelle via les portes de chambre ouvertes, le débit d'air déterminant pourrait être de 60 m³/h. Il faudrait dans ce cas renoncer soit à la récupération d'humidité soit à la régulation selon besoins, ceci en raison de la protection contre l'humidité. Par contre, une des deux mesures doit absolument être mise en œuvre en raison de l'humidité minimale de l'air intérieur.

1) Selon la norme SIA 2028, la station s'appelle «Zurich MétéoSuisse», mais «Zurich/Fluntern» sur le site Internet de MétéoSuisse.

6.2 Commande/régulation et réglage

L'exemple cité ci-dessus pour établir le débit d'air déterminant permet la déduction suivante: la question de la bonne commande/régulation est liée au principe de la circulation de l'air et à une éventuelle récupération d'humidité. Si une récupération d'humidité ou une régulation selon besoins est prévue, il faudrait être attentif à l'humidité de l'air repris.

Avec une régulation en fonction de la qualité de l'air intérieur, la protection contre l'humidité n'est pas forcément remplie lorsque la teneur en CO₂ est basse. Pour le principe «cascade», il faudrait en outre tenir compte des remarques du point 3.3. Quant à la protection incendie, les indications du point 1.8 sont aussi valables.

6.3 Distribution de l'air dans l'appartement

Les éléments passifs de transfert d'air sont abordés au point 3.4. Seule la distribution de l'air pour le principe «cascade» est traitée ci-après.

Structure en étoile et en arborescence

Les conduites de distribution peuvent être disposées en étoile ou en arborescence telle que schématisée à la figure 6.2.

Les avantages de la structure en arborescence sont les suivants:

- En comparaison avec la distribution en étoile, la longueur totale des conduites est plus courte et par conséquent l'énergie grise moindre.
- Pas de caissons distributeurs.
- Encombrement réduit, car les caissons distributeurs sont superflus.

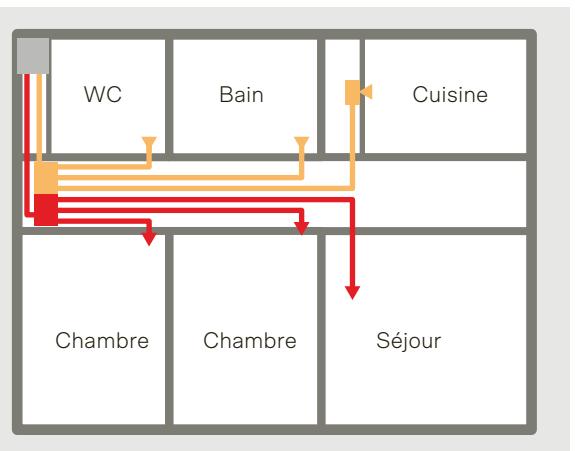
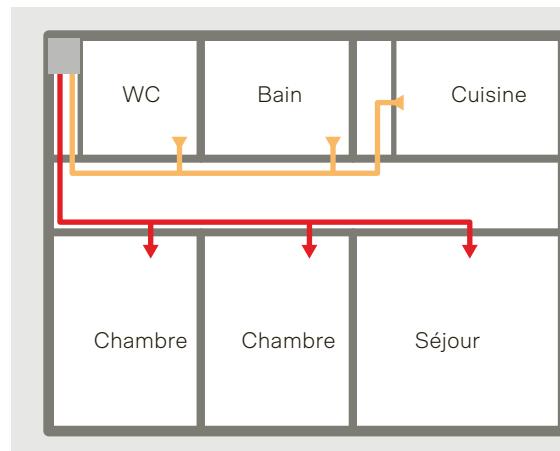
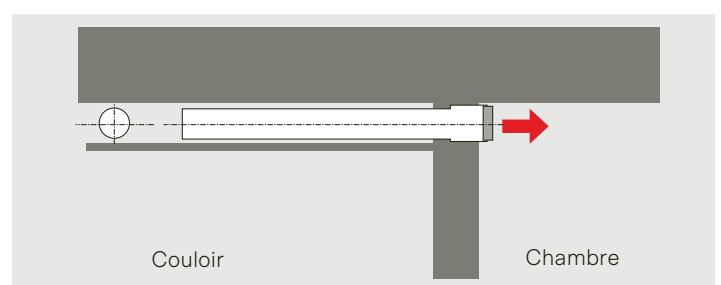
La structure en arborescence a l'inconvénient majeur de pouvoir transmettre le bruit entre les locaux ce qui implique souvent la pose d'amortisseurs de bruit issu de l'effet téléphone. La structure en étoile présente l'avantage que les caissons distributeurs améliorent sensiblement l'isolement acoustique. Il existe des produits avec revêtement insonorisant atténuant le bruit issu de l'effet téléphone et du ventilateur. Les caissons distributeurs doivent être accessibles pour le contrôle et le nettoyage, généralement via une porte de révision.

Figure 6.1 (en haut): Conduites d'air dans un faux-plafond.

Pose des conduites au plafond

La pose des conduites au plafond est particulièrement adaptée si les bouches d'air fourni et d'air repris sont positionnées au-dessus des portes. La séparation des systèmes «structure porteuse»

Figure 6.2 (en bas): Appartement avec distribution de l'air en forme d'arborescence (à gauche) et d'étoile.



et «installations techniques» constitue un avantage majeur. Pour des raisons esthétiques, les conduites sont généralement cachées par un faux-plafond. Celui-ci réduit la hauteur du local de 12 à 15 cm environ, ce qui est architecturalement admissible dans le couloir, la plupart du temps. Il est par ailleurs possible de disposer des caissons distributeurs et des amortisseurs dans le faux-plafond, à condition qu'ils restent accessibles par des clapets. La figure 6.1 montre une conduite d'air dans un faux-plafond. Il est en principe aussi possible de laisser les conduites apparentes.

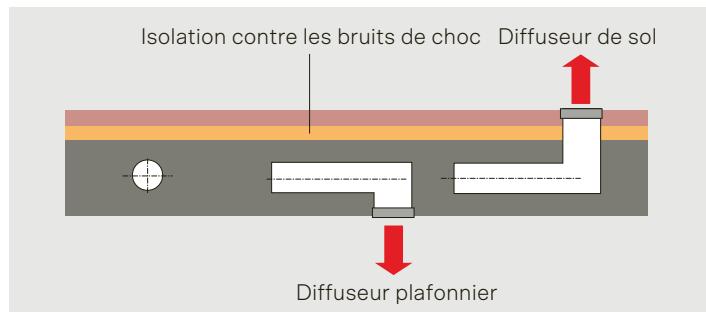
Pose des conduites dans les dalles en béton

Etant donné que la planification et la pose sont simples, les conduites d'air sont souvent noyées dans les dalles en béton. La condition préalable est une épaisseur de dalle de 25 cm au moins. L'ingénieur civil doit vérifier si l'armature prévue permet d'intégrer les conduites dans la dalle. En fonction de la statique et du tracé des conduites, elle doit parfois être renforcée.

Un inconvénient lié à cette solution est de ne pas pouvoir remplacer les conduites. Le principe de la séparation des systèmes exigé dans la construction durable est ainsi contredit. Les points suivants sont déterminants pour ce type de tracé:

- Il faut éviter le croisement des conduites. D'une part le croisement de conduites rondes impliquerait des épaisseurs de dalle de 30 cm ou plus, de l'autre, les éléments de croisement plats rendent le nettoyage plus difficile.

Figure 6.3:
Conduites d'air
noyées dans la dalle
en béton.



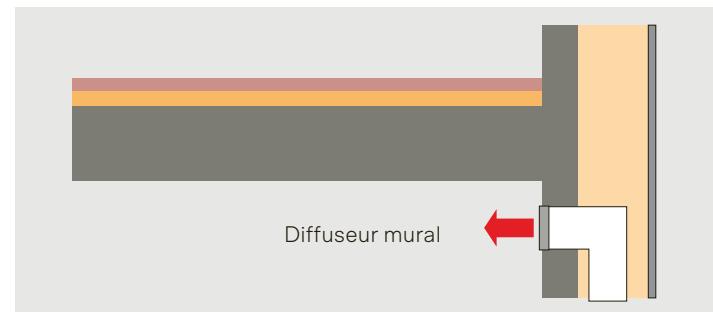
- Les conduites ou les caissons de raccordement des bouches d'air disposées au sol traversent l'isolation phonique contre les bruits d'impact. Pour éviter les ponts acoustiques, il faut recourir à des fixations désolidarisées et effectuer un travail soigneux.
- La pose des conduites dans le coffrage de dalle est exécutée pendant la phase de gros oeuvre. Le chantier est exposé aux intempéries et d'un point de vue aéraulique sale. Il y a un risque de salissures et d'infiltration d'eau, en particulier avec les bouches au sol.

Les conduites d'air fourni et d'air repris ne peuvent être posées que dans les dalles «chaudes». Il s'agit par conséquent d'être attentif à la position de l'isolation, notamment pour les dalles contre locaux non chauffées. Il est très difficile d'isoler les conduites noyées dans les dalles froides de manière à ce que la température exigée de l'air fourni soit respectée, respectivement que tout risque de condensation dans l'air repris soit écarté. Les épaisseurs d'isolation de 50 à 100 mm seraient nécessaires, les diamètres extérieurs des conduites isolées étaient alors de 20 à 30 cm. Il s'agirait d'une solution absurde sur le plan écologique et économique. La figure 6.3 montre une conduite d'air noyée dans une dalle en béton.

Passage des conduites dans l'épaisseur de la façade

En cas de travaux d'assainissement comprenant l'isolation thermique des façades, il est possible le cas échéant de passer les conduites d'air fourni et d'air repris dans cette surépaisseur. Dans un

Figure 6.4: Tracé
dans l'épaisseur de
la façade.



projet de recherche de la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse, de 2010 [1], des éléments préfabriqués de façade destinés aux assainissements et intégrants des conduites de ventilation ont été développés. Le rapport de projet fournit de nombreuses indications précieuses à propos de tracés dans les façades. La figure 6.4 schématise ce type de tracé.

Les points suivants sont à prendre en compte:

- Exigences de protection incendie pour habitats collectifs: le tracé se trouve en dehors du compartiment coupe-feu de l'appartement. Il est fortement recommandé à ce sujet de prendre contact

suffisamment tôt avec les autorités compétentes de protection incendie.

- La résistance de transmission thermique (valeur R) de la conduite d'air vers l'extérieur devrait être environ quatre fois supérieure à la valeur R de la conduite d'air vers l'intérieur.
- A partir de trois étages, les conduites sont très longues, ce qui rend le nettoyage plus difficile.

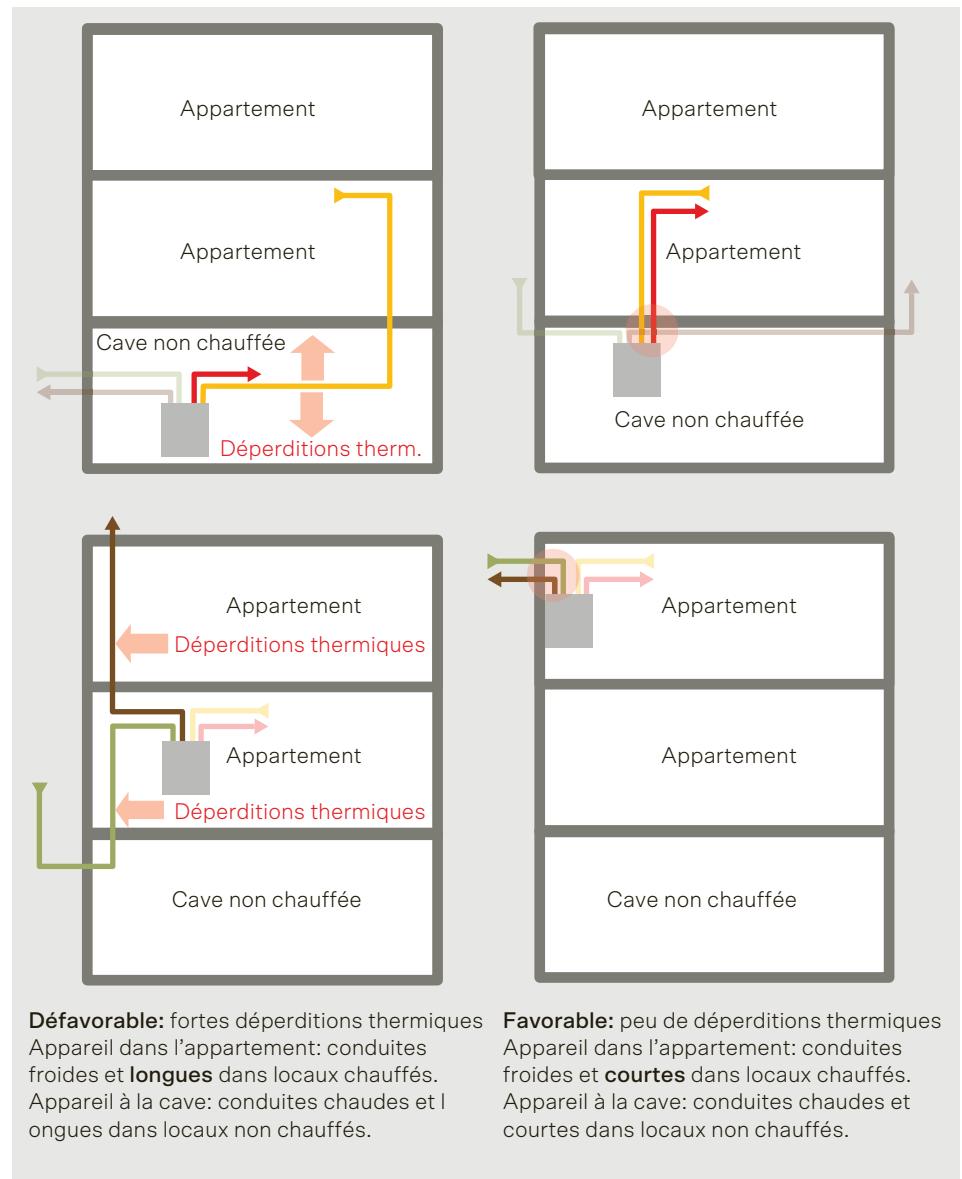


Figure 6.5: Emplacements défavorables et favorables des appareils en ce qui concerne les conduites principales.

- Air neuf
- Air fourni
- Air repris
- Air rejeté

6.4 Installations de ventilation individuelles

Emplacement de l'appareil

Si un appareil de ventilation est prévu à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment, il est judicieux de le placer de manière à ce que les conduites d'air neuf et d'air rejeté traversant la zone chauffée soient le plus courtes possible (figure 6.5). Selon la situation, ces conduites sont à pourvoir d'une isolation thermique de 30 à 100 mm (voir point 9.7). Le diamètre extérieur (y compris l'isolation) est alors compris entre 200 à 400 mm.

Par conséquent, il est préférable de positionner les appareils à l'intérieur des appartements à proximité d'une paroi extérieure, non pas au centre. Si l'appareil se trouve en dehors de l'enveloppe thermique, toutes les conduites d'air fourni et d'air repris doivent être pourvues d'une isolation de 30 à 100 mm jusqu'au passage dans l'enveloppe thermique. Par ailleurs, il faut être attentif à placer dans des locaux hors gel les appareils avec écoulement de condensat, raccordements au chauffage ou à l'eau.

Il faut éviter les emplacements où le bruit de l'appareil pourrait être transmis dans l'appartement. Le bruit dans le local ne doit par ailleurs pas être trop élevé pour empêcher qu'il passe à travers le caisson de l'appareil ou les conduites d'air dans l'appartement.

Le tableau 6.2 présente des emplacements possibles pour les appareils et la

distribution principale avec leurs avantages et inconvénients. Les variantes B à E sont volontairement schématisées avec des conduites séparées pour chaque installation. Les conduites d'air neuf ou d'air rejeté sont parfois réunies afin de réduire les dimensions des colonnes montantes. Cette solution comporte le risque de transmissions d'odeur lors de différents régimes de fonctionnement des appareils. Les clapets anti-retour pour éviter des refoulements sont déconseillés, car ils génèrent des pertes de charge élevées et du bruit. De plus, ils ne ferment souvent pas hermétiquement. Des clapets motorisés sont onéreux et impliquent de la maintenance supplémentaire.

En cas de conduites communes, une autre solution consiste à faire fonctionner les appareils même en mode «arrêt» à un régime minimal du ventilateur. Il faut alors clarifier, en particulier pour les appartements en PPE, si ce mode de fonctionnement est accepté et comment résoudre la commande en cas d'incendie. Si plusieurs installations de ventilation individuelles ont certaines conduites communes, elles sont considérées du point de vue de la protection incendie comme une seule installation, voir les indications au point 1.8.

Dans une étude réalisée par la Haute école spécialisée de Lucerne en 2021 [2], cinq emplacements différents (voir tableau 6.5) ont été comparés dans un locatif comportant cinq appartements de 4½ pièces et cinq appartements de

Tableau 6.2: Impact de la configuration des aérations douces (installations de ventilation individuelles) sur la consommation d'énergie. Les variantes se réfèrent au tableau 6.2.

Paramètres	Valeur de base ¹⁾		Variante				
			A	B	C	D	E
Consommation d'électricité	2 kWh/m ² _ø	Valeur moyenne	60 %	80 %	100 %	120 %	100 %
		Plage	50–70 %	70–100 %	90–120 %	100–140 %	90–120 %
Déperditions thermiques dues à la ventilation	10 kWh/m ² _{th}	Valeur moyenne	90 %	100 %	105 %	95 %	95 %
		Plage	80–100 %	90–110 %	95–115 %	85–105 %	85–105 %
Energie grise	120 kWh/m ² _{eq}	Valeur moyenne	60 %	75 %	110 %	140 %	100 %
		Plage	50–90 %	60–90 %	80–140 %	100–170 %	80–120 %
Énergie primaire, chauffage par pompe à chaleur	13 kWh/m ² _P	Valeur moyenne	80 %	90 %	110 %	120 %	100 %
		Plage	65–85 %	80–100 %	105–115 %	100–140 %	90–115 %
Coûts d'investissement, hors surfaces nécessaires	140 Fr./m ²	Valeur moyenne	80 %	90 %	105 %	120 %	100 %
		Plage	60–100 %	70–110 %	80–120 %	100–140 %	80–120 %

1) Rapporté à la surface de référence énergétique

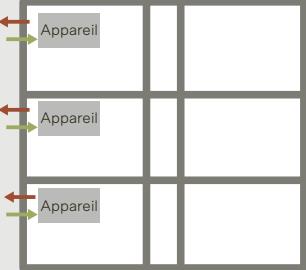
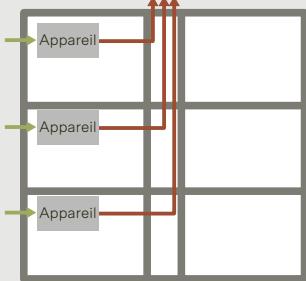
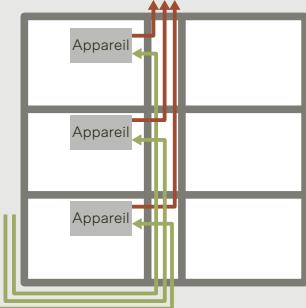
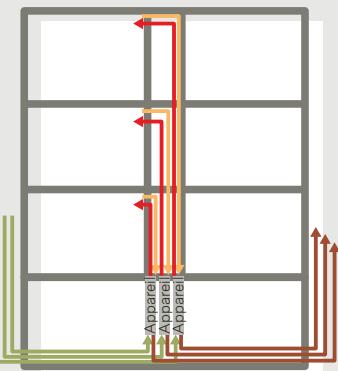
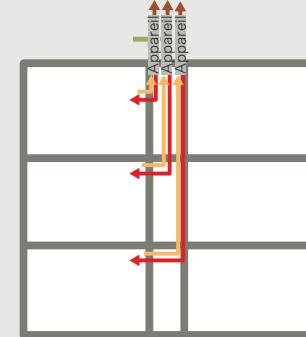
Schéma	Variante	Avantages	Inconvénients
	A) Appareils aux étages d'habitation, air neuf et air rejeté en façade Remarque: ne pas noyer les conduites d'air neuf et d'air rejeté dans les dalles en béton.	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de déperditions thermiques des conduites d'air fourni et d'air repris. - Déperditions thermiques très faibles des conduites d'air neuf et d'air rejetté. - Aucune conduite dans la colonne montante. - Mesures incendie réduites. 	<ul style="list-style-type: none"> - Les bouches d'air rejeté ne sont pas toujours autorisées. - L'appareil devrait se trouver le plus près possible d'une paroi extérieure. - La distance minimale entre bouches d'air neuf et d'air rejetté des différents appartements doit être respectée.
	B) Appareils aux étages d'habitation, air neuf en façade, air rejeté par le toit Remarque: ne pas noyer les conduites d'air neuf dans les dalles en béton.	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de déperditions thermiques des conduites d'air fourni et d'air repris. - Déperditions thermiques faibles des conduites d'air neuf. - Aucune conduite d'air neuf dans la colonne montante. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déperditions thermiques des conduites d'air rejetté. - Place importante nécessaire pour les conduites d'air rejetté isolées dans la colonne montante. - Respect des mesures de protection incendie.
	C) Appareils aux étages d'habitation, air neuf via colonne montante, air rejeté par le toit	<ul style="list-style-type: none"> - Pas de déperditions thermiques des conduites d'air fourni et d'air repris. - Aucune bouche d'air en façade. - Protection contre le gel réalisable au moyen d'un échangeur de chaleur géothermique ou par préchauffage central. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déperditions thermiques des conduites d'air neuf et d'air rejetté. - Place importante nécessaire pour les conduites isolées dans la colonne montante. - Respect des mesures de protection incendie.
	D) Appareils au sous-sol, air fourni et air repris via la colonne montante	<ul style="list-style-type: none"> - Déperditions thermiques très faibles de toutes les conduites d'air. - Aucune bouche d'air en façade. - Protection contre le gel réalisable au moyen d'un échangeur de chaleur géothermique ou par préchauffage central. - Accès central aux appareils. 	<ul style="list-style-type: none"> - Place nécessaire dans les colonnes montantes (en revanche conduites non isolées). - Les appareils doivent se trouver le plus près possible des colonnes montantes. - Respect des mesures de protection incendie.
	E) Appareils en toiture, air fourni et air repris via colonne montante.	<ul style="list-style-type: none"> - Déperditions thermiques très faibles de toutes les conduites d'air. - Aucune bouche d'air en façade. 	<ul style="list-style-type: none"> - Place nécessaire dans les colonnes montantes (en revanche conduites non isolées). - Nécessite des appareils spéciaux. - Résoudre la question de l'accès aux appareils de ventilation. - Respect des mesures de protection incendie.

Tableau 6.3: Aérations douces (installations de ventilation individuelles) dans un locatif: différentes variantes pour l'emplacement des appareils et la distribution principale.

5½ pièces. Le tableau 6.3 présente la comparaison de la consommation d'électricité, les déperditions thermiques dues à la ventilation et l'énergie grise. Etant donné que les valeurs changent en fonction de l'emplacement, la plage usuelle de consommation est indiquée. Cette étude [2] a été complétée par une estimation du besoin annuel en énergie primaire non renouvelable. Les hypothèses sont les suivantes: chauffage par PAC avec un coefficient de performance annuel de 3,5, facteur d'énergie primaire pour l'énergie électrique de 2,0 en se référant à la valeur actuelle de l'UE; l'énergie grise est amortie sur une durée de vie de 30 ans.

La variante A est la meilleure par rapport à toutes les caractéristiques énumérées. L'étude [2] a évalué les variantes D et E de manière assez conservative. Dans de bonnes conditions, il est possible d'atteindre les résultats de la variante B. La comparaison ne tient pas compte de la maintenance. En cas de maintenance par une entreprise externe, la variante D serait clairement la meilleure.

La figure 6.6 montre à titre d'exemple un appartement avec les emplacements possibles pour un appareil de ventilation:

- **Emplacement 1, salle de bain** (possible pour les variantes A et B du tableau 6.2): pas de problème au niveau acoustique. En outre, la distribution de l'air est simple à réaliser dans ce plan.
- **Emplacement 2, cuisine** (possible pour les variantes A et B): l'appareil est encastré debout ou couché dans une armoire de la cuisine. Pour des raisons acoustiques, retenir cet emplacement uniquement si la cuisine est séparée par des portes des autres zones de l'appartement.
- **Emplacement 3, couloir** (possible pour les variantes B et C): l'appareil est encastré dans une armoire. Pour des raisons acoustiques, retenir cet emplacement uniquement si le couloir est séparé par des portes des autres zones de l'appartement.
- **Emplacement 4, réduit** (possible pour la variante C): la disposition du réduit permet soit un accès depuis la cage d'escalier, soit depuis l'appartement.

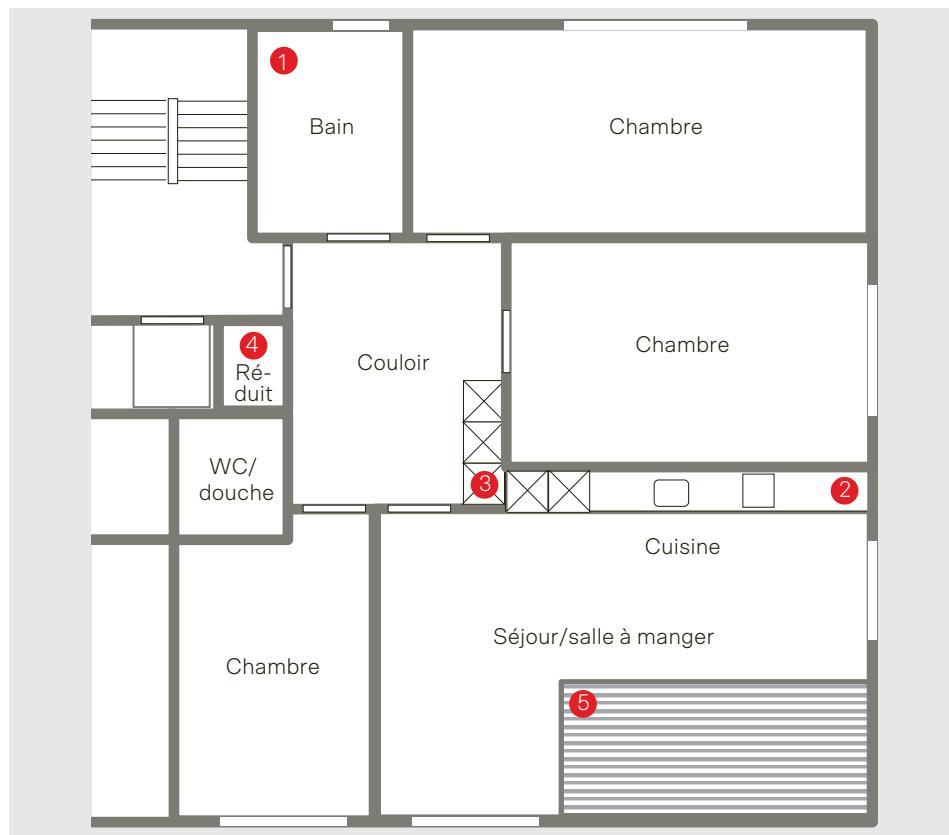


Figure 6.6: Appartement avec emplacements possibles des appareils de ventilation.

Du point de vue acoustique, l'emplacement 4 est une très bonne solution. En cas d'accès depuis la cage d'escalier, il faut être attentif aux exigences de protection incendie.

– **Emplacement 5, balcon ou zone de circulation en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment** (possible pour la variante A): en fonction du plan, cette solution peut avoir des conduites d'air fourni et d'air repris très courtes. Avec un emplacement sur le balcon, les odeurs provenant des balcons situés en dessous (fumeurs, grillades) sont problématiques. En outre, il ne faut pas négliger les bruits des bouches d'air neuf et d'air rejeté. Les appareils doivent être adaptés à un emplacement non chauffé. Etant donné par ailleurs qu'un écoulement de condensat est difficile à réaliser, pratiquement seuls les appareils équipés d'échangeurs à enthalpie entrent en ligne de compte.

En raison du bruit qu'ils génèrent, les appareils de ventilation ne devraient pas être placés dans les salons ou chambres, respectivement dans les salons/salles à manger/cuisines ouverts. Toutefois, si aucun autre emplacement n'est possible, des mesures acoustiques spéciales et des appareils silencieux sont indispensables. L'appareil doit alors être installé

dans une armoire spécialement conçue au niveau acoustique. L'armoire doit être hermétique. Une porte avec un joint sur tout le pourtour et une ferrure permettant une pression de fermeture suffisante sont entre autres indispensables. Pour de telles solutions, il faut toujours faire appel à un acousticien.

Perte de charge

La perte de charge côté air neuf/air fourni est égale à la perte de charge de la bouche d'air neuf jusqu'à l'entrée de l'appareil additionnée à celle de la sortie de l'appareil jusqu'au local d'air fourni. Côté air repris/air rejeté, le calcul se fait de manière analogue. Etant donné que ces pertes de charge se produisent en dehors de l'appareil de ventilation, elles sont appelées pertes de charge extérieures.

Le tableau 6.4 montre la valeur cible et la valeur limite pour les pertes de charge extérieures selon la norme SIA 382/5. Il est à relever que la norme additionne les pertes de charge extérieures côtés air neuf/air fourni et côtés air repris/air rejeté. Pour cette raison, les valeurs indiquées dans la norme sont deux fois plus hautes.

Exigence	Perte maximale de charge extérieure ¹⁾	Description
Valeur cible	50 Pa	Petit réseau de distribution, p. ex. du type «mélange».
Valeur limite	75 Pa	Moyen et grand réseau de distribution, composants spéciaux tels que protection externe anti-givrage, caisson de filtration supplémentaire, etc.

1) Indication valable côté air neuf/air fourni tout comme côté air repris/air rejeté.

Tableau 6.4: Pertes de charge pour installations de ventilation individuelles.

Désignation selon le règlement UE 1254/2014	Valeur recommandée	Classe recommandée par la norme SN EN 13142
Classe de consommation d'énergie spécifique	A	
Rendement thermique de la RC	$\geq 73\%$	TRS 3
Puissance absorbée spécifique (en français et anglais SPI)	$\leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ resp. $\leq 720 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$	SPI 1
Taux de fuites externes	$\leq 1,0\%$	A1 ou B1 ou C1
Taux de fuites internes (pour échangeurs de chaleur à plaques)	$\leq 1,0\%$	A1
Recirculation (pour échangeurs rotatifs)	$\leq 3,0\%$	B2 ou C2

Tableau 6.5: Caractéristiques de performance des appareils de ventilation des unités résidentielles (UVR) selon règlement UE 1254/2014 et classes recommandées par la norme SN EN 13142.

Appareils de ventilation pour installations de ventilation individuelles

Selon l'ordonnance suisse sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique (OEEE), le marquage des appareils de ventilation doit être conforme au règlement UE 1254/2014. Ce règlement exige que le fournisseur de l'appareil indique, entre autres, les caractéristiques de performance du tableau 6.5. Il est recommandé d'exiger les valeurs de la colonne du milieu, respectivement de la classe indiquée selon la norme SN EN 13142:2021. En complément, il faut exiger un appareil équipé au minimum d'un filtre air fourni de la classe ISO ePM1 50 % et un test de l'appareil effectué avec ce même filtre. Il est conseillé d'utiliser des appareils équipés d'échangeurs à enthalpie. Le chapitre 9 comporte des indications supplémentaires au sujet des appareils et de la protection anti-givrage.

6.5 Installations de ventilation collectives

Emplacement de l'appareil

Le tableau 6.6 montre différents emplacements possibles pour les appareils et la distribution principale avec leurs avantages et inconvénients. Selon l'étude comparative [2], l'énergie d'exploitation, l'énergie grise et les investissements va-

riant de $\pm 5\%$ environ, les coûts des variantes A-D étant similaires et ceux de la variante F les plus élevés.

En revanche, la place nécessaire pour l'installation (locaux techniques, colonnes montantes) varie fortement selon les variantes. Les variantes A et B n'occupent que 10 % environ du volume nécessaire pour les variantes C et D. La variante E se situe entre les deux. Il ne faut toutefois pas négliger que les appareils disposés en toiture représentent un risque élevé de conflit avec des appartements en attique, les jardins-terrasses, etc.

Box de ventilation d'appartement et commande/régulation

En cas d'installations de ventilation collectives, il faut décider si le régime de ventilation doit pouvoir être réglé dans chaque appartement. Cette question se pose déjà au moment de fixer le débit d'air déterminant (voir point 6.1). Pour les constructions nouvelles, Minergie exige par ailleurs une commande selon besoins et/ou une régulation par appartement. La figure 6.7 montre une variante avec fonctionnement à vitesse fixe et une variante avec commande selon besoins/régulation.

Pour une commande selon besoins/régulation par appartement, les principes «cascade» et «mélange» avec circulation active sont recommandés. Pour le prin-

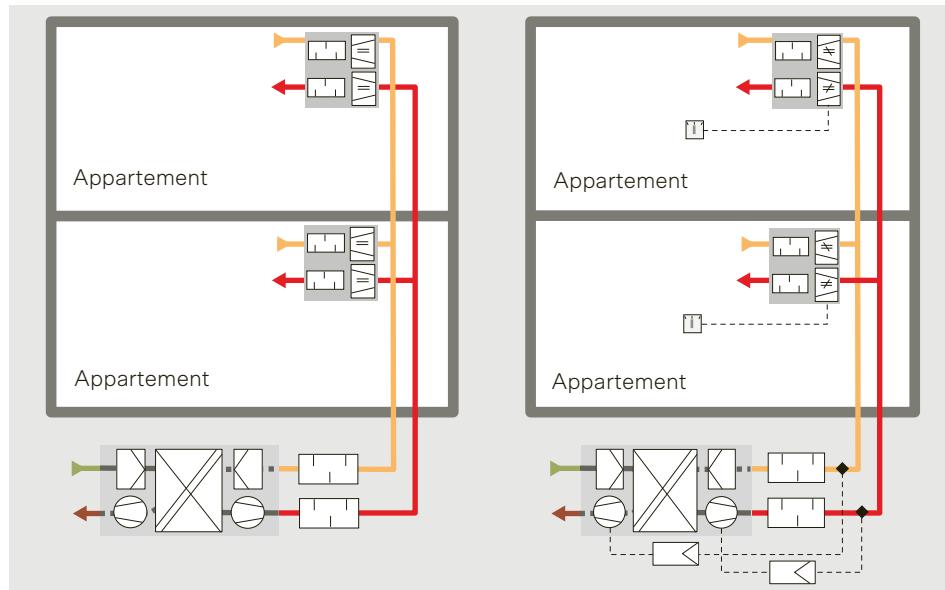


Figure 6.7: Principe des installations de ventilation collectives à régime fixe (à gauche) et avec une commande à la demande.

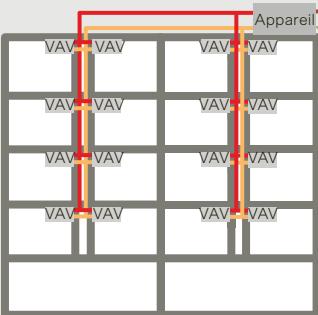
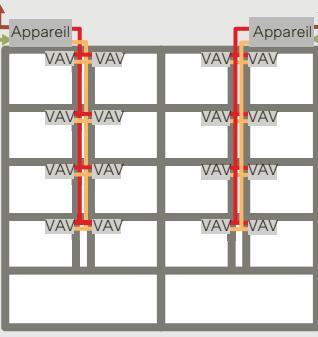
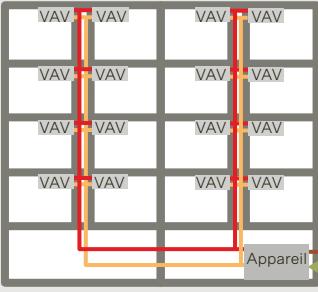
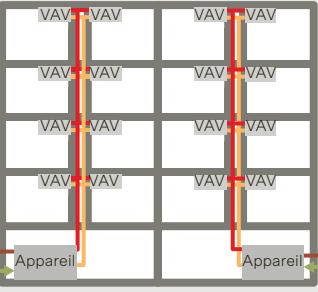
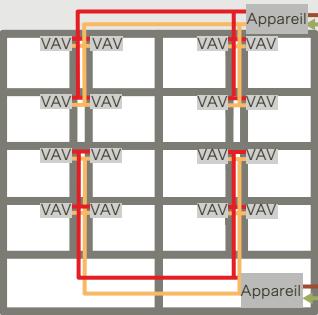
Schéma	Variante	Avantages	Inconvénients
	A) Un seul appareil en toiture	<ul style="list-style-type: none"> - Conduites courtes d'air neuf et d'air rejeté. - Aucune place nécessaire au sous-sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Déperditions thermiques des conduites d'air neuf et d'air rejeté en toiture. - Appareil pour pose en extérieur nécessaire (énergie grise et coûts plus élevés). - Maintenance en toiture - Occupation d'une surface de valeur en toiture.
	B) Un appareil par colonne montante en toiture	<ul style="list-style-type: none"> - Conduites courtes d'air neuf et d'air rejeté. - Conduites courtes d'air neuf et d'air fourni. - Aucune place nécessaire au sous-sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Plusieurs appareils pour pose en extérieur nécessaires. - Maintenance en toiture. - Occupation d'une surface de valeur en toiture.
	C) Un appareil au sous-sol	<ul style="list-style-type: none"> - Accès facile pour la maintenance. - Échangeur de chaleur géothermique possible. - Conduites courtes pour raccorder des registres de chauffage/refroidissement. 	<ul style="list-style-type: none"> - Place nécessaire au sous-sol. - Tracé horizontal des conduites au sous-sol (hauteur d'étage év. à augmenter). - Nécessite souvent des conduites longues et isolées d'air neuf et d'air rejeté. - Colonne montante importante si l'air rejeté est évacué par le toit.
	D) Un appareil par colonne montante au sous-sol	<ul style="list-style-type: none"> - Accès facile pour la maintenance. - Échangeur de chaleur géothermique possible. - Conduites courtes pour raccorder des registres de chauffage/refroidissement. - Conduites courtes d'air fourni et d'air repris au sous-sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Place nécessaire au sous-sol. - Nécessite souvent des conduites longues et isolées d'air neuf et d'air rejeté. - Colonne montante importante si l'air rejeté est évacué par le toit. - Plusieurs appareils nécessaires (coûts, énergie grise, maintenance).
	E) Un appareil au sous-sol, un appareil en toiture	<ul style="list-style-type: none"> - Colonnes montantes réduites. - Place réduite nécessaire au sous-sol. - Convient pour les bâtiments hauts et minces (tours) 	<ul style="list-style-type: none"> - Vu que les appareils se trouvent et au sous-sol et en toiture, cette variante cumule les inconvénients des variantes A et C.

Tableau 6.6: Aérations douces (installations de ventilation collectives) différentes variantes pour l'emplacement des appareils et la distribution principale.

cipe «mélange» avec circulation naturelle, le débit d'air choisi entre en ligne de compte (voir point 3.5): si le débit d'air fourni se limite aux 20 m³/h exigés par personne, la question se pose de savoir si un fonctionnement à plusieurs régimes se justifie du point de vue de l'investissement. L'exemple de calcul 6.1 le démontre toutefois: le fonctionnement à vitesse fixe rend judicieux un échangeur à enthalpie. En cas d'une commande selon besoins/régulation, une «box de ventilation d'appartement» est mis en place pour chaque appartement. Cet appareil réunit dans un même caisson le régulateur à débit variable, l'amortisseur de bruit et la commande.

Une étude réalisée en 2012 par la Haute école spécialisée du nord-ouest de la Suisse [3] a comparé différents produits et en a déduit les recommandations suivantes pour la planification et le choix de la box de ventilation d'appartement:

- La pression d'alimentation nécessaire au régime normal devrait atteindre 20 Pa au maximum.
- La distribution d'air et la régulation du ventilateur devraient être dimensionnées de sorte que la pression d'alimentation ne dépasse pas 50 Pa, quel que soit le régime. Une mise en service minutieuse est en outre nécessaire afin de pouvoir remplir cette exigence.

- À la pression d'alimentation maximale, le niveau de puissance acoustique transmis à l'air fourni et l'air repris devrait être au maximum de 30 dB (A). En principe, aucun amortisseur supplémentaire n'est alors nécessaire.

- À la pression d'alimentation maximale, l'émission du caisson devrait atteindre au maximum 25 dB (A). Si cette exigence est impossible à remplir, il faut chercher des solutions côté bâtiment, p. ex. placer l'appareil dans un local technique.

- La puissance électrique absorbée moyenne de la commande ne devrait pas dépasser 2 W. Pour quelques produits, c'est le capteur de débit qui est le consommateur principal.

- A une pression d'essai de 100 PA, le taux de fuites ne devrait pas être supérieur à 2 %.

Les mesures du niveau sonore en laboratoire sont effectuées usuellement avec un flux incident sans perturbations. Si des box de ventilation d'appartement sont placés à proximité de coudes, de T ou d'autres éléments perturbateurs, il faut vérifier avec le fournisseur si des mesures acoustiques spéciales sont nécessaires. Il est recommandé d'utiliser des produits dans lesquels le régulateur de débit, la commande et l'amortisseur sont assemblés dans un seul caisson.

Désignation selon le règlement UE 1253/2014	Valeur recommandée	Classe minimale recommandée selon norme
Efficacité thermique de la récupération de chaleur	≥ 73 %	SN EN 13053: classe H2
Puissance spécifique des ventilateurs liés aux composants de ventilation internes (en français et en anglais SFP_{int})	≤ 0,22 W/(m ³ /h) resp. ≤ 800 W/(m ³ /s)	
Vitesse frontale au débit nominal	≤ 2 m/s	SN EN 13053: classe V3
Taux de fuites externes	≤ 0,5 %	SN EN 16798-3: classe ATC3
Taux de fuites internes (pour échangeurs à plaques)	≤ 1 %	
Recirculation (uniquement pour échangeurs rotatifs) ¹⁾ (Désignation selon la norme EN 308: EATR)	≤ 3 %	SN EN 16798-3: classe 1
Propriétés énergétiques des filtres, de préférence classification selon la qualité énergétique	Différence de pression finale des filtres côté air fourni ≤ 200 Pa	Classes d'efficacité énergétique Eurovent A

1) Elle définit le pourcentage d'air repris renvoyé dans l'air fourni.

Tableau 6.7: Caractéristiques de performance des appareils de ventilation des unités non résidentielles (UVNR) selon le règlement UE 1253/2014 et exigences recommandées.

Il est par ailleurs judicieux de choisir des solutions globales qui comprennent non seulement la box mais aussi l'appareil de ventilation et sa commande.

Une commande selon besoins/régulation implique des ventilateurs à régime variable, comme indiqué à la figure 6.7. Les capteurs de pression sont installés idéalement juste avant la première bifurcation dans la distribution d'air fourni et d'air repris.

Pertes de charge et consommation d'énergie pour le transport de l'air

Une installation de ventilation collective planifiée et régulée avec soin consomme pour le transport de l'air 2 à 3 kWh par m² de surface de référence énergétique. Cette valeur est correcte à condition d'utiliser les débits minimaux d'air selon le chapitre 3 et le point 6.1 et de réaliser une commande selon besoins/régulation. En outre, les exigences suivantes doivent être remplies:

- La perte de charge de la distribution d'air fourni dans l'appartement est de 40 Pa au maximum tout comme celle de la distribution d'air repris.
- La pression d'alimentation de la box de ventilation d'appartement, respectivement du régulateur à débit variable est de 20 Pa au maximum.
- La perte de charge de la distribution principale, y compris les accessoires, ne dépasse pas 1 Pa/m (cf point 5.2).
- La perte de charge de la bouche d'air neuf jusqu'à l'entrée de l'appareil de ventilation est de 40 Pa au maximum tout comme la perte de charge côté air rejeté.

Appareils de ventilation pour installations de ventilation collectives

Selon l'ordonnance suisse sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique (OEEE), le marquage des appareils de ventilation doit être conforme au règlement (UE) 1253/ 2014. Ce règlement exige que le fournisseur de l'appareil indique, entre autres, les caractéristiques de performance du tableau 6.7 Pour le dimensionnement, il est judicieux d'exiger soit la valeur recommandée de la co-

lonne de gauche soit la classe de performance de la colonne de droite. La norme SIA 382/5 exige en complément que le filtre air fourni soit au moins de la classe ISO ePM1 50 % et que les caractéristiques de performance soient déterminées avec la classe de filtre déclarée ou une classe de filtre supérieure.

Les installations de ventilation collectives sont de plus en plus souvent équipées d'échangeurs à enthalpie. Pour les échangeurs rotatifs et les échangeurs à plaques, il ne faut pas négliger le risque de transmissions d'odeurs entre appartements. Notamment les odeurs de cuisine sont perçues à de très faibles concentrations et sont à juste titre sujettes à réclamations. Il est par conséquent impératif de vérifier que la RC ne transmet pas d'odeurs avant d'arrêter le choix de l'appareil.

Afin de réduire le risque de transmission d'odeurs, les revêtements des rotors et les membranes des échangeurs à plaques sont toutefois constamment améliorés. Il est ainsi fort probable que les échangeurs à enthalpie deviendront un équipement standard aussi pour les ventilations collectives.

Les échangeurs à enthalpie augmentent l'humidité de l'air intérieur et assurent aussi à satisfaction la protection anti-givrage. Pour les emplacements C et D du tableau 6.6, la protection anti-givrage peut aussi être remplie par un échangeur de chaleur géothermique avec l'avantage de pré-refroidir l'air neuf en été. Enfin, il est possible de réaliser la protection anti-givrage au moyen d'un by-pass sur la RC ce qui implique souvent un réchauffage de l'air fourni à cause de la basse température de sortie sur la RC.

6.6 Bouches d'air neuf et d'air rejeté

Bouches d'air neuf

Les prises d'air neuf ne doivent pas être placées directement au-dessus du terrain ou dans un saut de loup.

Les bouches d'air côté terrain accessible au public ou aux privés, mais utilisé col-

lectivement (p.ex. aire de jeux) doivent être placées au minimum à 3 m au-dessus du sol. Pour les installations de ventilation collectives et mis à part les cas précités, cette hauteur minimale doit être 1,5 m.

La distance horizontale à des sources significatives de polluants et d'odeurs doit être de 8 m au minimum. Voici une liste non exhaustive de sources significatives:

- Routes à forte circulation
- Point de collecte de déchets et de compostage
- Places de stationnement à partir de trois véhicules
- Arrêts pour bus à moteurs thermiques

- Cheminées
- Air rejeté de cuisines professionnelles, de stands de restauration rapide, etc.

Le bord inférieur de la prise d'air neuf doit se trouver au minimum à la hauteur de l'enneigement local maximal multiplié par 1,5. En été, il ne faut pas aspirer de l'air fortement réchauffé par des places, des toits et des murs.

S'il est possible de positionner la prise d'air neuf sans contraintes, les priorités sont les suivantes:

1. Pour les bâtiments à proximité de routes à forte circulation: du côté opposé à la route

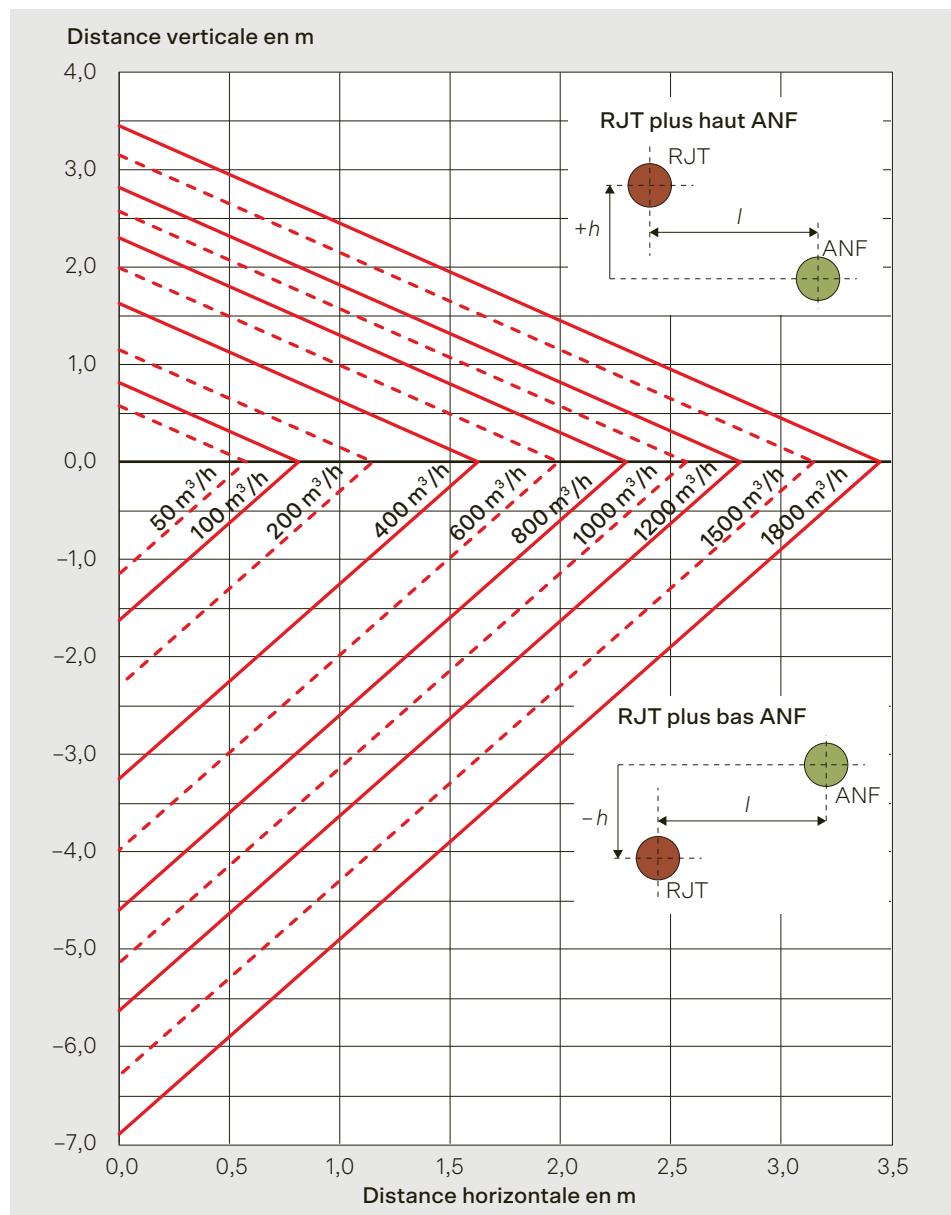


Figure 6.8: Distance entre bouches d'air neuf et bouches d'air rejeté disposées sur la même façade, jusqu'à 1800 m³/h, sans air repris des zones de cuisson.

2. Du côté exposé au vent
3. À un endroit facilement accessible pour le contrôle et le nettoyage
4. Aussi haut que possible, mais en dessous d'embouchures de cheminée et de bouches d'air rejeté

Pour les locatifs, il est inapproprié de placer les prises d'air neuf au-dessus de balcons, de terrasses et de zones d'entrée, car les personnes y fument souvent et y font parfois des grillades.

Les bouches d'air neuf doivent être protégées par une grille anti-insectes (maillage entre 5 mm au minimum et 10 mm au maximum). La vitesse de l'air effective, par rapport à la section nette de la bouche, ne doit pas dépasser 2 m/s. Dans les régions à forte densité de brouillards, une vitesse de 1,5 m/s est conseillée afin d'exclure la pénétration d'humidité et le givrage. Pour respecter ces vitesses de l'air, une bouche d'air neuf de section ronde doit être d'une, voire de deux tailles plus grandes que la conduite d'air neuf.

Bouches d'air rejeté

L'emplacement des bouches d'air rejeté est parfois régi par des règlements communaux. Il est admis de disposer des bouches d'air rejeté en façade si les conditions suivantes sont satisfaites:

- Pas d'air repris de cuisine ou d'air de logement contenant de l'air rejeté des zones de cuisson (hottes d'aspiration)
- Débit d'air de 1800 m³/h au maximum
- Distance aux bâtiments attenants de 8 m au minimum

Sinon, l'air rejeté doit être évacué en toiture. L'air rejeté ne doit en aucun cas être soufflé dans des cavités froides (toiture froide, façades/revêtements ventilés); si l'humidité relative de l'air rejeté est élevée, l'eau se condense sur les surfaces froides.

Distance entre bouche d'air neuf et bouche d'air rejeté

Les bouches d'air neuf et d'air rejeté sont à positionner de manière à exclure tout

court-circuit. Cette exigence est à respecter pour l'installation projetée, mais également par rapport à d'autres installations.

Les distances minimales entre bouche d'air neuf et bouche d'air rejeté peuvent être déterminées à l'aide de la figure 6.8 pour les installations de ventilation individuelles et collectives avec un débit d'air jusqu'à 1800 m³/h. Le graphe n'est toutefois pas valable s'il s'agit d'air rejeté de zones de cuisson ou d'air de logement contenant aussi de l'air rejeté provenant de zones de cuisson (hottes d'aspiration). Il est valable pour les bouches d'air neuf et d'air rejeté positionnées sur la même façade ou si l'air rejeté est évacué en toiture. La figure 6.9 est valable pour un débit d'air de 1800 m³/h, voire pour un débit plus haut à condition que l'air rejeté soit évacué vers le haut. Elle comporte une courbe pour l'air repris du logement et une courbe pour l'air rejeté de la zone de cuisson. Des distances plus importantes sont exigées si l'air rejeté provient de cuisines professionnelles ou de sources de pollution similaires. Elles doivent être déterminées conformément à la norme SIA 382/1.

6.7 Échangeurs de chaleur géothermique

L'air fourni peut être réchauffé ou refroidi en passant par le sol via un échangeur de chaleur. Des échangeurs de chaleur air-sol et des échangeurs de chaleur sol-saumure entrent en ligne de compte.

Dans le cas des échangeurs de chaleur air-sol, les conduites d'air sont posées dans le terrain. Dans le cas des systèmes à saumure, la chaleur géothermique réchauffe un circuit de saumure qui traverse ensuite un échangeur à plaques conventionnel transférant la chaleur à l'air fourni. Les échangeurs de chaleur géothermique ont les avantages suivants:

- Protection anti-givrage simple
- Moins de condensat dans l'appareil de ventilation et donc durée de vie plus longue

- Température de l'air fourni plus élevée et en fonction des bouches d'air fourni meilleur confort thermique.
- Faible gain de chaleur.
- Faible effet de refroidissement en été

Il est judicieux de recourir à des appareils avec mode by-pass afin de rendre possible une puissance de refroidissement maximale en été. Les échangeurs de chaleur air-sol sont hygiéniquement plus délicats que les échangeurs de chaleur sol-saumure. Ils présentent en particulier le risque de stagnation d'eau dans les conduites et donc de prolifération de moisissures.

Echangeurs de chaleur air-sol

Les échangeurs de chaleur air-sol sont par expérience passablement sensibles. D'une part, des tassements du terrain peuvent provoquer des accumulations d'eau dans les tuyaux, notamment s'il s'agit de tuyaux flexibles. De l'autre, il arrive souvent que les tuyaux posés sont écrasés par des machines de chantier avant d'être complètement recouverts. Les échangeurs de chaleur air-sol sont à utiliser de préférence pour des installations de maisons unifamiliales. Pour le préchauffage de filtres (environ 3 K), quelques mètres de tuyaux suffisent. La protection anti-givrage requiert sur le Plateau suisse où le terrain est humide deux tuyaux parallèles de 8 m de long (diamètre intérieur de 150 mm env.) pour un débit d'air de 150 m³/h, 15 m de long sont nécessaires dans un terrain sec.

Interprétation de la figure 6.9

La prise d'air neuf de l'aération douce et la bouche d'air rejeté des zones de cuisson (hottes d'aspiration) d'un locatif sont disposées sur un toit plat. La distance entre les deux est de 4,5 m.

Selon la courbe rouge de la figure 6.9, la bouche d'air rejeté des zones de cuisson doit être 1,5 m au-dessus de la prise d'air neuf.

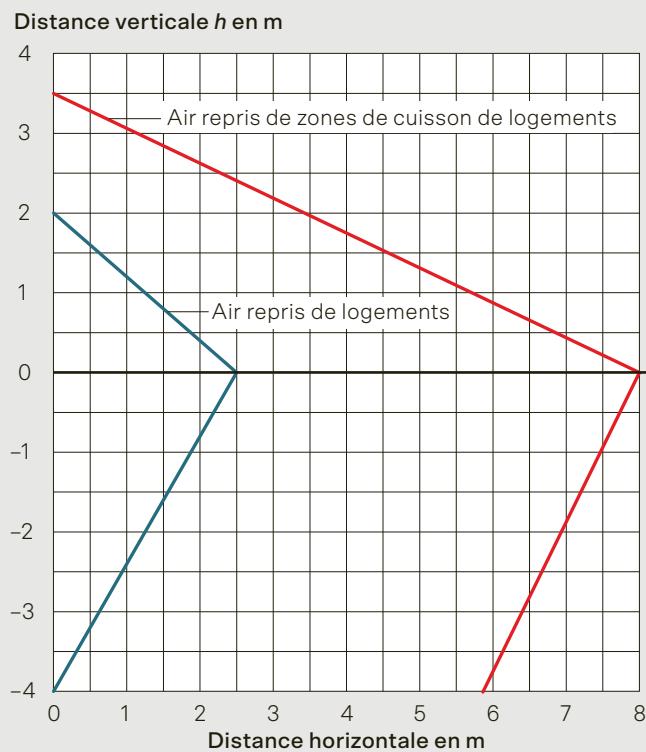
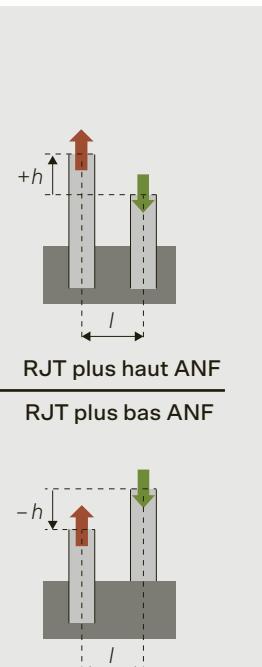


Figure 6.9:
Distances entre
bouches d'air neuf et
bouches d'air rejeté
avec flux d'air
orienté vers le haut,
pour l'air repris de
logements d'un dé-
bit supérieur à
1800 m³/h et pour
l'air repris de zones
de cuisson.



Dans les deux cas, la perte de charge est de 10 Pa environ. Divers documents spécialisés, par exemple les références [4] et [5], donnent des indications pour la réalisation et le dimensionnement des échangeurs de chaleur air-sol.

Echangeurs de chaleur sol-saumure

Ces échangeurs de chaleur doivent être équipés d'un filtre côté air neuf afin de les protéger contre des impuretés. La perte de charge de l'échangeur et du filtre est comprise entre 10 et 20 Pa environ. Le circuit de saumure comporte une pompe de circulation, un groupe de sécurité (soupape de sécurité et manomètre) et un vase d'expansion. La pompe marche en fonction des températures de consigne et du climat pendant environ 500 à 1000 h par an.

Les registres horizontaux se composent de tuyaux enterrés en matière synthétique d'un diamètre extérieur de 20 à 40 mm. Il est très difficile de trouver des indications indépendantes de dimensionnement de produits précis. Pour cette raison, les valeurs indicatives ci-après sont déduites des documents de fournisseurs de systèmes. Chaque fournisseur est responsable du dimensionnement précis.

- La profondeur de pose est comprise entre 1,2 et 2 m.
- L'espacement des tuyaux est compris entre 0,6 et 1,0 m.
- La distance entre le bâtiment et les conduites d'eau est de 1 m au minimum.
- La zone où se trouvent les tuyaux ne doit ni être construite ni imperméabilisée.

La valeur indicative pour la longueur des tuyaux est comprise entre 0,2 et 0,5 m pour un débit d'air de 1 m³/h. La valeur inférieure s'applique aux terrains humides, la valeur supérieure aux terrains secs et sablonneux.

En combinaison avec un chauffage par pompe à chaleur à sonde géothermique, l'air neuf peut être préchauffé, respectivement refroidi par celle-ci. Afin de couvrir la puissance supplémentaire requise, la sonde géothermique doit être dimensionnée de manière plus génér-

reuse. Le dimensionnement exact incombe au fournisseur de sondes. Selon des estimations faites sur la base de valeurs empiriques, la longueur supplémentaire nécessaire est comprise entre 0,07 et 0,1 m sur le Plateau pour un débit d'air de 1 m³/h.

6.8 Nettoyage et hygiène

La distribution de l'air doit être planifiée de sorte qu'elle puisse être inspectée et nettoyée à tout moment. A cet effet, des tronçons de nettoyage accessibles au moins sur un côté doivent être définis.

Voici les accès possibles:

- Raccordements à l'appareil de ventilation
- Caissons distributeurs et collecteurs
- Bouches d'air
- Conduites facilement accessibles

Les accès doivent être conçus de sorte que les outils de nettoyage puissent être introduits dans les conduites. Les outils de nettoyage ne passent que difficilement ou pas du tout par des bouches à fentes ou des coudes au droit des plafonds.

Ils ne peuvent pas non plus traverser des caissons distributeurs ou collecteurs. Ces composants doivent par conséquent toujours disposer d'un couvercle de révision.

Les tronçons de nettoyage ne doivent comporter aucun élément fixé de manière non démontable tels que clapets, régulateurs de débit, amortisseurs ou autres composants. Si de tels composants sont présents, ils doivent pouvoir être démontés pour le nettoyage.

Un tronçon de nettoyage qui n'est accessible que d'un côté ne devrait pas dépasser 12 m. Un accès bilatéral permet de doubler cette longueur. Toutefois, diverses entreprises de nettoyage sont en mesure de nettoyer des tronçons allant jusqu'à 30 m. Plus les conduites sont longues, plus les tarifs sont élevés. En outre, il peut arriver que le nettoyage ne puisse pas être garanti complètement si les tronçons sont très longs et très encaissés.

Les coude devraient avoir un rayon de courbure d'au moins 100 mm. Un outil de nettoyage ne doit pas passer plus de trois coude de 90°, respectivement quatre coude de 45° pour que la résistance au passage de la tige de nettoyage ne devienne pas trop importante.

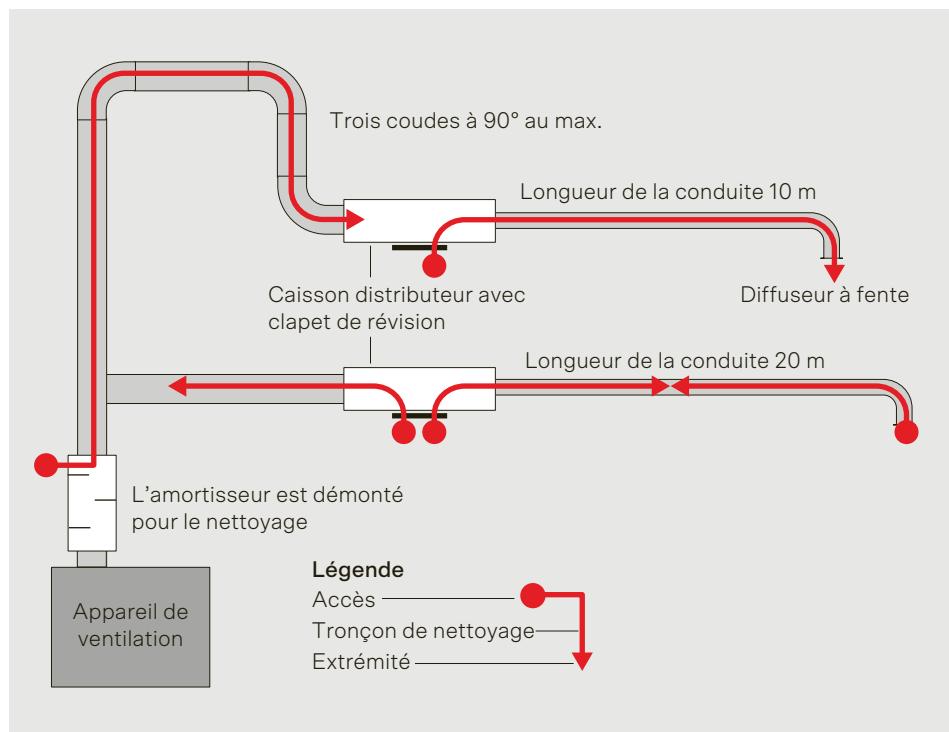
Les surfaces intérieures devraient être lisses et résister au frottement de l'outil de nettoyage (y compris hérissons et brosses métalliques). Les composants avec des surfaces poreuses, facilement déformables, fragiles ou contenant des fibres doivent pouvoir être démontés pour le nettoyage. Il s'agit notamment de revêtements insonorisant, de gaines souples et de tuyaux flexibles. Le chapitre 12 donne des informations sur le premier nettoyage et les intervalles de contrôle.

Le schéma de principe doit contenir tous les composants nécessaires au fonctionnement. Ils sont à spécifier et à décrire directement dans le schéma ou dans une légende à part. A titre d'exemple, la ventilation schématisée d'une maison unifamiliale se trouve à la figure 6.11.

Seul le principe de distribution de l'air est reporté dans le schéma. Les schémas des petites installations peuvent contenir toutes les bouches d'air fourni et d'air repris. Les schémas des installations moyennes et importantes sont souvent plus clairs si la distribution n'est représentée que succinctement. Il est possible de la représenter par un schéma séparé ou encore d'établir une liste de toutes les bouches d'air fourni et d'air repris.

6.9 Documentation

La documentation du projet comprend un schéma de principe, les plans à l'échelle 1:50 et une description de l'installation. Le cas échéant, la documentation est à compléter par des plans de détails tels que plans de l'emplacement de l'appareil de ventilation ou plan d'installation des bouches d'air neuf et d'air rejeté.



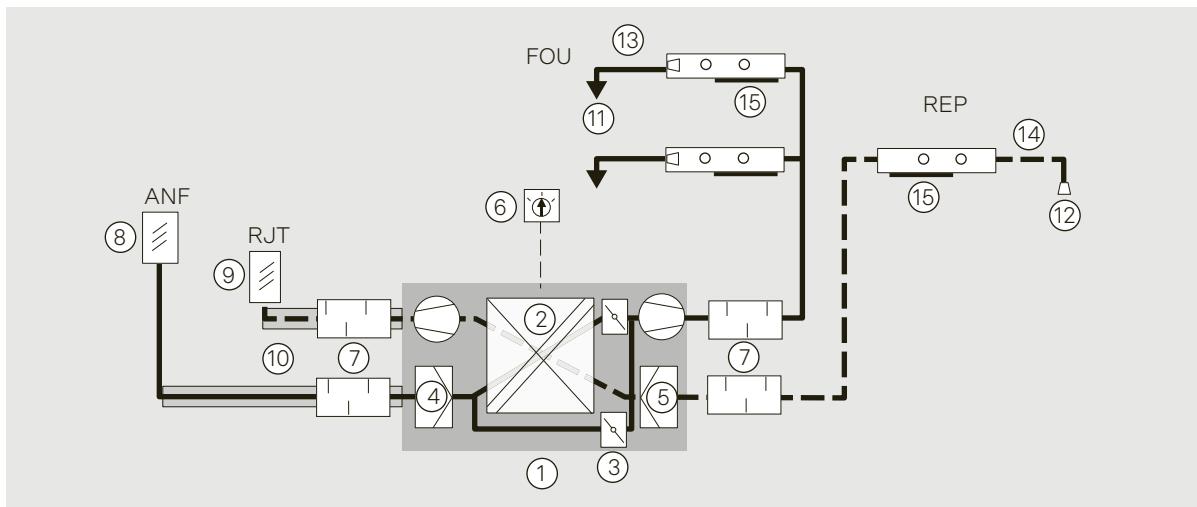


Figure 6.11: Schéma de principe pour une maison unifamiliale (exemple).

Brève description et légende	Pos.	
Types d'installation	Aération douce, installation de ventilation individuelle	
Appareil de ventilation	Classe énergétique A; débit d'air fourni et d'air repris en régime nominal de $150 \text{ m}^3/\text{h}$ pour chaque flux; dans le local technique au sous-sol, à l'intérieur de l'enveloppe thermique	1
Récupération de chaleur	Échangeur de chaleur à plaques avec récupération d'humidité (échangeur de chaleur à enthalpie), rapport de température $\eta_t = 80\%$, rapport d'humidité $\eta_x = 65\%$	2
Evacuation des condensats	Non requise	-
Protection anti-givrage	Echangeur de chaleur à enthalpie, limite d'utilisation -10°C	-
By-pass estival	Oui, avec clapets pour le by-pass et la RC	3
Filtre air fourni	ISO ePM1 50% (F7), dans l'appareil	4
Filtre air repris	ISO Coarse 80 (G4), dans l'appareil	5
Commande/régulation	Fonctionnement à trois régimes avec commutateur et programme horaire, unité de commande dans le couloir	6
Protection contre le bruit	Amortisseurs dans les conduites d'air fourni et d'air repris ainsi que d'air neuf et d'air rejeté	7
Bouche d'air neuf	Façade nord, à 1,5 m du terrain	8
Bouche d'air rejeté	Façade est, à 1,5 m du terrain	9
Isolation thermique	Isolation étanche à la diffusion; longueurs des conduites à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment, épaisseurs de l'isolation: – Air neuf: longueur 4 m, épaisseur de l'isolation 60 mm – Air rejeté: longueur 2 m, épaisseur de l'isolation 30 mm	10
Bouches d'air fourni	5 au plafond (chambres à coucher et chambre de travail); débits d'air et positions cf plans	11
Bouches d'air repris	4 au plafond (cuisine, salle de bain, douche, WC visiteurs); débits d'air et positions cf plans	12
Zone de transit	Salon (aucune bouche d'air fourni)	-
Bouches d'air transféré	Fente de 7 mm sous les portes	-
Distribution d'air fourni	Distribution en étoile, tuyaux plastiques noyés dans la dalle en béton; caisson distributeur dans les dalles sur rez et les dalles des étages avec éléments réducteurs dans le distributeur	13
Distribution d'air repris	Distribution en étoile, tuyaux plastiques noyés dans la dalle en béton; caisson distributeur dans la dalle sur rez; ajustement de la régulation aux bouches d'air repris	14
Concept de nettoyage	Conduites d'air fourni et d'air repris accessibles depuis les distributeurs (portes de révision) et les bouches d'air; conduites d'air neuf et d'air rejeté accessibles depuis l'extérieur et depuis le local technique	15
Air repris de la cuisine	Hotte à extraction d'air séparée	-
Surchauffe estivale	Ventilation supplémentaire par les fenêtres, ouverture manuelle	-
Chauffage à combustion dans l'appartement	Aucune	-
Protection incendie	Etant donné qu'il s'agit d'un habitat individuel, aucune mesure particulière	-

6.10 Bibliographie

- [1] Kobler, René L.; Binz, Armin; Steinke, Gregor: Nachhaltige Wohnbauerneuerung, Schlussbericht der Module A3, A4 im CCEM Forschungsprojekt, Vorfabrizierte Fassaden- und Dachmodule. Muttenz: Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Institut Energie am Bau (IEBau), 2010
- [2] Primas, Alex; Settembrini, Gianrico; Zuber, Stephan; Huber, Heinrich: Vergleich von Lüftungskonzepten für Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2021
- [3] Huber, Heinrich; Helfenfinger, Dominique: Individuelle Luftmen genregulierung bei Mehrwohnungsanlagen. Zürich: Stadt Zürich, Amt für Hochbauten, Fach stelle Energie- und Gebäudetechnik, 2013 [online].
- [4] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Köln, Verlagsge sellschaft Rudolf Müller, 2016. ISBN 978-3-481-03405-4 (Buch-Ausgabe), ISBN 978-3-481-03406-1 (E-Book-Ausgabe als PDF)
- [5] Huber, Heinrich; Mosbacher, René: Wohnungslüftung. Grundlagen, Planung, Ausführung und Praxis von Komfortlüftungen. Zürich: Faktor Verlag 2006. ISBN-13: 978-3-905711-01-1

Chapitre 7

Conception des installations simples d'air repris

Paramètres relatifs aux installations simples d'air repris

Les exigences ci-dessous contribuent de manière significative à la qualité des installations à fonctionnement continu. Les installations à courtes durées de fonctionnement sont abordées aux points 7.1 et 7.3.

Étanchéité à l'air de l'enveloppe

- Une enveloppe étanche à l'air est une condition de base au bon fonctionnement d'une installation d'air repris avec des bouches d'air neuf (BAN).
- Afin de vérifier l'étanchéité de l'enveloppe, il est judicieux d'effectuer une mesure blower-door qui servira en outre de base pour le dimensionnement et la régulation de l'installation.
- La perméabilité à l'air de l'enveloppe – même des bâtiments existants – devrait satisfaire au minimum à la valeur cible pour bâtiments neufs de la norme SIA 180.
- Afin de réduire au maximum les transmissions d'odeurs et de polluants à l'intérieur du bâtiment, l'étanchéité entre les appartements doit être très élevée.

Dimensionnement de la pression et du débit

Pour les installations fonctionnant par dépression, le débit d'air neuf nécessaire (pour le principe «cascade» typiquement 30 m³/h) doit passer par les BAN pour une différence de pression de l'ordre de 4 Pa. Dès lors, deux BAN par chambre sont nécessaires compte tenu de la plupart des produits disponibles sur le marché.

En raison des infiltrations, le débit d'air repris d'un appartement est supérieur d'environ 30 % au débit d'air neuf passant par les BAN. Les points 7.2 et 7.3 indiquent comment calculer ces paramètres de manière précise.

Confort thermique

- Le flux d'air d'une BAN doit être orienté le plus tangentiellement possible à la paroi extérieure.
- L'expérience montre qu'un chauffage par radiateurs provoque moins de réclamations quant aux courants d'air qu'un chauffage au sol.
- Les BAN sont à positionner conformément aux indications du fournisseur.

Protection contre le bruit

Une BAN affaiblit toujours la protection contre les bruits extérieurs. Il est fortement recommandé de recourir à un acousticien pour vérifier le respect des exigences de la norme SIA 181 et confirmer que l'affaiblissement reste acceptable. L'interprétation correcte des indications du fabricant ainsi que l'évaluation approximative de la protection contre le bruit impliquent déjà des connaissances approfondies en acoustique. Il faudrait impérativement faire appel à un spécialiste, par exemple, si on ne connaît pas la différence entre la valeur R_w et la valeur $D_{n,e,w}$. La valeur indicative suivante s'applique: la valeur $(D_{n,e,w} + C_{tr})$ d'une BAN doit être au minimum de 9 dB plus élevée que la valeur $(R'_w + C_{tr})$ d'une fenêtre typique de chambre (de 2 m² environ). Le point 7.6 indique comment calculer cette valeur de manière correcte.

Hygiène et maintenance

Les normes suisses exigent que les BAN soient toujours équipées de filtres; les zones à concentration élevée de poussières fines, telles que les routes et les lignes ferroviaires très fréquentées, imposent même des filtres à particules fines de la classe ISO ePM1 50 % (F7).

La maintenance des BAN comprend non seulement le remplacement régulier des filtres, mais également le nettoyage des grilles extérieures et anti-insectes. Cette tâche doit être effectuée par un personnel qualifié. Les retours d'expérience montrent que les locataires n'arrivent pas à assurer une maintenance correcte des BAN. Il est fortement conseillé de conclure des contrats de maintenance comprenant au moins une intervention annuelle. Les habitants doivent donc accepter qu'une personne accède à toutes les chambres à coucher.

7.1 Types d'installations simples d'air repris

Les installations d'air repris peuvent être subdivisées en trois types, listés au tableau 7.1. Elles ont les points suivants en commun:

- L'air neuf afflue par des BAN traversant l'enveloppe.
- La circulation de l'air à l'intérieur de l'appartement est assurée par des bouches d'air de transfert (BAT).
- Côté technique, elles peuvent être planifiées de manière similaire aux appareils de ventilation individuels par local ainsi qu'aux installations de ventilation individuelles et collectives.
- Sur demande, une commande selon besoins/régulation peut être réalisée, avec un réglage en continu ou avec plusieurs régimes.

En cas d'installations assignées uniquement à certains locaux, la ventilation des

autres locaux de l'appartement doit être assurée au moyen d'installations aérauliques supplémentaires. Le chapitre 8 aborde la combinaison avec des appareils de ventilation individuels par local. Le point 4.2 présente la possibilité, voire l'obligation de récupérer de la chaleur perdue au moyen de pompes à chaleur côté air repris (PAC air repris).

7.2 Conditions de pression et débits d'air

La dépression générée dans l'appartement fait affluer de l'air par deux voies:

- Les BAN
- Les inétanchéités dans l'enveloppe du bâtiment et entre appartements

Il ne peut pas être présupposé que l'air infiltré se répartisse de manière égale dans tous les locaux, étant donné que l'emplacement des fuites est inconnu. Cet air peut affluer par des voies hygiéniques

Type	Description
Ventilation d'un local, régime marche/arrêt	L'installation d'air repris ventile un local d'air repris en régime marche/arrêt. Le débit d'air repris est dimensionné par rapport à la pollution de l'air dans le local d'air repris.
Ventilation d'un local, régime continu	L'installation d'air repris ventile un local d'air repris en régime continu. Le débit d'air repris est dimensionné par rapport à la pollution de l'air dans le local d'air repris.
Ventilation par mise en dépression du logement (régime continu)	L'installation d'air repris évacue en continu l'air de tous les locaux d'air repris d'un logement. Le débit d'air repris est dimensionné de sorte que l'air pollué des locaux d'air repris soit évacué et que le logement soit pourvu du débit hygiénique d'air nécessaire. Les bouches d'air neuf et les bouches d'air transféré sont à dimensionner et à positionner en même temps.

Tableau 7.1: Types d'installations d'air repris.

quement douteuses ou du moins non déterminées (cage d'escalier, colonnes montantes, tubes vides prévus pour des câbles, appartements attenants). Ces différents flux d'air ainsi que les dépressions générées sont schématisés à la figure 7.1 pour un appartement sur un étage avec portes des chambres fermées (type: air repris sur la totalité du logement). Il s'agit des dépressions qui se mettent en place lors de l'aménée et de l'évacuation de l'air, dimensionnées selon la norme SIA 382/5. Les BAN sont ainsi dimensionnées pour une dépression de 4 Pa et les bouches d'air transféré pour une perte de charge de 1 Pa. Dans les appartements de deux étages et lors de conditions hivernales moyennes, la dépression à l'étage supérieur est d'environ 2 Pa plus basse que celle de l'étage inférieur. En conséquence, les BAN à l'étage supérieur sont à dimensionner pour une dépression de 3 Pa, respectivement de 5 Pa à l'étage inférieur. À l'étage supérieur et lors de basses températures extérieures, le débit d'air neuf diminue de 20 % environ. En revanche, lors de températures extérieures élevées, il augmente de 20 % environ. A l'étage inférieur, l'impact des températures est exactement inverse. Pour les appartements ou villas avec des doubles hauteurs allant sur trois étages ou plus, il est impossible de dimensionner les BAN qui permettraient

de garantir des apports d'air réguliers sur toute l'année.

Les pressions nominales mentionnées ci-dessus s'appliquent en particulier au type «extraction d'air avec régime continu». La norme ne donne pas d'indications spécifiques pour le type «extraction d'air avec régime

marche/arrêt». Nous recommandons dans ce cas de doubler les valeurs de la SIA 382/5.

Le débit d'air repris transporté de manière mécanique $q_{v,REP}$ est égal à la somme des débits d'air neuf passant par toutes les BAN $\sum q_{v,BAN}$ et des infiltrations $q_{v,inf}$:

$$q_{v,BAN} = \sum q_{v,BAN} + q_{v,inf} \quad (7.1)$$

Si la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment est connue, l'infiltration peut être calculée par la formule:

$$q_{v,inf} = q_{a,50} \cdot A_{inf} \cdot \left(\frac{\Delta P}{50} \right)^{0,6} \quad (7.2)$$

avec $q_{a,50}$, débit de fuites d'air pour une pression différentielle de 50 Pa, A_{inf} , surface d'enveloppe de l'appartement

En cas de doubles hauteurs allant sur deux étages au maximum, les installations simples d'air repris sont possibles sans mesures spéciales. Au-delà, des portes étanches à l'air sont nécessaires entre les étages.

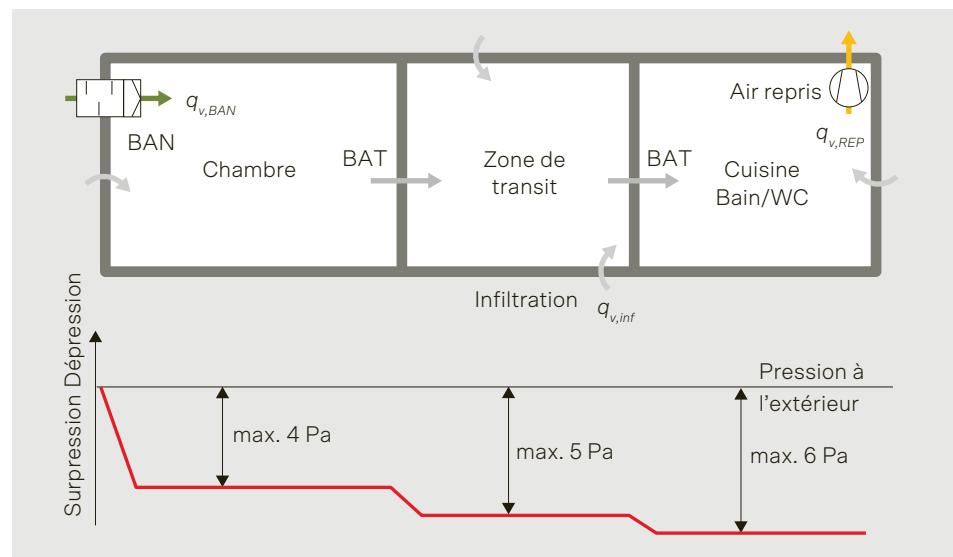


Figure 7.1: Débits d'air et conditions de pression pour une installation d'air repris avec régime continu.

- Air neuf
- Air repris
- Air intérieur/air transféré

en m^2 et Δp , dépression moyenne dans l'appartement en Pa.

Le graphe de la figure 7.2 donne les valeurs indicatives d'infiltration pour une dépression moyenne de 4 Pa et différentes perméabilités à l'air de l'enveloppe, ceci en fonction de la surface habitable (valable pour appartements sur un ou deux étages et pour villas). Les valeurs ont été calculées pour des bâtiments parallélépipèdes avec un rapport longueur – profondeur compris entre 1 et 3 et une hauteur sol-plafond de 2,8 m. Le graphe comporte d'une part les courbes pour constructions nouvelles et assainissements sur la base des valeurs cibles de la norme SIA 180, de l'autre une courbe pour un bâtiment Minergie-P typique. Minergie-P n'exige certes que le respect de la valeur cible de la SIA. Les bâtiments Minergie-P sont en réalité beaucoup plus étanches, ce qui oblige à dimensionner les installations simples

d'air repris sur la base d'une valeur environ un tiers supérieure à la valeur cible de la SIA.

D'une manière générale, il faut partir du principe que l'infiltration n'est pas supérieure à la valeur cible de la norme SIA 180. Les BAN et le ventilateur d'extraction peuvent être dimensionnés à partir des formules 7.1 et 7.2 ou des valeurs du graphe présenté sur la figure 7.2.

Remarque à propos de la SIA 382/5: à la place de l'infiltration $q_{v,inf}$ la norme utilise le facteur f pour le dimensionnement. Ce facteur correspond au rapport entre le débit d'air repris et la somme de tous les débits d'air neuf passant par toutes les BAN. Cependant, il ne s'applique qu'aux installations de type «ventilation par mise en dépression du logement» et ses présupposés se limitent aux appartements typiques. En raison de sa validité restreinte, le facteur f n'est pas utilisé dans le présent livre.

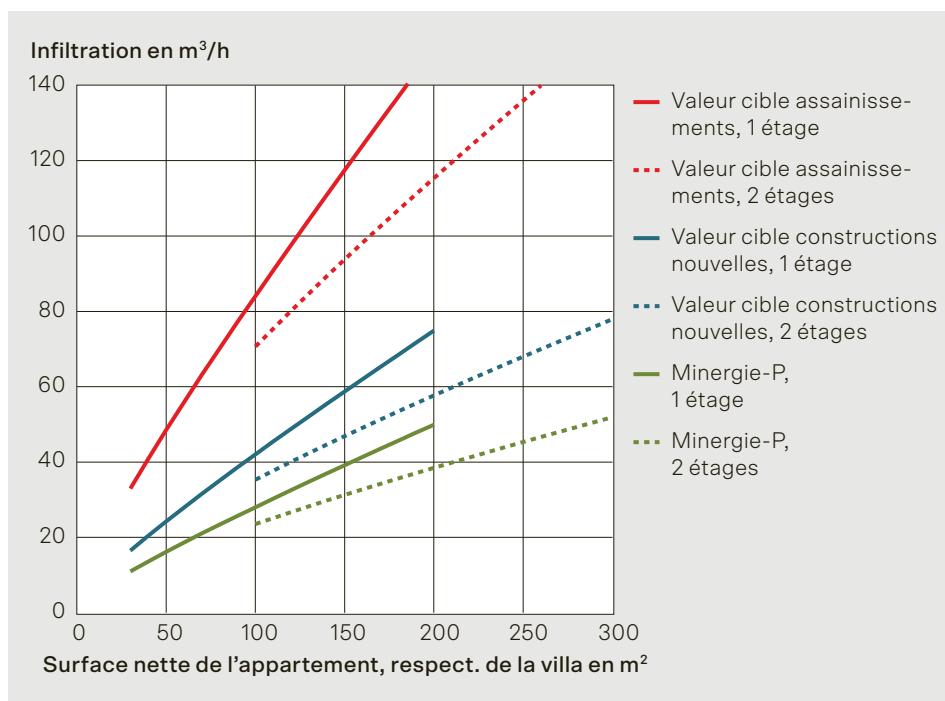


Figure 7.2: Appartements et villas d'un ou de deux étages: valeurs indicatives pour l'infiltration à une dépression de 4 Pa pour différents niveaux de perméabilité à l'air de l'enveloppe, en fonction de la surface nette.

Tableau 7.2: Extraction d'air avec régime marche/arrêt: dépression pour dimensionner les bouches d'air neuf.

Positionnement des BAN	BAN à dimensionner pour une dépression de
BAN directement dans le local d'air repris	12 Pa
Une porte, respectivement une bouche d'air transférée entre la BAN et le local d'air repris	10 Pa
Deux portes (en série), respectivement deux bouches d'air transférées (en série) entre la BAN et le local d'air repris	8 Pa

7.3 Dimensionnement des débits d'air

Ventilation d'un local, régime marche/arrêt

Les débits minimaux d'air repris sont déterminés à l'aide du tableau 3.2, colonne «marche/arrêt selon les besoins». La dépression dépend de l'emplacement des BAN (voir figure 7.1), diverses valeurs sont listées au tableau 7.2.

L'infiltration peut être déterminée avec la formule 7.2 ou la figure 7.2 en multipliant la valeur issue de la figure par 1,5.

Il arrive souvent que l'utilisation de la formule 7.2 aboutisse à la suppression de la BAN, en particulier en cas d'assainissements, mais aussi de logements neufs avec une seule salle bain. Il est cependant vivement conseillé de dimensionner les BAN au moins à 50 % du débit d'air repris, ceci pour les raisons suivantes:

d'une part, si les fuites sont réparties de manière défavorable, l'air de remplacement pourrait affluer quasiment entièrement par les appartements attenants, la cage d'escalier, la cave, etc., d'autre part, la valeur précise de la perméabilité à l'air est rarement connue. Par ailleurs, si les BAN ne sont pas positionnées directement dans les locaux d'air repris, les bouches d'air transféré sont à dimensionner au débit total d'air repris.

Pour la durée de temporisation, la norme SIA 382/5 prescrit un fonctionnement des ventilateurs prolongé après le signal d'arrêt au moins jusqu'au renouvellement complet du volume d'air du local (1 renouvellement). Attention, ce volume d'air repris ne permet pas d'assurer la protection contre l'humidité. Ce point est à vérifier en tenant compte des installations et mesures aérauliques pour tout l'appartement.

Exemple de calcul 7.1: dimensionnement des BAN en cas de régime marche/arrêt

Un nouvel appartement de 4 pièces d'une surface nette de 110 m² dispose de deux salles de bain équipées de ventilateurs d'extraction commandés selon les besoins. Selon le tableau 3.2, le débit d'air minimal est de 50 m³/h par salle de bain. Pour des raisons de confort, le maître d'ouvrage opte pour 60 m³/h par salle de bain, donc 120 m³/h si les deux ventilateurs sont en marche. Quel est le dimensionnement des BAN?

Selon la figure 7.2, l'infiltration est de 46 m³/h avec la valeur cible pour constructions nouvelles (dépression de 4 Pa). Ce chiffre multiplié par 1,5 (étant donné que les BAN sont dimensionnées à une dépression de 10 Pa environ) donne 69 m³/h qui sont arrondis à 70 m³/h. La conversion de la formule 7.1 donne:

$$\Sigma q_{v,BAN} = q_{v,BAN} - q_{v,int} = 120 \text{ m}^3/\text{h} - 70 \text{ m}^3/\text{h} = 50 \text{ m}^3/\text{h}$$

Avec ce résultat, le critère selon lequel au moins 50 % de l'air neuf passe à travers les BAN ne serait pas rempli. Les BAN sont dimensionnées de ce fait pour 60 m³/h. Afin de réduire le risque de courant d'air, ce débit d'air neuf est réparti sur deux BAN, garantissant chacune un débit de 30 m³/h. En cas de positionnement dans la zone de transit, la dépression de dimensionnement est de 10 Pa. Les bouches d'air transférées entre la zone de transit et les salles de bain sont dimensionnées à 60 m³/h chacune ce qui correspondrait à une fente de 15 mm sous les portes (figure 3.19).

Chaque salle de bains présente un volume de 25 m³. La durée de temporisation des ventilateurs est ainsi de 25 minutes. Ce résultat permet de déduire que chaque ventilateur fonctionne deux heures par jour. Le débit moyen journalier d'air repris s'élève ainsi à 5 m³/h. De toute évidence, la protection contre l'humidité n'est ainsi pas encore garantie.

Ventilation d'un local, régime continu

Les débits minimaux d'air repris sont déterminés à l'aide du tableau 3.2, colonne «fonctionnement continu». Les BAN sont dimensionnées à une dépression de 4 Pa. L'infiltration est déterminée à l'aide de la formule 7.2 ou du graphe 7.2. Comme auparavant pour les installations avec régime marche/arrêt, au moins 50 % de l'air de remplacement doit affluer à travers les BAN. Si les BAN ne sont pas positionnées directement dans les locaux d'air repris, les bouches d'air transférées de ceux-ci doivent être dimensionnées pour le débit total d'air repris. Par analogie au dimensionnement des installations d'air repris ventilant l'entier du logement, il faut vérifier si la protection contre l'humidité est garantie et si

l'humidité minimale exigée de l'air intérieur est respectée (voir ci-dessous).

Les installations pour locaux d'extraction d'air ont été étudiées en 2020 dans le cadre du projet FENLEG [1] mené par les hautes écoles FHNW et HSLU. Il en est ressorti – tout comme de l'exemple ci-après – que ces installations permettent d'atteindre une ventilation de base pour l'ensemble de l'appartement. Cependant, elles ne parviennent pas à garantir la qualité de l'air intérieur exigée par la norme SIA 382/5.

Ventilation du logement

Si une installation simple d'air repris doit à la fois évacuer la pollution de l'air des locaux d'air repris et fournir un débit d'air suffisant pour garantir la qualité de l'air à

Exemple de calcul 7.2: dimensionnement des BAN en cas de régime continu

L'extraction d'air avec régime marche/arrêt de l'appartement 4 pièces à l'exemple 7.1 est cette fois-ci dimensionnée pour un fonctionnement continu. Le tableau 3.2 indique un débit minimal d'air repris de 30 m³/h par salle de bain, valeur qui est reprise telle quelle par le maître d'ouvrage. La conversion de la formule 7.1 donne:

$$\Sigma q_{v,BAN} = q_{v,BAN} - q_{v,int} = 60 \text{ m}^3/\text{h} - 46 \text{ m}^3/\text{h} = 14 \text{ m}^3/\text{h}$$

De nouveau, le critère selon lequel au moins 50 % de l'air neuf passe à travers les BAN ne serait pas rempli. Pour cette raison, le débit total des BAN est dimensionné à 30 m³/h.

Afin de réaliser une ventilation de base pour l'entier de l'appartement, une BAN est placée dans chaque chambre à coucher, dimensionnée à 10 m³/h pour une dépression de 4 Pa. A cette dépression, l'infiltration est estimée à environ 46 m³/h et il n'est pas garanti que 10 m³/h affluent effectivement par chaque BAN. Par conséquent, il faut les redimensionner selon le type «ventilation par mise en dépression du logement» (voir exemple de calcul 7.3), si tel est l'objectif.

Les bouches d'air transférées entre la zone de transit et les salles de bain sont à dimensionner chacune à 30 m³/h ce qui correspond à une fente de 7 mm sous les portes.

Avec une occupation de trois personnes, le débit d'air repris est de 20 m³/h par personne. Selon la figure 2.2, la protection contre l'humidité est ainsi assurée. Sur le Plateau suisse, avec la même occupation et des températures extérieures en dessous de 2 °C environ, il faut partir du principe que le taux d'humidité de l'air intérieur est inférieur à 30 %. Il n'est probablement pas possible de respecter l'humidité minimale de l'air intérieur sans mesures complémentaires étant donné qu'il faut ventiler en sus les chambres à coucher en raison de la qualité de l'air intérieur. La notice d'utilisation et les instructions aux utilisateurs doivent ainsi mentionner qu'il est judicieux de surveiller l'humidité de l'air intérieur et d'utiliser ponctuellement un humidificateur si l'appartement est occupé par trois ou moins de trois personnes.

Exemple de calcul 7.3: dimensionnement des BAN pour une installation d'air repris du logement

Une installation d'air repris est à dimensionner pour l'appartement de l'exemple d'installation 3.1, «Glatt 1». Les hypothèses sont les mêmes que celles de l'exemple 6.1 pour le dimensionnement de l'aération douce, à la différence près que la

récupération d'humidité n'est pas possible avec une installation d'air repris.

L'appartement a une surface nette de 80 m². La perméabilité à l'air de l'enveloppe correspond à la valeur cible pour constructions nouvelles.

Etape	Description/remarque	Débit d'air en m ³ /h		
		BAN	Infil-trat.	Air repris
1	Débit minimal d'air fourni 3 chambres à air fourni de 30 m ³ /h chacune	90	–	–
2	Infiltration Valeur indicative selon le graphe 7.2: 35 m ³ /h	–	35	–
3	Débit minimal d'air repris Selon le tableau 3.2: salle de bain 30 m ³ /h, cuisine 20 m ³ /h	–		50
4	Débit déterminant d'air repris de l'appartement – Débit minimal d'air fourni plus infiltration: 125 m ³ /h – Débit minimal d'air repris: 50 m ³ /h – Valeur minimale selon la SIA382/5: 50 m ³ /h	–	125	
5	Débit déterminant d'air neuf affluant par les BAN Valeur de l'étape 4 moins valeur de l'étape 2	90		
6	Estimation de la protection contre l'humidité et mesures à prendre Avec une occupation de 3 personnes, le débit d'air déterminé à l'étape 4 donne un débit de 42 m ³ /h par personne. Selon les indications du graphe 2.2 pour les valeurs météo de Zurich, la protection contre l'humidité exigée est remplie pendant toute l'année. Aucune mesure n'est nécessaire. Il n'est pas nécessaire d'augmenter le débit d'air.	90	35	125
7	Estimation de l'humidité minimale de l'air intérieur et mesures à prendre Avec une occupation de deux personnes, le débit d'air de l'étape 4 est de 63 m ³ /h par personne. Selon les indications du graphe 2.2 pour les valeurs météo de Zurich, l'humidité minimale de l'air intérieur de 30% n'est plus atteinte lors de températures extérieures en dessous de + 4 °C environ. La durée avec une valeur inférieure, admise à 10% au maximum du temps d'utilisation, n'est probablement pas respectée. Mesures à prendre: dans le manuel d'utilisation et lors de l'instruction; bien préciser le fonctionnement de l'installation et insister sur l'apport d'humidité supplémentaire éventuellement nécessaire (p. ex. humidificateur).	90	35	125
8	Répartition du débit sur les locaux Débit d'air à travers les BAN par chambre 30 m ³ /h Débit d'air repris salle de bain 60 m ³ /h, cuisine 65 m ³ /h Remarque: les bouches d'air transféré doivent être prises en compte (une fente de 7 mm est insuffisante)	90	35	125

Tableau 7.3: Exemple de calcul du débit déterminant d'air pour une installation d'air repris avec le principe «cascade».

Discussion des variantes

Si les exigences de confort sont moindres, le principe «mélange avec circulation naturelle de l'air par les portes ouvertes» peut être proposé. Dans ce cas, le débit minimal d'air affluant par les BAN est de 60 m³/h et le débit déterminant d'air repris de 95 m³/h. Il reste possible de positionner les BAN dans les chambres. Une BAN de 20 m³/h est retenue par chambre. La protection contre l'humidité

est garantie jusqu'à une température extérieure de + 10 °C. A partir de températures extérieures plus élevées, le régime continu est recommandé. La problématique de l'humidité de l'air intérieur trop basse est moins aiguë. Toutefois, le manuel d'utilisation devrait rendre attentif au recours possible à des humidificateurs, si nécessaire.

l'ensemble du logement, les débits d'air des locaux sont déterminés en huit étapes:

1. Les débits minimaux d'air neuf affluant par les BAN sont déterminés en fonction du principe de la circulation de l'air. Le principe «cascade» entre typiquement en ligne de compte, le principe «mélange avec circulation naturelle de l'air» est aussi imaginable.
2. L'infiltration est déterminée selon la formule 7.2 ou le graphe 7.2.
3. Le débit minimal d'air repris est égal à la somme des débits minimaux d'air repris par local ventilé. Le besoin d'éventuels locaux secondaires et annexes alimentés par la même installation est additionné.
4. Le débit déterminant d'air repris du logement correspond à la valeur la plus élevée des trois possibilités suivantes:
 - Somme des débits minimaux d'air neuf affluant par les BAN plus l'infiltration.
 - Débit minimal d'air repris.
 - Valeur minimale pour l'ensemble du logement selon la norme SIA 382/5.
5. Le débit déterminant d'air neuf affluant par les BAN est égal au débit déterminant d'air repris moins l'infiltration.
6. La protection contre l'humidité en hiver est contrôlée de manière estimative. Si nécessaire, le débit d'air est augmenté. Les mesures sont définies afin de remplir les exigences de protection contre l'humidité pendant toute l'année.
7. Les conditions auxquelles l'humidité minimale exigée de l'air intérieur est effective sont estimées. Des mesures nécessaires au respect de ces exigences sont définies. Si le débit d'air doit être réduit, il faut retourner à l'étape 1.
8. Le débit déterminant d'air neuf affluant par les BAN et le débit déterminant d'air repris sont répartis entre tous les locaux.

Les conditions concernant le concept de l'installation, la protection contre l'humidité et l'humidité minimale de l'air intérieur sont les mêmes que pour l'aération douce (voir point 6.1).

7.4 Commande/régulation et réglage

La durée de temporisation est à prendre en compte s'il s'agit d'une ventilation d'un seul local avec régime marche/arrêt (voir point 7.3). Sinon, les exigences et recommandations sont les mêmes que pour l'aération douce. Les règles de protection incendie du point 1.8 s'appliquent. Une commande selon besoins ou une régulation est en général une solution judicieuse.

7.5 Configuration des installations d'air repris

Installation d'air repris d'un local avec air rejeté séparément

Le concept de ce type d'installation est adapté aux locaux avec régime marche/arrêt pour lesquels une conduite courte d'air repris est possible, par exemple sous forme d'une bouche d'air rejeté en façade. À cet effet, des ventilateurs axiaux compacts et peu coûteux sont souvent utilisés. Ces installations ont l'avantage de quasiment exclure la transmission de bruit et d'odeurs entre locaux où l'air est repris et appartements. Le niveau sonore des ventilateurs d'extraction peut être un inconvénient, surtout avec des durées importantes de temporisation. Par ailleurs, chaque bouche d'air rejeté constitue un pont de froid.

Installation d'air repris à conduite unique

Dans ce cas, tous les locaux d'air repris sont équipés de leurs propres ventilateurs raccordés à une conduite commune d'air repris. La pression dynamique nécessaire implique le recours à des ventilateurs radiaux. Les appareils sont équipés de filtres et de clapets anti-retour étanches. Il est possible de faire fonctionner les ventilateurs à un seul ou à plusieurs régimes.

En fonction du niveau sonore et de la durabilité du ventilateur, le fonctionnement continu est envisageable. L'utilisation d'une pompe à chaleur côté air repris est

possible. L'aptitude au fonctionnement continu doit toutefois être expressément confirmée par le fournisseur des ventilateurs.

Lors du dimensionnement de la conduite d'air repris, une simultanéité de la prise en compte des locaux où l'air est repris peut être admise. Etant donné que cet aspect n'est pas normé en Suisse, les indications du fournisseur sont à respecter. Un schéma de ce type d'installation – sans PAC air repris – se trouve à la figure 7.3.

Installation individuelle d'air repris

Un seul ventilateur d'extraction évacue l'air repris de tout le logement. Ce type d'installation est judicieux si la ventilation de l'appartement en entier est prévue en régime continu.

Une PAC air repris pour la production d'eau chaude est une option possible.

Il existe sur le marché des appareils dits multifonctions, intégrant ventilateur d'extraction, filtre, PAC, réservoir d'eau chaude et commande. C'est une solution possible pour une villa existante, s'il s'agit de remplacer un chauffe-eau électrique et de réaliser une ventilation.

Installation collective d'air repris

Un seul ventilateur d'extraction évacue l'air repris de plusieurs appartements. En fonction de la taille de l'installation et de la commande/régulation, le modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC) prescrit une PAC air repris (voir point 4.2). À l'instar de l'installation individuelle d'air repris, la PAC chauffe l'eau chaude sanitaire avec la chaleur de l'air repris. Le chauffage des locaux est également partiellement pris en charge. Cette solution est schématisée à la figure 7.3.

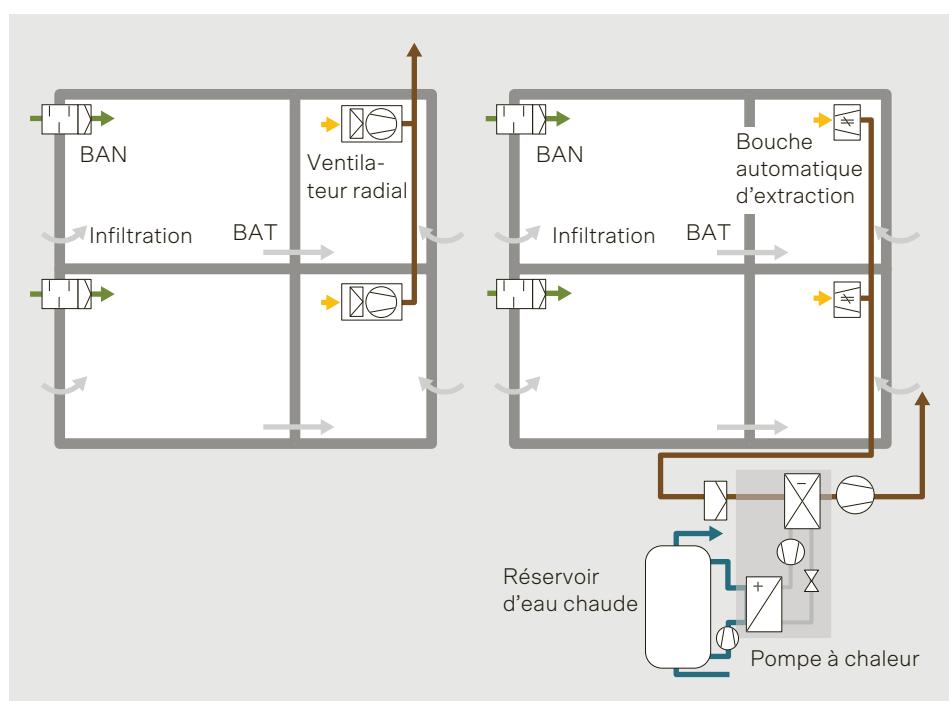


Figure 7.3: Installation d'air repris à conduite unique (à gauche) et installation collective d'air repris avec PAC air repris (à droite).

■ Air extérieur
■ Air repris
■ Air rejeté
■ Air transféré
(BAN: bouche d'air neuf, BAT: bouche d'air transférée)

Désignation selon le règlement UE 1254/2014	Valeur recommand.	Classe recommand. par la norme SN EN 13142
Classe de consommation d'énergie spécifique	C	
Puissance absorbée spécifique (en français et anglais SPI)	$\leq 0,10 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{h})$ resp. $\leq 360 \text{ W}/(\text{m}^3/\text{s})$	$\leq \text{SPI } 1$
Taux de fuites externes (à 250 Pa)	$\leq 7\%$	$\leq \text{A2}$
Sensibilité du débit d'air à $\pm 20 \text{ Pa}$	$\leq 20\%$	$\leq \text{S2}$

Tableau 7.4: Caractéristiques de performance recommandées des appareils de ventilation pour installations d'air repris des unités résidentielles (UVR) selon le règlement UE 1254/2014 et classes recommandées par la norme SN EN 13142:2021.

Si les exigences de confort sont moindres, un fonctionnement continu à régime fixe est envisageable. Si elles sont usuelles ou élevées, les locaux d'air repris sont équipés de régulateurs simples de débit d'air. Ces bouches automatiques d'extraction permettent la plupart du temps deux régimes, à savoir une ventilation de base et une ventilation régulée à la demande. Elles sont soit commandées manuellement ou par programme horaire (temporisation), soit régulées en fonction de l'humidité. Pour ce type d'installation, il est primordial de prendre en compte la question de la transmission de bruit entre locaux d'air repris des différents appartements.

Appareils de ventilation pour installations d'air repris

Selon l'ordonnance suisse sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique (OEEE), le marquage des appareils de ventilation doit être conforme au règlement UE 1254/2014. Celui-ci précise à son tour que le fournisseur doit indiquer, entre autres, les caractéristiques de performance selon le tableau 7.4. Pour les installations avec régime continu, il est judicieux d'utiliser la valeur recommandée de la colonne de gauche du tableau 7.3, soit la classe de performance recommandée de la colonne de droite. Pour les installations avec régime marche/arrêt, une classe supérieure (p.ex. SPI 2 au lieu de SPI 1) est acceptée étant donné les durées de fonctionnement réduites, ce qui correspond à des valeurs 50 % plus élevées.

La sensibilité du débit d'air est traitée avec les appareils VPL (ventilation par local). Les recommandations pour les appareils avec PAC air repris se trouvent au point 9.10.

7.6 BAN traversant l'enveloppe

Le confort et l'utilité d'une installation d'air repris dépendent en grande partie de la qualité, du dimensionnement et du positionnement des BAN.

Dimensionnement par rapport aux flux d'air

Les conditions de pression et les débits d'air de l'ensemble de l'installation sont traités au point 7.3. Il s'agit ici de déterminer les types et le nombre de BAN de manière à ne pas dépasser la perte de pression exigée lors du débit d'air requis avec des filtres propres.

Certains fournisseurs mettent à disposition des diagrammes pour déterminer le point de dimensionnement. D'autres ne donnent que le débit d'air pour une perte de pression déterminée. Dans ce cas, une conversion est nécessaire. La formule 7.3 permet de calculer le débit d'air d'une BAN au régime normal planifié:

$$q_{v,BAN,N} = q_{v,BAN,m} \cdot \left(\frac{\Delta p_N}{\Delta p_m} \right)^n \quad (7.3)$$

L'indice $q_{v,BAN,m}$ est le débit d'air neuf au point de mesure selon indications du fournisseur, Δp_N la perte de pression de la BAN au régime normal et Δp_m la perte de pression au point de mesure selon in-

Exemple de calcul 7.4: dimensionnement des BAN en fonction de la perte de charge

Pour une pièce, un débit d'air neuf de 30 m³/h affluant par les BAN est demandé au régime normal et à une dépression de 4 Pa. Selon les indications du fournisseur, la BAN choisie provoque à un débit d'air de 25 m³/h une perte de pression de 10 Pa. Selon la formule 7.3, le débit d'air neuf affluant par la BAN au régime normal est de:

$$q_{v,BAN,N} = 25 \text{ m}^3/\text{h} \cdot (4 \text{ Pa}/10 \text{ Pa})^{0,55} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$$

Il en découle que chaque chambre doit être munie de 2 BAN si ce produit est choisi.

dications du fournisseur. Si les indications du fournisseur font défaut, l'indice n est arrêté à 0,55.

Filtres

La norme SIA 382/5 exige des filtres air fourni de la classe ISO ePM1 50% (F7). Cette classe de filtre n'est pas exigée pour les BAN si l'air extérieur est propre, à savoir, si les valeurs limites d'immission de l'ordonnance sur la protection de l'air (OPair) sont respectées. Les conditions suivantes doivent de plus être remplies:

- L'encaissement des BAN est facile à identifier par des non-spécialistes.
- L'accès aux éléments sales est possible sans outils ni échelle.
- Les utilisateurs/résidents parviennent à nettoyer les composants encaissés avec des moyens simples (chiffon et eau) et sans outils.
- Les résidents sont instruits et munis d'un mode d'emploi au sujet du nettoyage.

Si tous ces points sont respectés, la norme SIA 382/5 exige toujours un filtre de la classe ISO ePM10 50% (M5). Comparée aux anciennes exigences de la SIA 2023 et à celles de normes étrangères, cette exigence est très élevée. Il y a très peu de types de BAN qui la remplissent.

Confort thermique

Dans le cadre du projet ENABL [1], le flux d'air intérieur et le confort thermique générés par les BAN ont été étudiés de manière approfondie. Les conclusions

peuvent être résumées de la manière suivante:

- Un flux d'air projeté parallèlement à la paroi et une BAN placée dans sa partie supérieure génèrent en général moins de courants d'air. Cet effet est encore renforcé si la BAN se trouve au-dessus d'un radiateur.
- Les éléments posés au-dessus de la BAN, par exemple des planches pour la fixation de rideaux, augmentent le risque de courants d'air si elles dévient le flux d'air froid vers le centre du local.
- Un flux d'air projeté horizontalement est défavorable au confort thermique, car l'air fourni, froid, pénètre dans la zone de séjour. Dans ce cas de figure, un radiateur renforce les courants d'air, car l'air chaud ascendant transporte l'air neuf et froid au milieu de la pièce.
- Les BAN positionnées derrière des rideaux réduisent le risque de courants d'air de manière considérable. Il arrive que des rideaux clairs soient salis par le flux d'air, notamment si un filtre adéquat fait défaut.

La figure 7.4 montre les emplacements favorables et défavorables pour les BAN. Dans le cadre du projet FENLEG [2], un sondage auprès des utilisateurs au sujet des installations d'air repris a montré que moins de courants d'air sont signalés dans les appartements avec radiateurs que dans les appartements avec chauffage au sol. Plusieurs fabricants renommés ont étudié leurs produits par rapport au risque de courants d'air et sont en

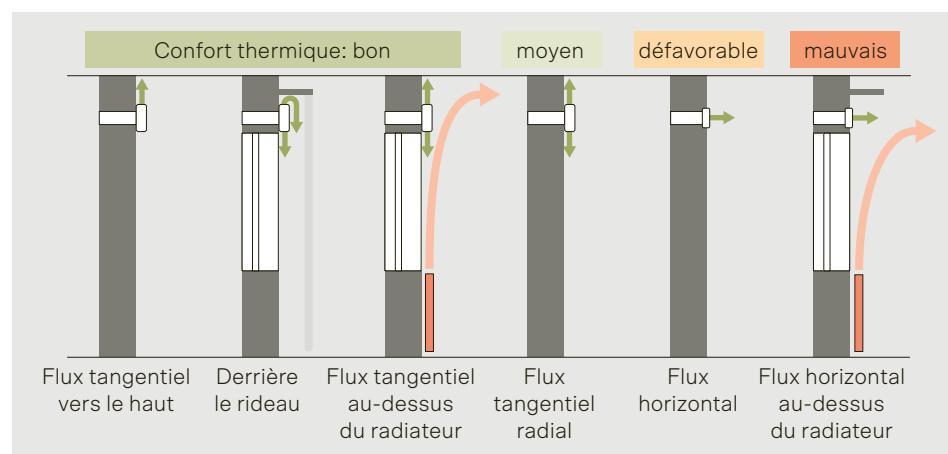


Figure 7.4: Dispositions éprouvées et problématiques de différents types de bouches d'air neuf.

mesure de fournir des informations détaillées pour la planification et la pose.

Dimensionnement acoustique

Les BAN affaiblissent la protection acoustique contre le bruit extérieur. Les exigences de la norme SIA 181, chiffre 3.1, doivent néanmoins être respectées. En cas de nuisances sonores faibles à modérées (nuit $L_r = 52$ dB, jour $L_r = 60$ dB), l'exigence minimale est remplie si $D_e = 27$ dB. Les exigences accrues sont à chaque fois de 3 dB plus élevées. En cas de nuisances sonores importantes à très fortes, les exigences minimales à remplir sont les suivantes: la nuit $D_e = L_r - 25$ dB, le jour $D_e = L_r - 33$ dB. Les valeurs D_e indiquées ci-dessous sont valables pour une sensibilité moyenne au

bruit des locaux, par exemple pour les séjours et chambres à coucher. Deux exigences doivent être remplies:

Exigence 1: la valeur de projet (pour l'isolement aux bruits aériens en provenance de sources extérieures) $D_{e,d}$ ne doit pas être inférieure à la valeur d'exigence D_e :

$$D_{e,d} = D_{45^\circ,nT,w} + C_{tr} - K_P \geq D_e \quad (7.4)$$

Exigence 2: l'indice d'affaiblissement acoustique pondéré des éléments de façade y compris la valeur d'adaptation du spectre doit être de 5 dB supérieure à la valeur exigée D_e :

$$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res} \geq D_e - 5 \text{ dB} \quad (7.5)$$

$$D_{45^\circ,nT,w} + C_{tr} = (R'_{w,S} + C_{tr,S}) - 10 \cdot \lg \left\{ \frac{T_0}{V \cdot 0,163} \cdot [S + A_0 \cdot 10^{0,1 \cdot [(R'_{w,S} + C_{tr,S}) - (D_{n,e,w} + C_{tr,BAN})]}] \right\} \quad (7.6)$$

$$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res} = (R'_{w,S} + C_{tr,S}) - 10 \cdot \lg \left\{ 1 + \frac{A_0}{S} \cdot 10^{0,1 \cdot [(R'_{w,S} + C_{tr,S}) - (D_{n,e,w} + C_{tr,BAN})]} \right\} \quad (7.7)$$

$R'_{w,S}$	Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de l'enveloppe du bâtiment (paroi, fenêtre, toiture) sans BAN en dB
$C_{tr,S}$	Valeur d'adaptation du spectre de l'enveloppe du bâtiment sans BAN en dB
T_0	Temps de réverbération de référence, $T_0 = 0,5$ s
V	Volume net du local en m^3
S	Surface de l'enveloppe y compris BAN en m^2
A_0	Aire d'absorption équivalente de référence, $A_0 = 10 \text{ m}^2$
$D_{n,e,w}$	Isolation acoustique pondérée, rapporté aux surfaces d'absorption de la BAN en dB
$C_{tr,BAN}$	Valeur d'adaptation du spectre de la BAN

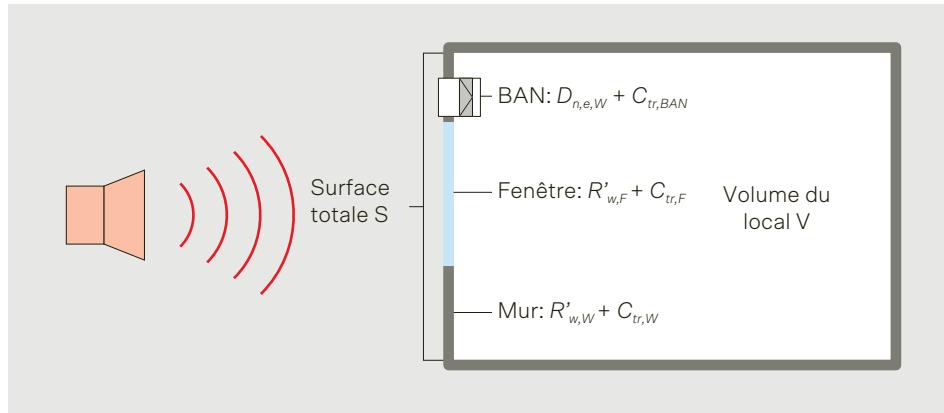


Figure 7.5: Affaiblissement de l'isolation acoustique de l'enveloppe du bâtiment par une BAN.

Exemple de calcul 7.5: justification de protection contre le bruit avec deux BAN

Une chambre à coucher a une surface de 12 m² et une hauteur 2,5 m (volume net 30 m³). La surface totale de la paroi extérieure est de 8 m², dont 1,9 m² occupée par la fenêtre. La paroi en briques a une valeur ($R'_{w,w} + C_{tr}$) de 55 dB.

La BAN choisie présente les valeurs acoustiques suivantes:

- Isolement acoustique pondéré d'un élément (rapporté aux surfaces d'absorption) $D_{n,e,w} = 36$ dB
- Valeur d'adaptation du spectre $C_{tr,BAN} = -1$ dB

Pour que les 30 m³/h exigés affluent, deux BAN sont nécessaires. La valeur $D_{n,e,w}$ est par conséquent réduite de 3 dB.

Le tableau 7.5 présente la justification selon les formules 7.4 à 7.7. Deux cas de figure sont évalués:

- a) emplacement calme, vieille fenêtre
- b) emplacement bruyant, nouvelle fenêtre antibruit

En outre, ce tableau précise, si, selon la norme SIA 181, seule l'exigence minimale est remplie ou si l'exigence accrue l'est aussi.

Résultat: un emplacement calme permet de respecter l'exigence minimale de protection contre le bruit provenant de l'extérieur. Dans tous les autres cas, compte tenu du type donné de BAN, les exigences de la norme SIA 181 ne sont pas respectées.

L'isolement acoustique d'une enveloppe est amoindri de manière considérable par les BAN: il diminue de 7 dB à un emplacement calme, voire jusqu'à 14 dB à un emplacement bruyant. Si la pose des BAN est effectuée après le remplacement des fenêtres, il faut s'attendre à des réclamations. Cet exemple démontre que les installations d'air repris peuvent être problématiques à des emplacements bruyants. Les valeurs $D_{n,e,w}$ présupposées ici correspondent à des produits de qualité acoustique médiocre. Le recours à des BAN avec une valeur ($D_{n,e,w} + C_{tr}$) de 42 dB rendrait possible le respect des exigences minimales de la norme SIA 181 à l'emplacement bruyant également. Avec ce type de BAN de haute qualité acoustique, l'isolement acoustique diminuerait de 3 dB à l'emplacement calme, ce qui est acceptable. A l'emplacement bruyant, elle diminuerait de 8 dB ce qui reste toujours considérable. Bien que l'exigence minimale soit remplie, ce résultat serait fort probablement toujours insatisfaisant pour les habitants.

Description	Indice	Unité	Emplacement calme		Emplacement bruyant	
			Exigence		Exigence	
			Minim.	Accr.	Minim.	Accr.
Bases						
Nuisances sonores nocturnes	L_r	dB	52		60	
Valeur d'exigence	D_e	dB	27	30	35	38
Supplément de projet	K_p	dB	2		2	
Enveloppe sans BAN						
Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de la fenêtre	$R'_{w,F} + C_{tr,F}$	dB	31,0		40,0	
Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de l'enveloppe sans BAN	$R'_{w,S} + C_{tr,S}$	dB	37,0		45,6	
BAN						
Isolement acoustique pondéré de 2 BAN (rapporté aux surfaces d'absorption)	$D_{e,n,w} + C_{tr,BAN}$	dB	32,0		32,0	
Exigence 1 (éq. 7.4)						
Isolement acoustique normalisé pondéré avec deux BAN	$D_{45^\circ,T,w} + C_{tr}$	dB	30,9		31,8	
Valeur de projet	$D_{e,d} = D_{45^\circ,n,T,w} + C_{tr} - K_p$	dB	28,9		29,8	
Exigence 1 remplie?	$D_{e,d} \geq D_e$		oui	non	non	non
Exigence 2 (éq. 7.5)						
Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de l'enveloppe avec 2 BAN	$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res}$	dB	30,0		30,9	
Exigence 2 remplie?	$(R'_{45^\circ,w} + C_{tr})_{res} \geq D_e - 5 \text{ dB}$		oui	oui	oui	non

Tableau 7.5: Justification de protection contre le bruit pour une chambre avec deux BAN.

$D_{45^\circ,nT,w}$	Isolement acoustique normalisé pondéré de l'enveloppe en dB	$D_{n,e,w}$	Isolement acoustique normalisé pondéré des prises d'air neuf en dB (rapporté aux surfaces d'absorption).
C_{tr}	Valeur d'adaptation du spectre en dB	$C_{tr,BAN}$	Valeur d'adaptation du spectre de la BAN en dB
$R'_{45^\circ,w}$	Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré des éléments de façade en dB	$R'_{w,F}$	Indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré des fenêtres en dB
K_P	Supplément de projet en dB	$C_{tr,F}$	Valeur d'adaptation du spectre des fenêtres en dB
D_e	Valeur d'exigence en dB	S_F	Surface de fenêtres, en m^2

Le schéma de la figure 7.5 indique les grandeurs prises en compte pour le calcul de l'isolation acoustique normalisée pondérée de l'enveloppe $D_{45^\circ,nT,w}$. La somme de l'isolation acoustique normalisée pondérée de l'enveloppe et de la valeur d'adaptation du spectre correspond au résultat de la formule 7.6. La formule 7.7 permet de calculer l'indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré des éléments de façade y compris des BAN.

Recommandation et formule empirique

Pour que l'isolation acoustique normalisée pondérée pour l'enveloppe ne soit pas affaibli de plus de 2dB par les BAN, l'isolation acoustique normalisée pondérée (rapporté aux surfaces d'absorption) des BAN doit remplir l'exigence de la formule 7.8:

$$D_{n,e,w} + C_{tr,BAN} \geq (R'_{w,F} + C_{tr,F}) - 10 \cdot \lg(S_F) + 12 \text{ dB} \quad (7.8)$$

Indépendamment des résultats de la formule 7.8, la valeur $(D_{n,e,w} + C_{tr,BAN})$ de la BAN doit être de 38 dB au minimum. Si le fournisseur n'indique pas la valeur C_{tr} , la valeur par défaut, $C_{tr,BAN} = -3$ dB, est à utiliser.

La formule ci-dessus s'applique si une seule BAN se trouve dans le local. S'il y en a deux, la valeur $(D_{n,e,w} + C_{tr,BAN})$ de chacune doit être de 3 dB plus élevée.

Cette formule empirique pré suppose en plus que les valeurs $R'_{w,F}$ des parois et de la toiture sont de 15 dB plus élevées que celles des fenêtres. Elle ne remplace pas un justificatif de protection contre le bruit.

Exemple de calcul 7.6: estimation de l'affaiblissement acoustique à l'aide d'une règle empirique.

Une fenêtre de $2 m^2$ est posée dans une chambre. Elle a un indice d'affaiblissement acoustique apparent pondéré de $(R'_{w,F} + C_{tr}) = 32$ dB. Deux BAN sont prévues. La formule 7.8 donne:

$$D_{n,e,w} + C_{tr,BAN} \geq 32 \text{ dB} - 10 \cdot \lg(2) + 12 \text{ dB} = 41 \text{ dB}$$

Etant donné que deux BAN sont prévues, chacune doit présenter une valeur $D_{n,e,w} + C_{tr}$ de 44 dB au minimum.

Le fournisseur indique une valeur $D_{n,e,w}$ de 45 dB pour la BAN choisie, toutefois sans indication du $C_{tr,BAN}$. Avec $C_{tr,BAN}$ pré supposé à -3 dB, le résultat estimé est de $D_{n,e,w} + C_{tr,BAN} = 42$ dB. La recommandation n'est par conséquent pas remplie.

Si le choix de la BAN est maintenu, des indications détaillées du fournisseur et une vérification par un acousticien sont nécessaires.

7.7 Cas concret

Dans une étude de terrain commandée par la Conférence des services de l'énergie de Suisse orientale [3], les installations d'air repris de 13 appartements faisant partie de 5 lotissements différents ont été examinées. Les débits d'air ont été mesurés avant et après avoir remplacé les filtres et avoir nettoyé en tout 59 bouches d'air neuf et 34 bouches d'air repris.

Les filtres de 30 % des BAN avaient été remplacés une fois par année au moins. Le remplacement des filtres de la moitié des BAN datait de deux à trois ans et celui de 20 % des BAN de quatre ans et plus. Parmi les BAN restantes, certains filtres n'avaient pas encore été remplacés du tout depuis la mise en exploitation. La figure 7.6 indique à quels pourcentages les débits d'air exigés par la norme ont été atteints. Des valeurs de 100 % et

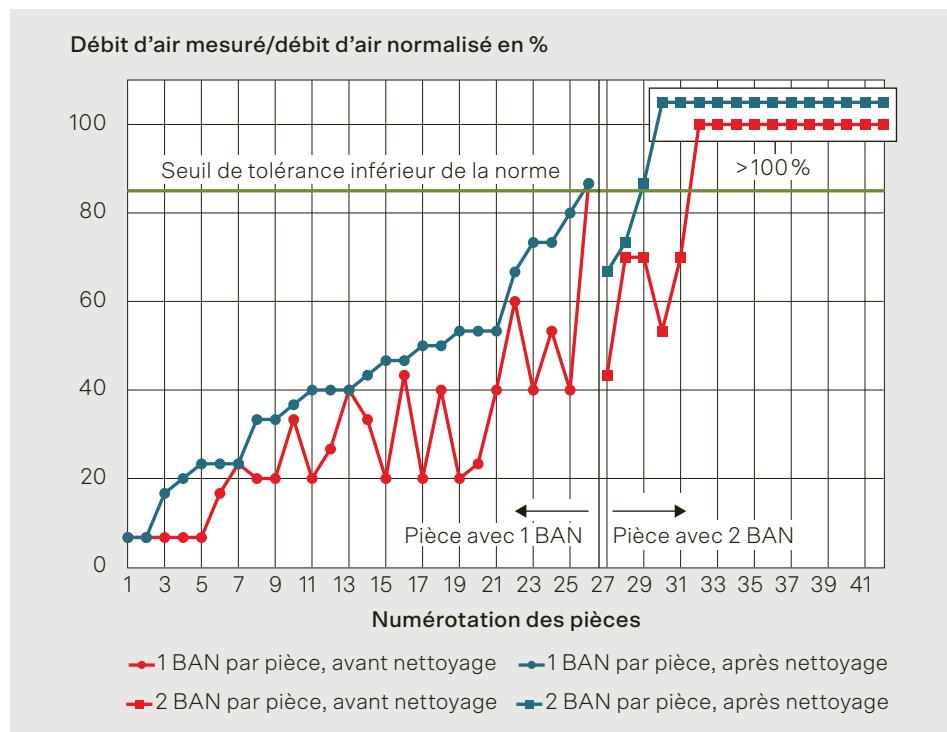


Figure 7.6: Débits d'air neuf affluant par les BAN, mesurés dans le cadre d'une étude de terrain [3]; les points représentent l'écart des valeurs mesurées avant/après nettoyage et par rapport aux valeurs exigées par la norme.

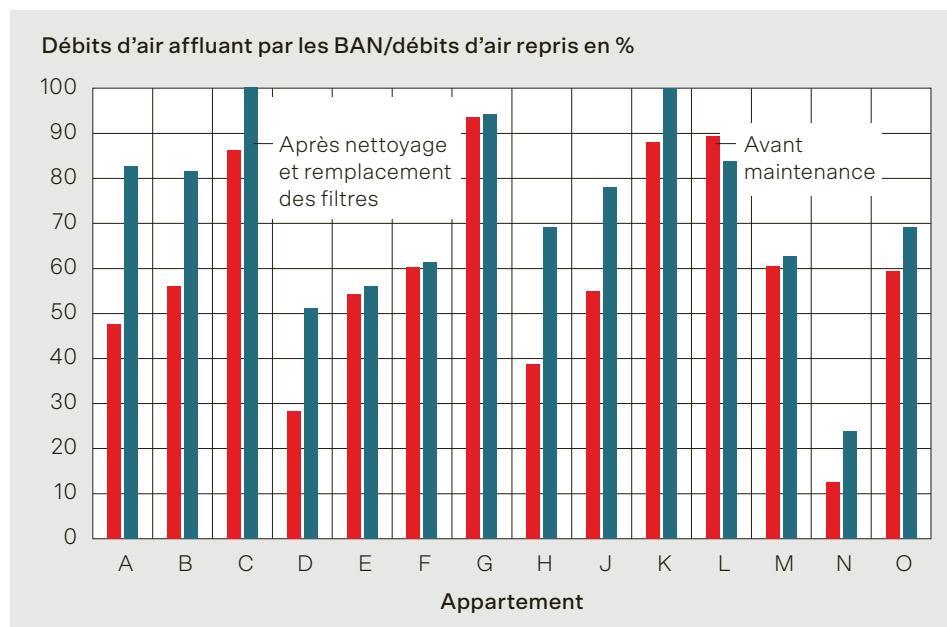


Figure 7.7: Rapport entre le débit d'air à travers les BAN et le débit d'air repris dans une étude de terrain [3], avant et après maintenance.

plus signifient que la norme est respectée. La norme admet une tolérance de 15 %, prise en compte pour le calcul du degré de réalisation.

Dans les 26 chambres équipées d'une seule BAN, l'exigence de la norme n'a pas été remplie, à une exception près. Avant le nettoyage (état existant), le débit moyen d'air neuf mesuré s'élevait à 27 % seulement de la valeur exigée. Après le nettoyage, la moyenne à 41 % de la valeur exigée restait toujours clairement trop basse.

Dans les chambres avec deux BAN et à l'état existant, seules 4 des 15 chambres ne remplissent pas l'exigence. A l'état nettoyé, ce ne sont plus que deux chambres. Ces mesures confirment qu'en général deux BAN par chambre sont nécessaires en recourant aux produits usuels.

Les encrassemens ont réduit le débit d'air neuf d'un tiers dans les chambres où les valeurs n'étaient pas conformes à la norme. Toutefois, c'est non seulement l'encrassement des filtres, mais aussi des grilles pare-pluie et anti-insectes qui amènent à ce résultat.

Ces constats, parmi d'autres, montrent que la maintenance des BAN et bouches d'air repris implique un accès à chaque séjour et chaque chambre à coucher. Il n'est pas judicieux de déléguer cette maintenance à des locataires. Et seule une partie des travaux devrait être confiée aux propriétaires. Il n'est pas réaliste, par exemple, que la majorité des habitants démontent et remontent correctement une grille anti-insectes à plusieurs reprises.

Pour un fonctionnement parfait, une à trois maintenances annuelles sont nécessaires, ceci en fonction de la qualité de l'air extérieur. Il est difficile de savoir à quel point les habitants se sentent dérangés si des tiers pénètrent régulièrement dans leur chambre à coucher.

La figure 7.7 représente, pour les appartements étudiés, le rapport entre le débit d'air affluant par les BAN et le débit d'air repris. Les mesures ont été effectuées de nouveau à l'état existant et à l'état

nettoyé. Après le nettoyage, le rapport moyen a augmenté de 0,59 à 0,73.

Si l'appartement N, particulièrement perméable, n'est pas pris en compte, le rapport moyen entre air repris et air neuf (affluant par les BAN) s'élève à 1,3 à l'état nettoyé. Ce rapport correspond à la valeur standard de la norme SIA 382/5. A l'état non nettoyé, il s'élevait à 1,6. Pour les quatre logements particulièrement étanches, 85 % de l'air neuf au minimum s'écoulait à travers les BAN (rapport < 1,2) avant et après la maintenance. Dans le cadre d'un autre projet [2], des valeurs similaires ont été relevées.

7.8 Bibliographie

- [1] Dorer, Viktor; Pfeiffer, Andreas: ENABL, Energieeffiziente Abluftsysteme. Schlussbericht des gleichnamigen Forschungsprojekts. Empa, Dübendorf 2002
- [2] Hoffmann, Caroline; et al.: FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung – ist der Einsatz erfolgreich? Schlussbericht des BFE-Projekts. Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW, Muttenz/Hochschule Luzern, Horw, 2020
- [3] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via www.endk.ch → Dokumentation/Archiv → Studien

Conception de la ventilation par local

Paramètres relatifs aux installations comprenant des appareils de ventilation individuels par local (appareils VPL)

Les exigences ci-dessous contribuent fortement à la qualité des installations.

Caractéristiques de performance des appareils VPL

- La sensibilité du débit d'air (ou «sensibilité aux variations de pression») est une caractéristique déterminante en matière d'efficience énergétique et de fonction de tels appareils. La valeur devrait s'élever à 20 % au maximum (classe S2).
- Classe énergétique A ou supérieure¹
- Récupération de chaleur, de préférence avec un échangeur à enthalpie.
- Pas de registre de chauffage électrique, ni pour la protection anti-givrage de la RC, ni pour le post-chauffage.

Indications au sujet des appareils à flux d'air réversibles

- Ces appareils changent le sens du flux d'air toutes les une à deux minutes. Ils doivent en principe remplir les mêmes exigences que les autres appareils VPL.
- Ils sont à utiliser toujours par paire avec une commande commune.
- Dès lors que l'air est amené la moitié du temps seulement dans une direction, le débit d'air doit être deux fois plus élevé que celui des appareils en régime continu.
- La norme européenne sur les essais de performance EN 13141-8:2015 évalue ce type d'appareils de manière incomplète. Pour cette raison, il vaut mieux recourir aux résultats d'essai de l'institut allemand DIBT.
- Selon la norme suisse, chaque ventilateur doit être équipé de deux filtres, l'un côté extérieur et l'autre côté local. Il n'existe que peu d'appareils à flux d'air réversibles qui remplissent cette exigence.

Protection contre le bruit

- Il est indispensable de connaître le niveau de puissance acoustique afin de pouvoir évaluer correctement la protection contre le bruit. Il devrait être de 25 dB(A) environ à un débit d'air de 30 m³/h. La majorité des appareils VPL actuellement sur le marché ne le respecte pas.
- Certains fournisseurs indiquent le niveau de pression acoustique à une distance de 1 ou 3 m. Il s'agit alors de mesures effectuées à l'extérieur. Dans un local, le niveau de pression acoustique est 8 dB plus élevé que la valeur indiquée «à une distance de 1 m», respectivement de 17 dB «à une distance de 3 m».
- Il arrive que les appareils VPL amoindrissent la protection contre le bruit extérieur. Seul un acousticien est apte à bien évaluer cet aspect (voir point 7.6).

Combinaison avec des installations simples d'air repris

- Les appareils VPL peuvent être combinés avec des ventilateurs d'extraction positionnés dans les salles d'eau. Ils assurent alors, avec les infiltrations usuelles, que l'air de remplacement afflue. En présence de bâtiments particulièrement étanches à l'air (Minergie-P, par exemple) et de débits importants d'air repris (à partir de deux salles de bain), des mesures pour éviter une dépression non admise peuvent devenir nécessaires.
- Les ventilateurs d'extraction devraient fonctionner en régime «marche/arrêt, à la demande».

¹ Selon les prescriptions relatives à l'énergie, le fournisseur est obligé de déclarer cette valeur.

Hygiène et maintenance

Une maintenance régulière par un personnel spécialisé est indispensable pour remplacer les filtres et nettoyer les grilles d'air neuf, les grilles anti-insecte, etc. Par expérience, les locataires ne sont pas en mesure d'assumer la maintenance correcte des appareils VPL. Il est fortement conseillé de conclure des contrats de maintenance comprenant au moins une intervention annuelle. Les habitants doivent évidemment accepter que le personnel pénètre dans chaque chambre à coucher.

8.1 Débits d'air et humidité de l'air intérieur

D'après le point 3.6, les débits d'air fourni et d'air repris par chambre sont en principe de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ chacun. L'air repris des salles d'eau est presque toujours évacué par des ventilateurs d'extraction conventionnels. Les débits minimaux d'air repris sont à dimensionner selon les indications au chapitre 7. En revanche, il est fréquent qu'aucune bouche d'air neuf ne soit nécessaire; cet aspect est abordé au point 8.5.

Il faut évaluer par approximation le respect de la protection contre l'humidité en hiver et le respect des exigences à l'humidité minimale de l'air intérieur. Le mode de fonctionnement très souple des appareils VPL permet de corriger l'humidité de l'air intérieur facilement et quasiment sans limites, ceci avec ou sans récupération d'humidité. Les taux supérieur et inférieur peuvent être respectés pour des occupations et productions d'humidité très variées si les habitants comprennent

suffisamment les mécanismes régissant l'humidité de l'air intérieur et s'ils sont bien instruits. Dans le cas contraire, une grande souplesse peut s'avérer contre-productive. Le plus grand risque à ce titre est un appareil trop bruyant selon les habitants et par conséquent toujours éteint. Les mesures les plus efficaces pour la protection contre l'humidité sont par conséquent des appareils silencieux et une bonne instruction.

8.2 Types d'appareil, caractéristiques, exigences

Les appareils avec fonctionnement en continu (figure 8.1) ont des débits d'air fourni et repris constants selon le régime sélectionné. Le côté air fourni et le côté air repris sont munis d'un ventilateur et d'un filtre. La chaleur est récupérée au moyen d'un échangeur à plaques.

Les appareils à flux d'air réversibles changent le sens du flux d'air périodiquement à une fréquence d'une à deux minutes. La RC est composée d'une masse

Figure 8.1: Appareil VPL à fonctionnement continu.

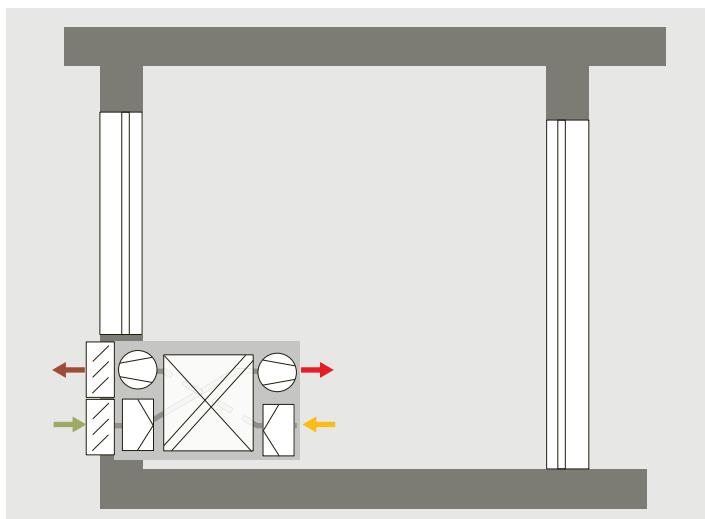
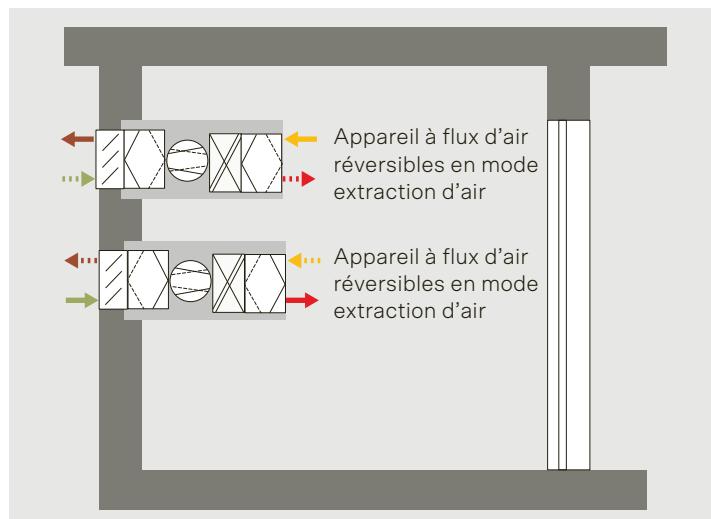


Figure 8.2: Pour la ventilation d'un local, les appareils à flux d'air réversibles sont toujours utilisés par paire.



thermique qui accumule la chaleur lorsque le flux est évacué du local vers l'extérieur et la restitue lorsque le flux est inversé. Pour un fonctionnement correct, les appareils à flux d'air réversibles doivent être mis en place par paire, un appareil en mode air fourni et l'autre en mode air repris. La figure 8.2 schématisé ce principe. Les produits sur le marché sont en général munis de ventilateurs axiaux réversibles. Les appareils pour régime continu et ceux pour régime flux réversibles sont disponibles avec et sans récupération d'humidité.

Sensibilité du débit d'air

Etant donné que les appareils VPL ne sont en principe pas raccordés à un réseau de conduites, leurs ventilateurs ne fournissent qu'une faible pression dynamique. D'un côté, la faible puissance électrique absorbée représente un avantage. De l'autre, cette faible pression

rend possibles des variations considérables du débit d'air, provoquées par l'enclassement ainsi que par des variations de pression extérieure dues au vent et à des courants thermiques. Les normes utilisent le terme «sensibilité du débit d'air» pour ce phénomène, les directives sur l'écoconception le terme «sensibilité aux variations de pression». La norme sur les essais EN 13141-8:2015 [1] stipule que la sensibilité du débit d'air est déterminée par deux mesures de débit d'air, la première à une dépression de -20 Pa, la deuxième à une surpression de + 20 Pa (entre le local et l'extérieur).

La classification de la sensibilité du débit d'air selon la norme EN 13142:2021 [2] est indiquée au tableau 8.1. Une révision de la norme sur les essais EN 13141-8 pourrait impliquer que cette classification se référera à d'autres conditions (ev. 10 Pa, mesurés au débit de référence). La figure 8.3 compare les mesures de trois appareils à flux d'air réversibles, ef-

Classe de sensibilité du débit d'air	Pourcentage de l'écart maximum entre débit d'air et débit d'air maximum admis	
	à + 20 Pa	à -20 Pa
S1	≤ 10 %	≤ 10 %
S2	≤ 20 %	≤ 20 %
S3	≤ 30 %	≤ 30 %
Non classé	> 30 %	> 30 %

Tableau 8.1: Classification de la sensibilité du débit d'air selon la norme EN 13142:2021 [2].

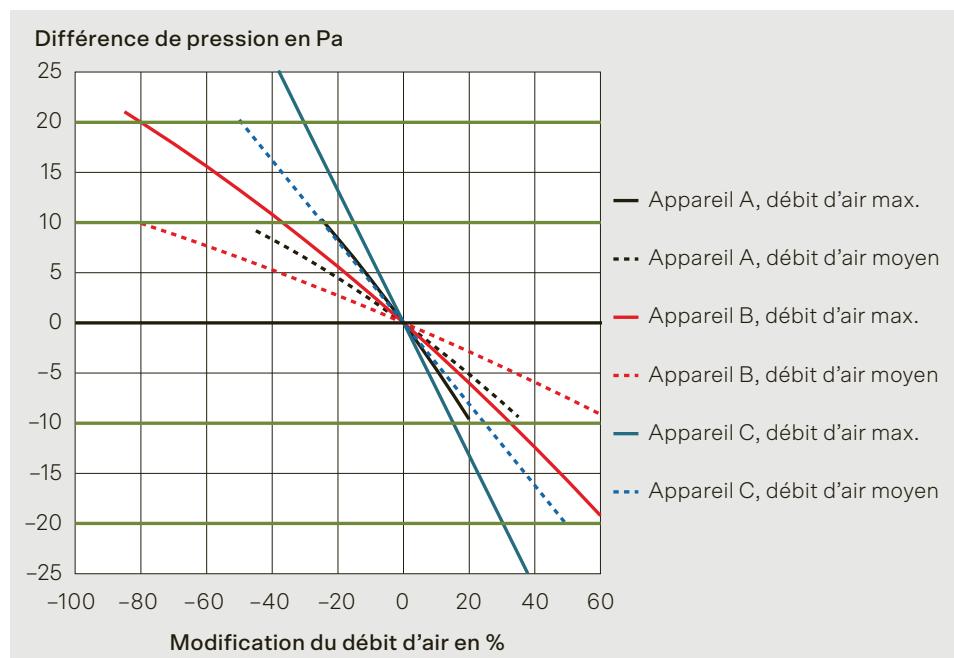


Figure 8.3: Sensibilité du débit d'air de trois appareils à flux d'air réversibles, déterminée sur la base de mesures dans le cadre du projet EwWalt [3].

fectuées dans le cadre du projet allemand EwWalt [3]. Le ventilateur C, le plus constant, atteint à peine la classe S3. Le ventilateur B, le plus sensible, arrive même à un écart de 80 %. En d'autres termes: à une surpression de 20 Pa dans le bâtiment, le débit d'air transporté baisse à un cinquième de la valeur initiale.

Le ventilateur A se retrouve, selon la norme EN 13142, dans la catégorie «non classé». Pourtant, à une différence de pression de 10 Pa, son débit d'air varie au régime moyen usuel de manière considérable, à savoir de 40 à 50 %.

Ces résultats le démontrent: certains appareils à flux d'air réversibles ont une sensibilité du débit d'air élevée, ce qui est dû aux ventilateurs axiaux. Les appareils VPL en régime continu sont en revanche souvent équipés de ventilateurs radiaux, caractérisés par une moindre sensibilité du débit d'air. Ils parviennent souvent à atteindre les classes S2 et S3;

néanmoins certains appareils restent dans la catégorie «non classés» et quelques rares modèles atteignent la classe S1. Dans des conditions réelles, la sensibilité du débit d'air génère un déséquilibre des débits pénalisant le bénéfice d'une RC de manière significative (voir points 8.6 et 9.4). La norme SIA 382/5 définit les classes de sensibilité du débit d'air à respecter en fonction de différentes données, voir le tableau 8.2.

Estimation de la variation du débit d'air au régime normal

Au régime normal, les appareils VPL fonctionnent usuellement à 70 % du débit d'air maximal. A cette puissance de transport et à 10 Pa, la sensibilité du débit d'air est approximativement la même qu'à la puissance maximale de transport et à 20 Pa. La simplification suivante est admissible: le débit d'air change linéairement en fonction de la différence de pression. Il est ainsi possible d'estimer la

Données	Classe nécessaire
- Régions à vents forts ou - Emplacement à plus de 20 m au-dessus du sol (tours, p.ex.) ou - Zone de ventilation de plus de 6 m de haut (p.ex. maison individuelle de 3 étages)	S1
- Tous les autres logements adjacents à plus d'une façade ¹⁾ ou - Zone de ventilation d'une hauteur comprise entre 3 et 6 m	≤ S2
- Logements adjacents à une seule façade avec une zone de ventilation d'une hauteur maximale de 3 m	≤ S3

1) La norme SIA 382/5 utilise le terme «façade» pour les parois extérieures de différentes orientations et expositions.

Tableau 8.2:
Classes de sensibilité du débit d'air exigées par la norme SIA 382/5.

Exemple de calcul 8.1: sensibilité du débit d'air des appareils VPL

Un appareil VPL ventile une chambre en régime continu. Il y a une dépression de 5 Pa dans la chambre. Le fournisseur indique une sensibilité du débit d'air de 20 % pour le côté air fourni et le côté air repris. A une différence de pression de 0 Pa, le débit d'air fourni et le débit d'air repris s'éleveraient à 30 m³/h chacun. Quels sont les débits d'air à une dépression de 5 Pa?

Selon la formule formule 8.1, l'écart par rapport à 5 Pa s'élève à:

$$q_v = 0,20 \cdot \frac{5 \text{ Pa}}{10 \text{ Pa}} \cdot 30 \text{ m}^3/\text{h} = 3,0 \text{ m}^3/\text{h}$$

Le débit d'air fourni augmente par conséquent de 3 m³/h et atteint 33 m³/h.

Le débit d'air repris diminue de 3 m³/h et atteint 27 m³/h. L'écart entre le débit d'air fourni et le débit d'air repris s'élève par conséquent 6 m³/h.

variation du débit d'air (dans un sens) en régime normal de la manière suivante:

$$q_v = v \cdot \frac{\Delta p_n}{10 \text{ Pa}} \cdot q_{v,n} \quad (8.1)$$

v est la sensibilité du débit d'air au débit d'air maximal et à 20 Pa. Δp_n est la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur au régime normal et $q_{v,n}$ le débit d'air au régime normal.

Débit d'air effectif

C'est uniquement pendant la moitié du temps de fonctionnement que les appareils à flux d'air réversibles amènent de l'air neuf dans le local. La phase de commutation entre régime air fourni et régime air repris réduit le débit d'air encore davantage. Il est typiquement de 5 à 10 %, rarement de 20 % plus bas que le débit en régime continu, ceci en fonction de la commande du ventilateur. Par ailleurs, celle-ci peut provoquer un déséquilibre des débits – en sus de la sensibilité du débit d'air. Pour les essais de performance, la norme EN 13141-8:2015 ne tient pas correctement compte de la commutation du ventilateur. Une meilleure procédure a été développée dans le cadre du projet EwWalt [3], utilisée pour les essais allemands effectués selon le DIBT. Lors de la révision de la norme européenne sur les essais, elle y sera probablement intégrée. D'ici là, il vaut mieux recourir aux données d'essais selon le DIBT.

Protection anti-givrage de la RC

La récupération d'humidité solutionne la protection anti-givrage de manière élégante. Quelques appareils sans récupération d'humidité sont munis d'une commande qui déclenche le ventilateur côté air fourni, voire les deux ventilateurs, si la température extérieure est inférieure à une valeur définie, p. ex. -3 °C. Ainsi, lors de basses températures extérieures, la RC n'amène plus aucun bénéfice.

Filtres

Quel que soit l'appareil, les normes suisses ont toujours les mêmes exigences pour les filtres. Les appareils VPL doivent par conséquent également être équipés d'un filtre sur l'air fourni de la classe ISO ePM1 50 % (F7).

L'air traverse les filtres des appareils à flux d'air réversibles de manière alternée dans les deux sens. Toutefois, il est peu probable que les particules retenues par le filtre soient ramenées dans le local. Bien qu'il n'existe pas d'étude sérieuse à ce sujet à notre connaissance, on peut admettre que les particules sont prises dans un voile filtrant de la classe ISO ePM1 50 % de manière à ne plus pouvoir être arrachées par des vitesses de flux usuelles.

A la question de savoir si un seul filtre est suffisant en cas d'appareils à flux d'air réversibles et à quel endroit il devrait être disposé, la norme SIA 382/5 donne la réponse suivante au chiffre 5.3.6.4:

«Comme la récupération de chaleur et d'autres parties de l'appareil (p. ex. le ven-



Figure 8.4: Les appareils à flux d'air réversibles pulsent et extraient de l'air de manière alternée. Ils filtrent la poussière et certains modèles récupèrent également de la chaleur et de l'humidité.
(Source: Stiebel Eltron)

tilateur) sont traversés aussi bien par l'air repris que par l'air fourni, il faut s'assurer que, dans les deux sens du flux, l'air soit filtré au moins avec un filtre de la classe ISO ePM10 50% (M5) avant de pénétrer dans la RC et les parties de l'appareil en contact avec les deux types d'air. L'air fourni doit être nettoyé au moins par un filtre de la classe ISO ePM1 50% (F7) après avoir passé le dernier élément en contact avec l'air repris (pour un sens du flux en direction du local).»

C'est un dispositif avec deux filtres par ventilateur, schématisé à la figure 8.2 qui correspond par conséquent à la norme suisse. Pourtant, cette exigence n'est pas remplie par la plupart des produits disponibles sur le marché.

Bruit

La valeur indicative suivante est admise: le niveau de pression acoustique dans une pièce doit s'élever à 25 dB(A) au maximum. La justification correspondant à la norme est abordée au chapitre 11. Le tableau 8.3 liste les valeurs indicatives des niveaux de puissances acoustiques admis pour différentes tailles de locaux. Cependant, de nombreux fournisseurs n'indiquent pas le niveau de puissance acoustique, mais le niveau de pression acoustique à une distance de 1 ou 3 m. Ces indications ne sont pas valables

dans un local, mais dans un espace infini, appelé «champ libre». Dans un local, le niveau de pression acoustique résultant est nettement plus élevé. Les valeurs indicatives maximales à une distance de 1 m, respectivement de 3 m (mesures en champ libre) pour ne pas dépasser 25 dB(A) dans un local réel sont listées dans les deux colonnes de droite du tableau 8.3.

Les appareils VPL affaiblissent la protection contre les bruits extérieurs étant donné qu'ils traversent la façade. Cet affaiblissement est évalué de manière analogue à celui des bouches d'air neuf au point 7.6. De même, l'isolement acoustique pondéré d'un élément, rapporté aux surfaces d'absorption ($D_{n,e,w} + C_{tr}$), doit remplir les mêmes exigences. Si deux appareils à flux d'air réversibles sont prévus dans le même local, la valeur ($D_{n,e,w} + C_{tr}$) est de 3 dB plus élevée que celle d'un seul appareil.

Caractéristiques de performance exigées et recommandées

Le tableau 8.4 liste les caractéristiques de performance recommandées pour les appareils VPL. Les directives écoconception (état début 2021) n'exigent en général pas d'étiquette énergie pour les appareils VPL. Le fournisseur doit néanmoins déclarer les caractéristiques mentionnées dans le tableau 8.4.

Exemple de calcul 8.2: niveau de pression acoustique d'un appareil VPL

Un appareil VPL est prévu dans une chambre à coucher de 12 m². Selon indications du fournisseur, le niveau de pression acoustique est de 17 dB (A) à une distance de 3 m. Selon le tableau 8.3, le niveau de pression acoustique à 3 m (mesure en champ libre) doit atteindre 8 dB(A) au maximum. Dès lors, l'appareil est d'environ 9 dB trop bruyant. Autrement dit, l'appareil générerait un niveau de pression acoustique de 34 dB(A) dans la chambre à coucher.

Surface au sol de la pièce ¹⁾	Niveau de puissance acoustique max. $L_{W,A}^2$	Niveau de pression acoustique max. L_{PA} à une distance ^{2), 3)} de	
		1 m	3 m
jusqu'à 10 m ²	25 dB(A)	17 dB(A)	7 dB(A)
de >10 m ² à 20 m ²	26 dB(A)	18 dB(A)	8 dB(A)
> 20 m ²	28 dB(A)	20 dB(A)	10 dB(A)

1) Avec une hauteur et un ameublement usuels du local.

2) Si deux appareils se trouvent dans un local, la valeur de chaque appareil est à diminuer de 3 dB.

3) Mesure en champ libre, respectivement mesure dans un local semi-réfléchissant.

Tableau 8.3:
Appareils VPL:
valeurs indicatives
pour le niveau sonore
maximal admis.

8.3 Installations pour régime continu

Variantes et formes mixtes

Si tout un logement est ventilé selon le principe «local individuel», le séjour doit aussi être équipé d'un appareil individuel. Si le principe était appliqué jusqu'au bout, même les salles d'eau seraient à équiper d'un appareil ou alors à aérer par ouverture des fenêtres. Néanmoins, il est plus courant de combiner le principe «local individuel» avec des installations simples d'air repris (voir ci-dessous). En effet, il se prête très bien à des formes mixtes de circulation de l'air.

Entrent en ligne de compte:

- En cas de logements ventilés majoritairement selon le principe «cascade», le principe «local individuel» est utilisé pour des chambres avec des temps d'utilisation ou des exigences spécifiques. Il peut s'agir de chambres de travail, de bricolage ou de chambres visiteurs.
- Une combinaison avec le principe «mélange avec portes ouvertes» paraît évidente. Les chambres à coucher sont alors équipées d'appareils VPL. Si leurs portes restent majoritairement ouvertes pendant la journée, la qualité de l'air in-

térieur est bonne dans tout le logement. Si elles sont fermées pendant la nuit, la qualité de l'air intérieur reste bonne dans les chambres. Il est par ailleurs possible de renoncer à ventiler mécaniquement la zone séjour/salle à manger sans pénaliser le confort de manière notable.

- La combinaison avec le principe «mélange avec circulation active» est aussi envisageable. Il n'est parfois pas possible de prévoir un appareil VPL dans les chambres à coucher, mais dans la zone séjour/salle à manger ou encore dans le couloir. C'est le cas, par exemple, si la chambre à coucher se trouve près d'un environnement très bruyant, si l'air extérieur est très pollué ou encore si la pose de l'appareil n'est pas possible pour des raisons constructives.

Combinaison avec des installations simples d'air repris

Très répandue, la forme mixte «appareils VPL – installations d'air repris» combine les principes «local individuel», «cascade», et souvent «mélange avec portes ouvertes». L'appartement de 4.5 pièces à la figure 8.5 en est un exemple: les chambres sont équipées d'appareils VPL et les salles d'eau de ventilateurs d'extraction commandés à la demande.

Désignation selon le règlement UE 1254/2014, respectivement la norme EN 13142:2021		Valeur recommandée	Classe recommandée selon la norme EN 13142
Consommation d'énergie spécifique SEC (en allemand SEV, en anglais SEC), classe de consommation d'énergie pour un climat européen moyen		≤ -38 kW/(m ² a) A ou A+	
Rapport de température		≥ 70 %	≤ TRS 3
Puissance absorbée spécifique (en français et en anglais SPI)		≤ 0,19 W/(m ³ /h) resp. ≤ 684 W/(m ³ /s)	≤ SPI 2
Taux de fuites internes ¹⁾	à 20 Pa à 100 Pa avec gaz traceur	≤ 3,0 % ≤ 8,5 % ≤ 2,0 %	≤ U2 ³⁾
Taux de fuites externes ¹⁾	à 50 Pa à 250 Pa	≤ 3,0 % ≤ 8,5 %	
Taux de mélange ²⁾ zone extérieure/mélange de l'air neuf		≤ 5,0 %	
Taux de mélange zone intérieure/mélange de l'air intérieur		≤ 5,0 %	

1) Selon la norme EN 13142:2021, les méthodes d'essais sont alternatives, à savoir qu'une seule valeur est déclarée.

Le règlement UE 1254/2014 définit le taux de fuites internes à 100 Pa et celui des fuites externes à 250 Pa.

2) Le terme «taux de mélange» désigne le court-circuit entre air rejeté et air neuf, respectivement entre air fourni et air repris.

3) La classification prend en compte tous les taux de fuites et taux de mélange, lesquels sont attribués à une seule classe.

Tableau 8.4: Caractéristiques de performance des appareils VPL selon le règlement UE 1254/2014 et la norme EN 13142:2021 ainsi que valeurs et classes recommandées.

Le schéma à gauche montre un fonctionnement de nuit avec portes fermées et ventilateurs d'extraction déclenchés. L'appareil VPL de la chambre non occupée est déclenché. Le schéma au milieu montre un fonctionnement de jour, une personne travaillant dans une chambre porte fermée et deux personnes se tenant au salon. Les trois appareils VPL sont enclenchés. Les portes des deux chambres non occupées sont ouvertes. Les ventilateurs d'extraction sont déclenchés. Le schéma de droite montre la même situation à une exception près: un seul ventilateur d'extraction est déclenché étant donné que la salle de bain est utilisée. Ces trois situations sont données à titre d'exemples et ne décrivent de loin pas toutes les combinaisons possibles. Il est par ailleurs présumé que les ventilateurs d'extraction des salles d'eau fonctionnent en régime «marche/arrêt, à la demande». Le fonctionnement combiné, notamment l'affluence de l'air de remplacement, est abordé au point 8.5.

8.4 Installations avec appareils à flux réversibles

Mélange par local individuel

La figure 8.2 montre la disposition de deux appareils à flux d'air réversibles constituant quasiment un appareil VPL. Dimensionné de manière usuelle, chaque ventilateur doit fournir un débit d'air

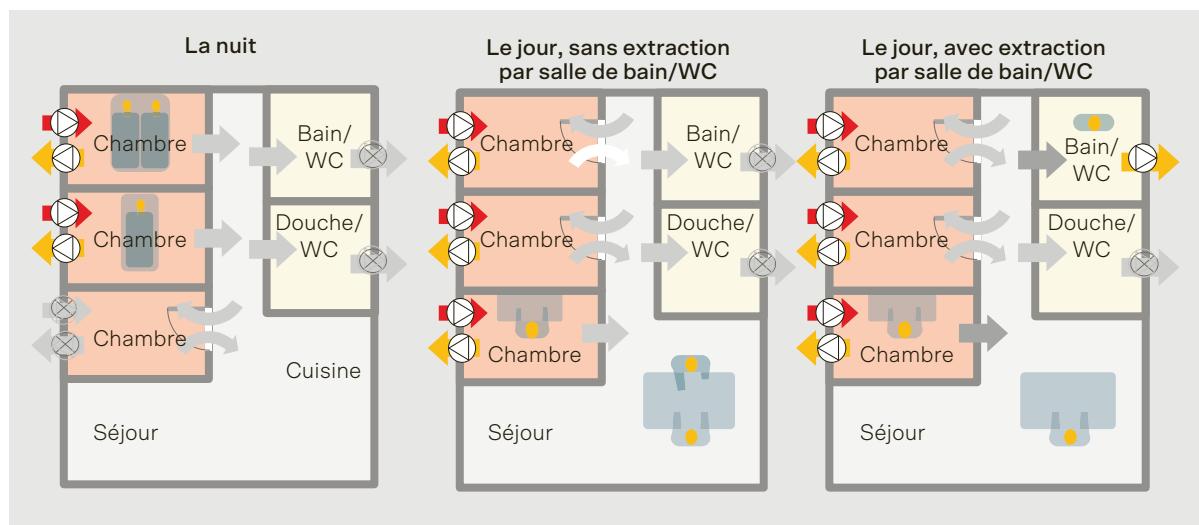
moyen de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ dans les deux sens. Pour ce débit d'air, la puissance électrique absorbée correspond par conséquent aux puissances additionnées des deux ventilateurs. Le niveau sonore dans le local est de 3 dB plus élevé que celui d'un seul ventilateur. L'isolation acoustique contre le bruit extérieur ($D_{n,e,w} + C_{tr}$) est de 3dB plus faible comparé à celui d'un seul ventilateur.

Mélange par locaux

Il est possible de séparer une paire d'appareils à flux d'air réversibles pour les disposer dans deux différents locaux, selon le principe «mélange». La figure 8.6 montre une possible disposition de deux paires d'appareils dans un appartement de 4,5 pièces. A l'intervalle A, les ventilateurs amènent de l'air fourni dans les chambres 1 et 3. L'air repris est évacué dans la chambre deux et au salon. A l'intervalle B, le fonctionnement est inversé. Dans le cas de fonctionnement schématisé, les ventilateurs d'extraction des salles d'eau sont déclenchés. A d'autres moments, les portes sont ouvertes, certaines paires d'appareils sont déclenchées et des ventilateurs d'extraction enclenchés. Le cas schématisé correspond au dimensionnement nocturne avec les portes des chambres fermées. Seul le nombre de personnes occupant l'appartement est connu, mais pas leur répartition dans les chambres; c'est le cas pour le dimensionnement de tous les

Figure 8.5: Régimes de fonctionnement possibles lors de la combinaison appareils VPL – ventilateurs d'extraction dans les salles d'eau.

- Air fourni
- Air repris
- Air transféré



systèmes de ventilation pour habitations.

Voici les hypothèses de l'exemple:

- Dans les chambres à coucher avec deux personnes, la concentration de CO₂ s'élève à 1350 ppm au maximum, ceci conformément à la norme SIA 382/5.
- La perte de pression des bouches d'air transférées est de 3 Pa.
- Les ventilateurs ont une sensibilité du débit d'air de 30% (classe S3). Ils fonctionnent à 70% du régime maximal.
- Tous les ventilateurs fonctionnent au même régime.
- La pression de la zone séjour/salle à manger est identique à la pression extérieure (égalisation due à la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment).
- La perméabilité à l'air de l'enveloppe est négligée pour les chambres, étant donné leur faible part à la surface extérieure. En mode air fourni, la pression y est ainsi de 3 Pa plus haute que la pression extérieure, respectivement celle de la zone salon/salle à manger. En mode air repris, elle est de 3 Pa plus basse.

Avec ces exigences et hypothèses, les appareils à flux d'air réversibles doivent transporter les débits d'air suivants à une différence de pression de 0 Pa:

- Occupation de l'appartement par 3 personnes: 41 m³/h
- Occupation de l'appartement par 4 personnes: 44 m³/h

Il faut alors déterminer le niveau acoustique et la puissance électrique absorbée à 41 m³/h, respectivement 44. A cause de la sensibilité du débit d'air, le débit d'air effectivement transporté par les appareils à flux d'air réversibles est environ 10% plus bas dans les chambres 1, 2 et 3. Les bouches d'air transférées sont dimensionnées pour une chute de pression de 3 Pa à 37, respectivement à 40 m³/h ce qui correspond à une fente d'eau moins 8 à 9 mm sous la porte. Etant donné que le jet d'air est pulsé uniquement pendant la moitié du temps dans la chambre, il faut vérifier, selon la situation, s'il ne génère pas de courants d'air dans la zone de séjour.

Comparé aux appareils VPL en régime continu (figure 8.5), le principe «mélange par locaux» implique des débits d'air plus importants la nuit afin d'atteindre la même qualité de l'air intérieur, lorsque les portes des chambres sont fermées. Une occupation par 3 personnes implique des débits de 50% plus élevés environ, une occupation par 4 personnes de 20% environ. En cas de commande à la demande, le débit d'air résultant est similaire le jour, lorsque les portes sont majoritairement ouvertes. Le principe «mélange par locaux» implique des bouches d'air transférées plus grandes. Etant donné les appareils à flux d'air réversibles disponibles actuellement, il n'est pas certain que cet exemple de «mélange par locaux» soit réalisable en

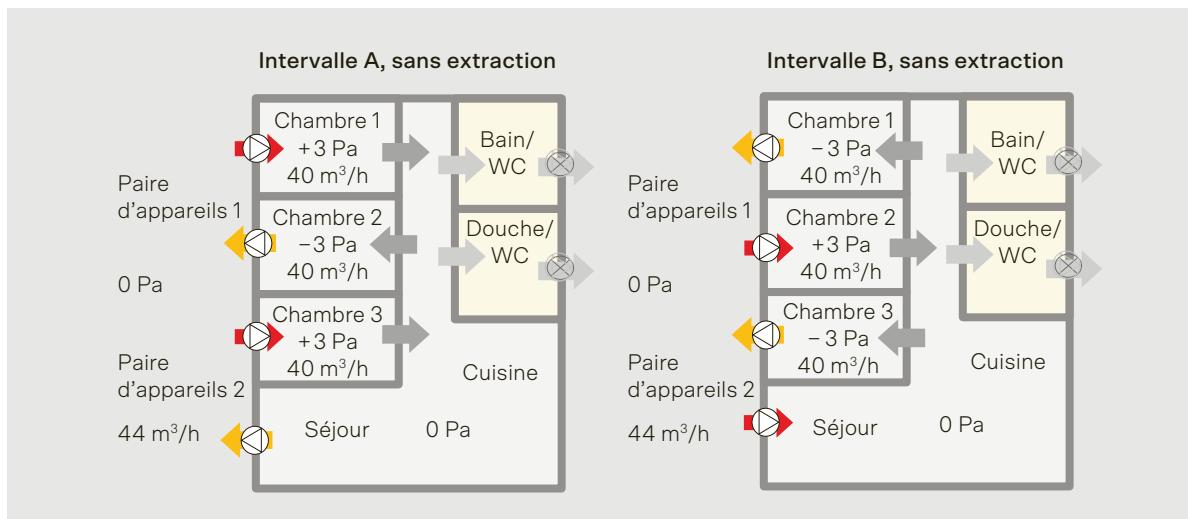


Figure 8.6: Principe «mélange par locaux» avec des appareils à flux d'air réversibles – ici un exemple avec deux paires d'appareils dans un appartement de 4.5 pièces, dimensionnés pour une occupation de quatre personnes.

■ Air fourni
■ Air repris
■ Air transféré

respectant les normes suisses. En effet, les exigences suivantes doivent être remplies sans exception:

- Les appareils à flux d'air réversibles dimensionnés à un débit compris entre 40 et 44 m³/h doivent respecter un niveau de pression acoustique de 25 dB(A).
- La sensibilité du débit d'air s'élève au maximum à 30 % (classe S3). Souvent, c'est même la classe S2 qui est exigée.
- Chaque appareil à flux d'air réversibles doit être muni de deux filtres.
- Les appareils sont toujours à utiliser par paire, ceci dans tous les cas de fonctionnement.

8.5 Combinaison avec installations d'air repris

Air repris, mode de fonctionnement

Comment déterminer le mode de fonctionnement, à savoir choisir entre régime continu et régime marche/arrêt à la demande? Le régime continu a l'avantage des débits d'air moins élevés. Les débits d'air se déséquilibreraient tout de même aux appareils VPL de la figure 8.5. Il en résulte une température durablement plus basse de l'air fourni. Par ailleurs, comparé à un fonctionnement équilibré, le givrage de la RC se met en route à des températures extérieures plus élevées. Ces inconvénients se produisent en principe aussi en régime marche/arrêt à la demande. La différence principale réside en des durées de fonctionnement de l'air repris nettement plus courtes.

Le bénéfice réduit de la RC lorsque l'air repris est enclenché représente un autre aspect. Les valeurs moyennes annuelles suivantes sont admises comme valeurs indicatives:

- En régime marche/arrêt à la demande, le bénéfice d'une RC est réduit de 10 % environ.
- En régime continu, il est réduit de 50 % environ.

Le point 9.4 aborde cet aspect de manière plus détaillée.

Air de remplacement et bouches d'air transféré

L'air remplaçant l'air repris des salles d'eau et des éventuels locaux supplémentaires doit être acheminé de manière à ne pas produire une dépression non admise, également en cas de combinaison avec des ventilateurs d'extraction. Le sujet de l'air de remplacement pour hottes d'aspiration est abordé au point 10.1.

Le calcul précis des conditions de pression et de flux prenant en compte l'infiltration serait complexe et devrait être effectué de manière itérative en cas de fonctionnement combiné «appareils VPL – ventilateurs d'extraction». Nous recommandons une démarche en sept étapes pour vérifier si le débit minimal d'air de remplacement nécessaire s'installe à une dépression donnée:

1. Déterminer le débit nécessaire d'air de remplacement.

- Cas standard: le ventilateur d'extraction le plus grand est en régime normal
- Cas le plus défavorable: tous les ventilateurs d'extraction sont en régime maximal

2. Déterminer la dépression maximale admise dans le logement. Les valeurs suivantes sont recommandées:

- Cas standard: 8 Pa
- Cas le plus défavorable: 15 Pa¹

3. Déterminer l'infiltration à travers l'enveloppe du bâtiment

d'après le point 7.2. A une dépression de 8 Pa, l'infiltration indiquée à la figure 7.2 est à multiplier par 1,3; à une dépression de 15 Pa, par 1,9.

4. Estimer l'air de remplacement affluant en raison du déséquilibre des débits généré par les appareils VPL,

tout en tenant compte de la sensibilité du débit d'air en régime normal (point 8.2).

Pour déterminer la dépression dans les locaux avec des appareils VPL, il faut tenir compte des chutes de pression des bouches d'air transférées. Des hypothèses现实istiques sont nécessaires à cet égard.

¹ La dépression devrait s'élever à 20 Pa au maximum, compte tenu de la force nécessaire pour ouvrir les portes et fenêtres.

Exemple de calcul 8.3: justification d'un débit d'air de remplacement suffisant dans le cas d'appareils VPL combinés avec des installations d'air repris

L'appartement à la figure 8.5 est équipé de trois appareils VPL amenant et évacuant chacun $30 \text{ m}^3/\text{h}$ en régime normal. A ce régime, la sensibilité du débit d'air est de 15 %. Les ventilateurs d'extraction des salles d'eau commandés à la demande fonctionnent à régime fixe avec un débit d'air de $50 \text{ m}^3/\text{h}$ chacun.

L'appartement a une surface nette de 80 m^2 et la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment correspond à la valeur cible pour constructions nouvelles. Le transfert de l'air s'effectue à travers une fente sous les portes. La justification se base sur les dépressions recommandées de 8 Pa et 15 Pa. Le débit exigé d'air de remplacement peut-il être respecté?

Le tableau 8.5 liste les étapes de la justification. Les hypothèses pour l'exemple sont conservatives: appartement relativement petit, faible perméabilité à l'air de l'enveloppe; seulement trois appareils VPL pour deux ventilateurs d'extraction; sensibilité relativement avantageuse du débit d'air. Même avec ces hypothèses, les dépressions recommandées sont respectées. Il en résulte même une marge dans le cas standard; la dépression effective pourrait se limiter à environ 5 Pa.

L'exemple permet néanmoins de déduire que des mesures seraient nécessaires si la sensibilité du débit d'air était très basse (classe S1). Il ne faudrait par contre pas recourir à la classe S3, voire plus mauvaise, car cela impacterait négativement l'efficience énergétique de l'installation toute entière (point 9.4). Si la perméabilité à l'air de l'enveloppe du bâtiment était très faible, telle que pour les bâtiments Minergie-P, des mesures seraient à prendre également.

Etape	Remarques, description	Cas standard	Cas extrême
1	Débit d'air de remplacement nécessaire	$50 \text{ m}^3/\text{h}$	$100 \text{ m}^3/\text{h}$
2	Dépression maximale admise	8 Pa	15 Pa
3	Infiltration à travers l'enveloppe du bâtiment $35 \text{ m}^3/\text{h}$ à 4 Pa, selon le graphe à la fig. 7.2.	$46 \text{ m}^3/\text{h}$	$68 \text{ m}^3/\text{h}$
4	Déséquilibre des appareils VPL La différence entre le débit d'air fourni et le débit d'air repris est calculée à l'aide de la formule 8.1. Hypothèse: la chute de pression des bouches d'air transférées peut être négligée. La dépression dans les locaux équipés d'appareils est par conséquent égale à la dépression de l'étape 2.	$22 \text{ m}^3/\text{h}$	$41 \text{ m}^3/\text{h}$
5	Contrôle des bouches d'air transférées Le transfert d'air s'effectue à travers trois portes. Débit d'air à travers une bouche d'air transférée: Chute de pression avec une fente de 7 mm (fig. 3.19): L'hypothèse de l'étape 4 est alors correcte.	7 m^3/h 0,15 Pa env.	14 m^3/h 0,5 Pa env.
6	Contrôle Débits d'air de remplacement additionnés Débits d'air de remplacement additionnés \geq débit d'air de remplacement nécessaire	68 m^3/h oui	109 m^3/h oui
7	Mesures Aucune mesure à prendre pour augmenter le débit d'air de remplacement.		

Tableau 8.5: Justification du débit d'air de remplacement suffisant en cas de la combinaison appareils VPL – installations simples d'air repris.

5. Contrôler, respectivement dimensionner les **bouches d'air transférées**. Si les hypothèses de l'étape 4 s'écartent de plus de 1 Pa par rapport au contrôle, respectivement au dimensionnement, retour à l'étape 4.

6. Contrôler si l'addition des débits d'air de remplacement déterminés aux étapes 3 et 4 est au minimum égale au débit d'air de remplacement déterminé à l'étape 1.

7. Si le contrôle de l'étape 6 est négatif, définir des **mesures** pour augmenter le débit d'air de remplacement. Des mesures possibles consistent à adapter la commande du ventilateur des appareils VPL. Lorsque les ventilateurs d'extraction dans les salles d'eau sont en marche, il est envisageable de déclencher les ventilateurs d'air repris des appareils VPL et/ou de régler les ventilateurs d'air fourni au régime le plus élevé. Le niveau sonore se modifie en conséquence, ce qui peut être dérangeant, en particulier la nuit. En outre, il est envisageable de recourir à des bouches d'air neuf ne s'ouvrant que si un ventilateur d'extraction est en marche.

Foyer ouvert dans l'appartement

Lorsque les installations d'air repris sont enclenchées, les dépressions recommandées sont trop élevées pour garantir en parallèle le fonctionnement d'un poêle à bois ou d'une cheminée de salon. Si un poêle à bois ou une cheminée de salon est prévu, il faut prendre des mesures empêchant que celui-ci ne fonctionne en même temps que le ventilateur d'extraction.

8.6 Cas concret

Dans le cadre d'un essai en conditions réelles [4], en tout 16 appareils VPL de 9 appartements et 5 habitats collectifs ont été étudiés sur mandat de la conférence des services cantonaux de l'énergie de la Suisse orientale. Toutes les salles d'eau sont équipées d'une installation d'air repris. Les appartements ne comportent aucun appareil à flux d'air réversibles.

Les débits d'air fourni et repris ont été mesurés avant et après une maintenance comportant le nettoyage des appareils et le remplacement des filtres. Le niveau d'hygiène des appareils a été évalué par inspection visuelle. En outre, les habitants ont été interrogés sur la date du dernier remplacement de filtre.

Tous les appareils VPL étaient équipés de filtres air neuf de la classe ISO ePM1 50% (F7). Les filtres air repris étaient de la classe Coarse (G2 ou G3). Les filtres de 15 appareils ont été remplacés 6 à 12 mois avant l'essai et 18 mois avant pour l'appareil restant. Le niveau d'hygiène de tous les appareils était bon. Il est fort probable que ces résultats soient au-dessus de la moyenne suisse, car ces travaux étaient pris en charge par des contrats de maintenance, à l'exception d'un appartement.

La figure 8.7 montre le rapport entre les débits d'air fourni mesurés et ceux exigés par la norme SIA 2023 alors en vigueur. En outre, la tolérance selon la norme SIA 2023 est appliquée (écart admis à la valeur nominale: 15%).

Avant intervention, les débits d'air mesurés étaient de plus de 15% en dessous du débit exigé pour 70 % des appareils; après, c'était toujours le cas pour 40 % des appareils. Avant la maintenance, le débit d'air était en moyenne de 50%, respectivement de $9 \text{ m}^3/\text{h}$ inférieur à la valeur mesurée après celle-ci. Ce constat est effectif pour les appareils ayant un débit d'air inférieur à 85 % de la valeur de consigne avant la maintenance. La figure 8.8 montre le déséquilibre des débits avant et après la maintenance. La valeur moyenne s'élève à 42 % avant (plage de 0 % à 79%) et à 21% après (plage de 2 % à 55%, sans le local 612). Dans la moitié des cas, la maintenance a fortement réduit le déséquilibre. A contrario, dans cinq cas, le déséquilibre était plus important après. Dans quatre cas (locaux 123, 612, 613 et 622), les appareils ont été délibérément utilisés avec des débits inégaux d'air fourni et d'air repris afin de réduire le niveau sonore.

Pour les locaux 611 à 622, les installations d'air repris des salles d'eau ont impacté le déséquilibre (régime continu ne pouvant pas être déclenché). Après la maintenance, le ventilateur d'extraction du local 612 générait une dépression si élevée que l'air affluait aussi depuis le côté air repris de l'appareil VPL. Les déséquilibres des débits constatés ne sont pas dus à une pression éventuelle du vent. Ils étaient principalement causés par des encrassements et des

filtres obstrués, ceci malgré le bon niveau d'hygiène dans les appareils. Dans la pratique, il faut s'attendre en général à des déséquilibres plus importants étant donné que la maintenance est souvent plus mauvaise que celle des installations étudiées. Il est par ailleurs présumé que la mise en service ne s'est pas passée de manière idéale et que des altérations dues à l'âge des appareils ont un certain impact. Le déséquilibre des débits est parfois aussi in-

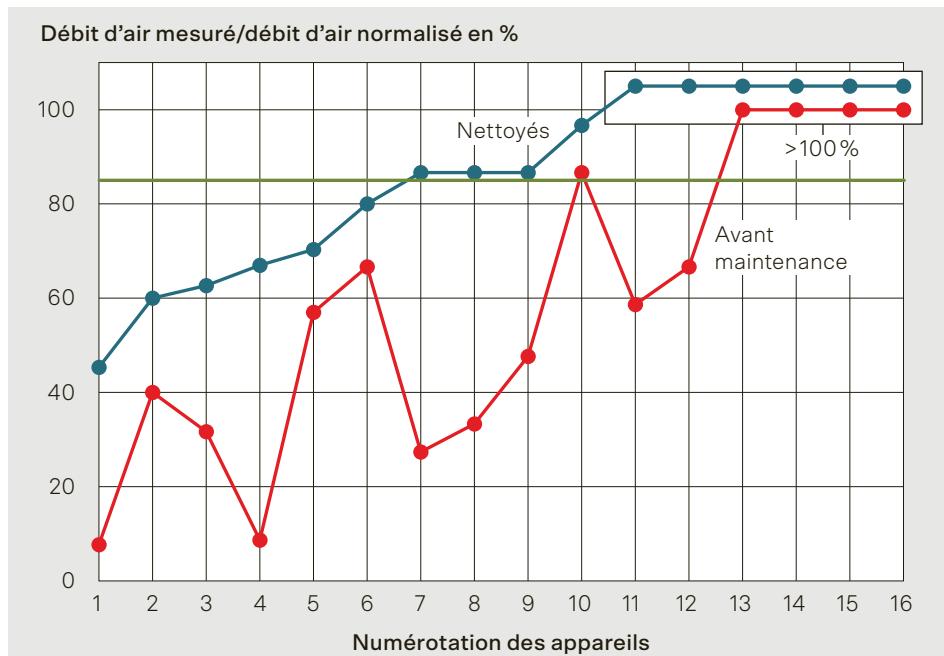


Figure 8.7: Débits d'air fourni des appareils VPL avant et après maintenance; les courbes représentent l'écart par rapport aux valeurs de consigne selon la norme suisse. Les données sont tirées d'une étude de terrain [4]. Les appareils sont numérotés en fonction des débits mesurés. La suite n'est pas la même que celle de la figure 8.8.

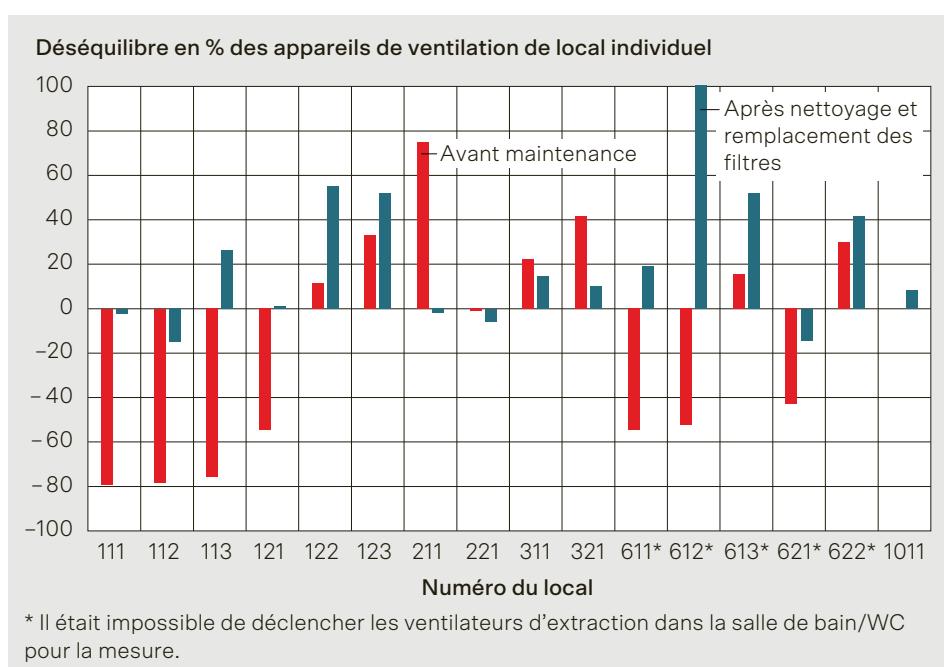


Figure 8.8: Comparaison des déséquilibres mesurés des appareils VPL avant et après maintenance, données tirées de l'étude de terrain. Définition du déséquilibre selon le point 9.4.

fluencé par la conception du système; dans certains cas, il est même planifié. Le tableau 8.6. liste les gains annuels nets de la RC obtenus avec les déséquilibres constatés. Les bases correspondantes se trouvent au point 9.4. Sur le Plateau suisse, le bénéfice net d'une RC est estimé à environ 50 % pour un appareil VPL en se basant sur cette étude. Dans les régions alpines, il peut descendre jusqu'à 30 % en cas de protection anti-givrage défavorable. Malgré l'écart avec les valeurs mesurées sur les bancs d'essai, il faut relever que les appareils VPL réduisent de moitié les déperditions thermiques.

8.7 Bibliographie

- [1] EN 13142:2021 Ventilation des bâtiments – Composants/produits pour la ventilation des logements – Caractéristiques de performances exigées et optionnelles
- [2] EN 13141-8:2015 Ventilation des bâtiments – Essais de performance des composants/produits pour la ventilation des logements – Partie 8: essais de performance des unités de soufflage et d'extraction (y compris la récupération de chaleur) pour les systèmes de ventilation mécaniques non raccordés prévus pour une pièce
- [3] Röder, Tim; Mathis, Paul; Müller, Dirk: EwWalt – Energetische Bewertung der dezentralen kontrollierten Wohnraumlüftung in alternierender Betriebsweise. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2019 ISBN 978-3-7388-0333-4
- [4] Primas, Alex; Huber, Heinrich; Hauri, Claudia; Näf, Michel: Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie. Hochschule Luzern, Horw, 2018. Download via www.endk.ch → Dokumentation/Archiv → Studien

Paramètres	État des appareils examinés	
	Avant maintenance	Après nettoyage et remplacement des filtres
Déséquilibre moyen des débits	40 %	20 %
Rapport de température selon le fabricant (valeurs de bancs d'essai à l'état neuf)	70 ... 80 %	70 ... 80 %
Réduction du rapport de température due à un déséquilibre des débits provoqué par l'enrassement	17 ... 23 %	6 ... 10 %
Réduction du rapport de température en raison de la combinaison avec des installations d'air repris	5 % env.	5 % env.
Réduction du rapport de température due à la protection anti-givrage de la RC (station climatologique «Zurich MétéoSuisse») ¹⁾	0 ... 5 %	0 ... 5 %
Bénéfice annuel net de la RC	40 ... 50 % env.	55 ... 65 % env.

1) Dans les régions alpines telles que Davos, la protection anti-givrage peut réduire le bénéfice de la RC jusqu'à 35 %.

Tableau 8.6: Appareils VPL analysés en conditions réelles: ordre de grandeur du rapport de température et du bénéfice annuel net de la RC.

Chapitre 9

Composants, appareils, besoins en énergie

9.1 Hygiène et filtration

Nettoyage

Les appareils de ventilation et les installations doivent être faciles à contrôler et à nettoyer. Les appareils doivent être régulièrement nettoyés à l'intérieur et à l'extérieur avec un chiffon sec ou humide. Les professionnels doivent pouvoir démonter et sortir la RC de son caisson. Tous les autres composants doivent être facilement accessibles.

Classes de filtre

Les filtres à air sont classés selon la norme ISO 16890 [1]. Dans la pratique, ils sont encore souvent dénommés selon l'ancienne norme EN 779 [2]. Le tableau 9.1 met en corrélation les nouvelles classes avec les anciennes et indique les exigences de la norme SIA 382/5.

Coefficient d'encrassement des filtres

Les filtres très encrassés affaiblissent le débit d'air. Afin de maintenir le débit d'air exigé, il faut par conséquent augmenter le régime du ventilateur. En référence à la norme EN 13142:2021 [3], annexe D, le coefficient d'encrassement des filtres (terme utilisé dans la norme: facteur de compensation du filtre) est défini de la manière suivante:

$$f_{fc} = \frac{q_{v,ref}}{q_{v,fc}} \quad (9.1)$$

avec

$q_{v,ref}$ Débit d'air de référence en m^3/h
 $q_{v,fc}$ Débit d'air transporté en m^3/h , à une perte de pression du filtre égale à la perte de pression à l'état neuf du filtre multiplié par 1,5

Type de poussières	Classe de filtre selon la norme		Précisions et exigences selon la norme SIA 382/5
	ISO 16890	EN 779	
Poussières grossières	ISO Coarse > 30 %	G2	Classe inappropriée pour les appareils de ventilation (filtration des poussières très grossières uniquement).
	ISO Coarse > 45 %	G3	Classe inappropriée pour les appareils de ventilation (filtration des poussières très grossières uniquement).
	ISO Coarse > 60 %	G4	Classe de filtre recommandée au minimum pour les filtres air repris des appareils avec échangeur de chaleur à plaques.
Poussières moyennes	ISO ePM10 ≥ 50 %	M5	Selon la norme SIA 382/5: – Classe minimale pour les filtres air repris dans les appareils avec échangeurs de chaleur rotatifs. – Classe de filtre minimale pour les bouches d'air neuf bien accessibles à condition que l'air extérieur soit propre (point 7.6). – Classe pour le filtre côté extérieur des appareils à flux d'air réversibles (point 8.2).
	ISO ePM2,5 ≥ 50 %	M6	
Poussières fines	ISO ePM1 ≥ 50 %	F7	Selon la norme SIA 382/5: – Classe minimale pour les filtres air fourni de tous les appareils incluant du transport mécanique de l'air. – Classe de filtre standard pour les bouches d'air neuf. – Classe pour le filtre côté local des appareils à flux d'air réversibles (point 8.2).
	ISO ePM1 ≥ 70 %	F8	
	ISO ePM1 ≥ 80 %	F9	Classe de filtre recommandée si la concentration de poussières fines est élevée dans l'air extérieur ou encore si les exigences à la qualité de l'air intérieur sont très élevées.

Tableau 9.1: Classes de filtre et leur champ d'application.

Le tableau 9.2 répertorie les facteurs indicatifs du coefficient d'encrassement des filtres pour différents types d'appareil et d'installation. Il faut tenir compte de ces coefficients lors du dimensionnement d'un appareil de ventilation, car les débits d'air et les caractéristiques énergétiques indiqués par le fournisseur se rapportent toujours à l'appareil neuf avec des filtres propres. En réalité, un appareil fonctionne sur l'année avec des filtres «moyennement encrassés».

Bouches d'air repris avec filtres

L'offre de certains fournisseurs comporte des bouches d'air repris avec des filtres. Ils prétendent empêcher un encrassement trop rapide des conduites d'air repris. Ces filtres peuvent être utiles à condition d'être dimensionnés dans les règles de l'art et régulièrement remplacés. Etant donné que les frais de maintenance augmentent fortement (p.ex. quatre filtres pour les bouches d'air repris, en plus du filtre de l'appareil), la maintenance risque d'être négligée. De plus, il arrive que ces filtres aient une surface trop petite et donc une courte durée de vie. En conclusion, il faut recourir aux bouches d'air repris avec filtres uniquement si les utilisateurs le souhaitent expressément.

Les filtres, produits à usage unique

Il arrive régulièrement que les filtres soient lavés ou «nettoyés» au moyen d'un aspirateur. Un tel remède de cheval détruit le support filtrant. Il faut en conséquence éliminer les filtres après le premier usage!

Remplacement des filtres

Les filtres sont à remplacer au plus tard après une année. S'il n'est pas possible de réchauffer l'air neuf d'au moins 2 à 3 K (humidité relative au filtre toujours inférieure à 80 %), le filtre air neuf est à remplacer au moins deux fois par année. Les filtres de remplacement sont à conserver dans leur emballage d'origine, à l'abri de la poussière et de l'humidité. Il faut porter des gants à usage unique et un masque pour les remplacer. Les filtres démontés doivent être immédiatement emballés dans des sacs en plastique hermétiques et éliminés selon les indications du fournisseur. Très souvent, les filtres des appareils sont dimensionnés (trop) juste; ils doivent par conséquent être remplacés 3 à 4 fois par année. Il s'agit en particulier des appareils VPL (ventilation individuelle par local) et des bouches d'air neuf.

9.2 Transport de l'air

La **puissance spécifique des ventilateurs SFP** (Specific Fan Power) est le rapport entre la puissance électrique absorbée d'un ventilateur et le débit d'air transporté. Cette valeur caractérise un seul ventilateur, elle est utilisée pour des installations de ventilation collectives. Les exigences sont définies dans la norme SIA 382/1.

La **puissance unitaire spécifique SPI** (Specific Power Input) est le rapport entre la puissance électrique totale absorbée par un appareil de ventilation (ventilateurs, entraînements auxiliaires et commande) et le débit d'air moyen de l'air fourni et repris. En revanche, la consommation d'énergie de la protection anti-givrage et d'un éventuel post-chauffage n'est pas prise en compte. Pour les

Type d'installation ou d'appareils	Valeur indicative du facteur de compensation du filtre f_{fc} pour installations/appareils avec	
	Air fourni et air repris	Air repris seul
Installation de ventilation collective	1,05	1,10
Installation de ventilation individuelle	1,10	1,20
Appareil VPL (ventilation par local)	1,20	Ventilateur axial 1,30 Ventilateur radial 1,10
Appareil à flux d'air réversibles	1,30	-

Tableau 9.2: Facteur de compensation du filtre pour différents types d'installations et d'appareils.

appareils avec pompe à chaleur intégrée, la *SPI* est déterminée lorsque la pompe à chaleur est déclenchée.

$$SPI = 2 \cdot \frac{P_E}{q_{v11} + q_{v22}} \quad (9.2)$$

avec

SPI Puissance unitaire spécifique en W/(m³/h)

P_E Puissance électrique absorbée en W

q_{v11} Débit d'air repris en m³/h

q_{v22} Débit d'air fourni en m³/h

Pour les appareils air repris seul, respectivement air fourni seul, *q_{v11}* = *q_{v22}*.

Les valeurs *SFP* et *SPI* sont parfois indiquées en W/(m³/s). Elles sont par conséquent 3600 fois plus élevées que les valeurs indiquées en W/(m³/h).

La *SPI* dépend de la qualité des appareils de ventilation (rendement du ventilateur, pertes de charge internes, filtres) et du système de distribution. Le tableau 9.3 donne des valeurs indicatives de pertes de charge pour différents types de distribution de l'air. Pour les aérations douces, elles se rapportent au côté air neuf/air fourni, pour les installations simples d'air repris, au côté air rejeté/air repris. Le tableau 9.4 donne des valeurs indicatives de la *SPI* pour différents appareils et installations. Elles presupposent des filtres propres, correspondant au tableau 9.1, ainsi qu'une régulation correcte de l'installation. Pour estimer l'état de fonctionnement typique d'une installation, les valeurs indiquées sont multipliées par le coefficient d'enracassemement des filtres.

Catégorie	Description	Perte de charge de la distribution de l'air en Pa	
		Aération douce	Installation simple d'air repris
Pertes de charge faibles	Perte de charge de base des installations de ventilation individuelles avec des conduites courtes, p. ex. avec une distribution à l'intérieur du logement selon le principe «mélange» et des conduites principales courtes.	50	30
Pertes de charge moyennes	Perte de charge de base des installations de ventilation individuelles «moyennes», p. ex. avec une distribution selon le principe «cascade» et des conduites principales de longueur moyenne.	70	50
Pertes de charge élevées	Perte de charge de base des installations de ventilation collectives et individuelles avec des conduites longues, p. ex. dues à un emplacement défavorable des appareils de ventilation.	100	70
Supplément	Suppléments par composant en option ¹⁾	30	30

1) Sont considérés comme des composants en option:

- Préchauffage de l'air neuf par échangeur de chaleur air-sol (puits canadien) ou réchauffeur d'air
- Postechauffeur
- Régulateur de débit d'air
- Box de ventilation d'appartement
- Caisson à filtres supplémentaire situé en dehors du caisson de l'appareil de ventilation
- Filtres au droit des bouches d'air repris ou d'air fourni
- Pompe à chaleur sur air repris

Tableau 9.3: Valeurs indicatives de la perte de charge des aérations douces et installations simples d'air repris.

Catégorie selon le tableau 9.3	SPI en W/(m ³ /h)		
	Aération douce	Installation simple d'air repris	Appareil VPL
Installation avec			
- Pertes de charge faibles	0,22	0,10	0,20
- Pertes de charge moyennes	0,25	0,12	
- Pertes de charge élevées	0,30	0,15	
Supplément par composant en option	0,03	0,03	-

Tableau 9.4: Valeurs indicatives de la puissance unitaire spécifique (*SPI*) de différents types d'appareils et de ventilation.

9.3 Récupération de chaleur et d'humidité

Types de construction

Les **échangeurs de chaleur à plaques** transfèrent la chaleur de l'air repris à l'air fourni, ceci au moyen de plaques parallèles en métal ou en matière synthétique séparant ces deux flux. Dans le cas des **échangeurs rotatifs**, l'air repris traverse les alvéoles d'un disque en rotation. La masse thermique du rotor est réchauffée par le flux d'air repris. Grâce au mouvement de rotation constant, la masse thermique chaude atteint le côté air neuf, où elle réchauffe l'air fourni.

Les **échangeurs de chaleur à régénération statique** utilisent le même principe physique. Leur masse thermique ne bouge en revanche pas. C'est le flux de l'air qui change de sens. Pour les appareils de grande taille, cette commutation est réalisée par des clapets d'air. Des appareils de très petite taille recourent à des ventilateurs réversibles.

Les **échangeurs à enthalpie** transfèrent en plus de la chaleur sensible de l'humidité. Le transfert se fait par sorption ou diffusion, sans aucune condensation. A cet effet, les rotors sont pourvus d'un revêtement spécial. Les échangeurs à plaques sont équipés de membranes perméables aux molécules d'eau uniquement, mais pas aux molécules de grande taille tels que les composés organiques volatils (COV).

Coefficients

Le **rapport de température** est le rapport entre le gain de température côté air fourni et la différence de température entre air repris et air neuf conformément à la formule suivante:

$$\eta_{\theta,su} = \frac{\theta_{22} - \theta_{21}}{\theta_{11} - \theta_{21}} \quad (9.3)$$

avec

- θ_{11} Température de l'air repris à l'entrée dans l'appareil en °C
- θ_{21} Température de l'air neuf à l'entrée dans l'appareil en °C
- θ_{22} Température de l'air fourni à la sortie de l'appareil en °C

La correction des fuites et des flux thermiques indésirables est abordée aux points 9.6 à 9.7.

Les rapports de température doivent être accompagnés d'une note précisant les conditions auxquelles cette valeur est atteinte, respectivement comment elle a été mesurée. Les débits massiques d'air et, le cas échéant, la condensation sont à cet égard déterminants.

En règle générale, le rapport de température est indiqué à un rapport de débit massique de 1, c'est-à-dire à un même débit massique d'air fourni que d'air repris. En effet, pour caractériser une RC, ce sont les débits massiques qui sont déterminants, non pas les débits volumiques. Pour convertir un débit massique en débit volumique, il faut connaître la densité de l'air.

Le transfert d'humidité est défini de manière analogue au transfert de chaleur sensible. Le rapport d'humidité est calculé à l'aide de la formule suivante:

$$\eta_{x,su} = \frac{x_{22} - x_{21}}{x_{11} - x_{21}} \quad (9.4)$$

avec

- x_{11} humidité absolue de l'air repris à l'entrée dans l'appareil en g/kg
- x_{21} humidité absolue de l'air neuf à l'entrée dans l'appareil en g/kg
- x_{22} humidité absolue de l'air fourni à la sortie de l'appareil en g/kg

Tableau 9.5: Valeurs indicatives des rapports de température et d'humidité des échangeurs thermiques et enthalpiques pour petites et moyennes installations de ventilation.

Types de construction	Rapport de température	Rapport d'humidité
Echangeur de chaleur à plaques, sans récupération d'humidité	0,75 ... 0,90	-
Echangeur enthalpique à plaques	0,70 ... 0,80	0,60 ... 0,70
Rotor, sans récupération d'humidité	0,75 ... 0,85	-
Echangeur enthalpique rotatif	0,75 ... 0,85	0,70 ... 0,90

Le tableau 9.5 donne les valeurs indicatives pour différents types de RC intégrés dans des appareils de ventilation de taille petite à moyenne.

Echangeurs à enthalpie: prévention de la formation de glace

Il faut à tout prix empêcher la formation de glace dans les échangeurs à enthalpie, car celle-ci peut provoquer des dysfonctionnements, voire des dégâts.

La formule 9.5 permet d'estimer le rapport minimal d'humidité nécessaire pour la prévenir. Cette fonction empirique repose sur les hypothèses suivantes:

- L'humidité de l'air repris correspond à l'humidité maximale de l'air intérieur admise selon la norme SIA 180:2014 (voir aussi le point 2.4, en particulier la figure 2.1).

- Température de l'air repris de 20 °C
- Humidité relative de l'air neuf de 90 %

Avec ces hypothèses, la marge est suffisante pour que le résultat du calcul soit fiable.

$$\eta_{x,min} = 2,25 \cdot \eta_{\theta,su} - 1,25 - 0,067 \cdot (1 - \eta_{\theta,su}) \cdot \theta_{ANF,min} \quad (9.5)$$

avec

$\eta_{x,min}$ Rapport minimal d'humidité requis

$\eta_{\theta,su}$ Rapport de température

$\theta_{ANF,min}$ Température minimale de l'air neuf, valeur moyenne journalière en °C

Exemple de calcul 9.1: température de givrage d'un échangeur à plaques

Un échangeur à enthalpie à plaques a un rapport de température de 75 % environ et un rapport d'humidité de 65 % environ. La conversion de la formule 9.5 permet de déterminer la température minimale admise de l'air neuf:

$$\theta_{ANF,min} = -15 \cdot \frac{1,25 - 2,25 \cdot 0,75 + 0,65}{(1 - 0,75)} \approx -13 \text{ °C}$$

Le risque de givrage est donc extrêmement faible sur le plateau Suisse.

Etape et remarque	Formules
Rapport de débit massique à l'état A	$R_A = q_{m2,A}/q_{m1,A}$
Rapport de température à l'état A	$\eta_{\theta,su,A}$ selon formule 9.3
NTU à l'état A	$NTU_A = \frac{\eta_{\theta,A}}{1 - \eta_{\theta,A}}$ pour $R_A = 1$ $NTU_A = \frac{1}{1 - R_A} \ln \frac{1 - R_A \cdot \eta_{\theta,A}}{1 - \eta_{\theta,A}}$ pour $R_A \neq 1$
NTU à l'état B	$NTU_B = NTU_A \cdot \left(\frac{q_{m1,B}}{q_{m1,A}} \right)^n \cdot \left(\frac{q_{m2,B}}{q_{m2,A}} \right)^{n-1}$
Rapport de débit massique à l'état B	$R_B = q_{m2,B}/q_{m1,B}$
Rapport de température à l'état B	$\eta_{\theta,su,B} = \frac{NTU_B}{1 + NTU_B}$ pour $R_B = 1$ $\eta_{\theta,su,B} = \frac{1 - e^{NTU_B \cdot (R_B - 1)}}{1 - R_B \cdot e^{NTU_B \cdot (R_B - 1)}}$ pour $R_B \neq 1$
Légende des symboles	Légende des indices
n Exposant exprimant l'évolution du transfert de chaleur	1 Côté air repris
NTU Number of transfer units	2 Côté air fourni
q_m Débit massique	A Etat A (rapport de température connu)
R Rapport de débit massique	B Etat B (rapport de température recherché)
$\eta_{\theta,su}$ Rapport de température	

Tableau 9.6:
Ensemble de formules nécessaires à la conversion du rapport de température d'un échangeur de chaleur air-air à d'autres débits massiques (champ d'application voir texte).

Conversion en cas de débits massiques divergents

Dans des conditions de fonctionnement réelles, les débits massiques d'air s'écartent souvent significativement des indications des fournisseurs. Le tableau 9.6 contient l'ensemble des formules pour convertir un état A (avec un rapport de température connu) en un état B ayant d'autres débits massiques. Leur champ d'application est le suivant:

- Composants RC usuels des appareils de ventilation actuels de petite et moyenne taille.

- La capacité thermique spécifique des débits massiques d'air fourni et d'air repris est identique; il n'y a donc pas de condensation.
- Le comportement de la RC s'approche fortement de celui d'un échangeur de chaleur à contre-courant.
- A un rapport de débit massique de 1, le rapport de température est compris entre 0,65 et 0,85.
- Le rapport de débit massique est compris entre 0,65 et 1,50.

Le **nombre d'unité NTU** (Number of Transfer Units) est un indice sans dimension du domaine du transfert de chaleur. Le VDI-Wärmeatlas [10], comporte une définition du nombre *NUT* et décrit son utilisation au chapitre C1. Plus le nombre *NUT* est élevé, plus le rendement thermique s'approche de 1. Dans la formule pour déterminer le *NUT* à l'état B, l'exposant *n* est généralement de 0,35 pour les échangeurs de chaleur à plaques et de 0,18 pour les rotors.

9.4 Impact du déséquilibre des débits

Les débits d'air sont déséquilibrés si le rapport entre le débit massique de l'air fourni et celui de l'air repris n'est pas égal à 1. Un déséquilibre entre débits péjore le bilan énergétique d'un système de ventilation. Les raisons possibles sont les suivantes:

- Différences de pression entre l'intérieur et l'extérieur dues au vent ou à des courants ascendants

Exemple de calcul 9.2: rapport de température dans des conditions de fonctionnement réelles

Lors de la réception d'une installation, les caractéristiques de performance d'un échangeur de chaleur à plaques sont contrôlées pour vérifier les valeurs transmises par le fournisseur. Les mesures suivantes sont effectuées:

- Air repris: 21,7°C, 30 % H R, débit volumique 1200 m³/h
- Air neuf: + 2,5°C, 80 % H R.
- Air fourni: 18,0°C, 27 % H R, débit volumique 1050 m³/h
- Pression de l'air: 960 mbar

Une densité de 1,13 kg/m³ pour l'air repris, respectivement de 1,21 kg/m³ pour l'air neuf est déterminée par calcul.

La déclaration du fournisseur indique un rapport de température de 80 % aux conditions suivantes:

- Air repris: 20 °C
- Air neuf: +7 °C
- Débit d'air fourni: 1500 m³/h, à une densité de 1,20 kg/m³
- Rapport de débit massique: 1

Le tableau résume la conversion des mesures (état A) aux conditions indiquées par le fournisseur (état B): l'exposant *n* a été arrêté à 0,35. Selon la conversion, le rapport de température effectif est inférieur d'environ 6 points de pourcentage à la valeur déclarée par le fournisseur. Par conséquent, accepter la RC telle que livrée dépend des tolérances convenues et des incertitudes de mesures.

Description	Symbol	Unité	Mesure de réception (A)	Conditions déclarées (B)
Débit massique d'air fourni	q_{m2}	kg/s	0,334	0,500
Débit massique d'air repris	q_{m1}	kg/s	0,376	0,500
Rapport de débit massique	R	-	0,887	1,000
Indice <i>NTU</i>	<i>NTU</i>	-	3,43	2,92
Rapport de température	$\eta_{\theta,A}$	-	80,7 %	74,5 %

- Réduction du débit d'air fourni comme protection anti-givrage pour la RC
- Encrassement des filtres
- Encrassements dans l'appareil ou dans la distribution de l'air (grilles anti-insecte, par exemple)
- Stratégie de fonctionnement intentionnelle, par exemple pour réduire le niveau de puissance acoustique
- Combinaison avec des installations simples d'air repris, en particulier des ventilateurs d'extraction des salles d'eau

L'indice de déséquilibre k_{dis} est défini de la manière suivante:

$$k_{dis} = (q_{m,2} - q_{m,1}) / \max(q_{m,2}; q_{m,1}) \quad (9.6)$$

avec $q_{m,2}$, le débit massique d'air fourni et $q_{m,1}$, le débit massique de l'air repris. Des valeurs positives indiquent un excédent d'air fourni, soit une surpression, les valeurs négatives un excédent d'air repris, soit une dépression. Le coefficient par lequel le déséquilibre réduit le bénéfice de la RC est défini comme le facteur de déséquilibre f_{dis} .

Remarque: si tous les débits d'air caractérisant les conditions de l'air intérieur sont connus, les rapports de débit volumique correspondent aux rapports de débit massique.

Estimation de la moyenne annuelle

Il est possible de convertir le rapport de température si les données sont connues, comme dans l'exemple de calcul 9.2. En revanche, pour l'analyse de l'ensemble d'une installation complète et d'un bâtiment, l'infiltration et l'exfiltration doivent en plus être prises en compte. Un calcul rigoureux, par tranche horaire p. ex., est difficilement réalisable, car il est impossible de déterminer avec précision les interférences telles que la pression du vent et les conditions d'encrassement. Étant donné que le déséquilibre dépend fortement de la sensibilité du débit d'air, la norme EN 13142:2021 propose l'estimation suivante pour la moyenne annuelle du facteur de déséquilibre:

$$f_{dis} = 1 \quad \text{pour } v \leq 0,02 \\ (9.7)$$

Exemple de calcul 9.3: facteur de déséquilibre

Un appartement de 3,5 pièces est équipé de trois appareils VPL avec une sensibilité du débit d'air de classe S2. Ces appareils ont un débit d'air constant de 30 m³/h chacun. Le bain est équipé d'un ventilateur d'extraction avec un débit d'air repris de 50 m³/h. La perméabilité à l'air de l'enveloppe atteint la valeur cible de la norme SIA 180. Quel est le facteur de déséquilibre?

Lorsque le ventilateur d'extraction est enclenché, le rapport entre le débit massique du ventilateur d'extraction et le débit massique de référence des appareils VPL s'élève à 50 (m³/h)/90 (m³/h) = 0,56.

Calculé à l'aide de la formule 9.8, le facteur de déséquilibre est égal à
 $f_{dis} = 1 - 0,78 \cdot 0,56 + 0,3 \cdot (0,56)^2 = 0,66$

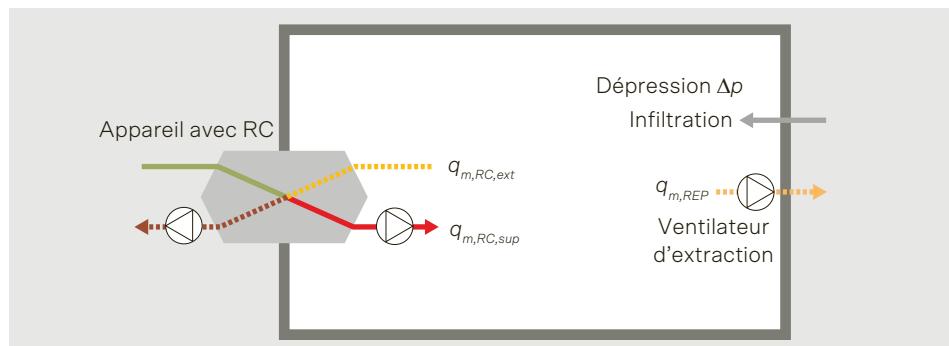


Figure 9.1: Déséquilibre lors de la combinaison d'un appareil avec RC et d'un ventilateur d'extraction.

$$f_{dis} = [1 - (v - 0,02)]^{0,4} \quad \text{pour } v > 0,02$$

Le symbole v est la sensibilité du débit d'air selon le point 8.2.

Appareils avec RC et installations d'air repris

Un déséquilibre systématique se produit si les appareils VPL sont enclenchés en même temps que les ventilateurs d'extraction des salles d'eau. La dépression générée par les ventilateurs d'extraction provoque une infiltration. La RC ne peut tirer profit ni de cette infiltration, ni du débit d'air évacué par le ventilateur d'extraction. La figure 9.1 schématisé ce cas. Pour le calcul des besoins annuels en énergie, il faut distinguer ces deux phases de fonctionnement (ventilateur d'extraction enclenché et déclenché). Les formules du tableau 9.6 et la perméabilité à l'air usuelle des bâtiments actuels permettent d'évaluer le facteur de déséquilibre en utilisant la formule 9.8. Les conditions cadres suivantes s'appliquent:

- Le rapport de température – à un rapport de débit massique de 1 – est compris entre 0,50 et 0,90.
- Le rapport entre le débit massique du ventilateur d'extraction et le débit massique de référence de l'appareil avec RC est compris entre 0 et 1.

Figure 9.2: Solutions usuelles de protection anti-givrage de la RC, avec appréciation (coche verte pour solution bien adaptée, croix rouge pour solution non recommandée, voire non autorisée).

pour solution bien adaptée, croix rouge pour solution non recommandée, voire non autorisée).

$$f_{dis} = 1 - 0,78 \cdot \frac{q_{m,REP}}{q_{m,RC,ref}} + 0,3 \cdot \left(\frac{q_{m,REP}}{q_{m,RC,ref}} \right)^2 \quad (9.8)$$

avec $q_{m,REP}$, débit massique du ventilateur d'extraction et $q_{m,RC,ref}$, débit massique de l'appareil avec RC lors d'un fonctionnement équilibré.

Le point 8.5 donne des indications pour évaluer la dépression.

9.5 Protection anti-givrage et désactivation de la RC

Protection anti-givrage

Le schéma de la figure 9.2 comporte toutes les solutions usuelles pour assurer la protection anti-givrage.

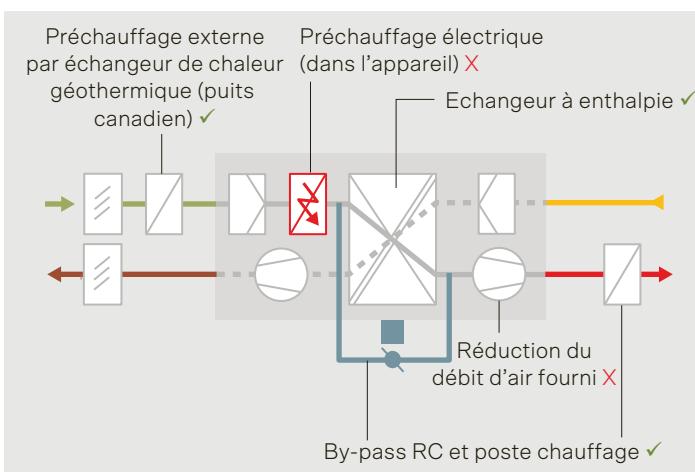
Suivant son efficience par rapport à l'humidité, un **échangeur à enthalpie** amène une bonne protection anti-givrage (voir point 9.3) et augmente en même temps l'humidité de l'air intérieur.

Un préchauffage externe combiné avec un **échangeur de chaleur géothermique** (voir point 6.7) réduit très peu les besoins de l'installation en énergie. En outre, le pré-refroidissement en été constitue un avantage accessoire. En revanche, l'amplitude des travaux et l'investissement élevé constituent des inconvénients.

Un **by-pass RC** fait baisser la température de l'air fourni ce qui peut entraîner des problèmes de confort si la protection anti-givrage est activée. Pour cette raison, un post-chauffage est en règle générale nécessaire. Etant donné que les registres de chauffage électrique ne sont souvent pas autorisés et de toute façon pas recommandés, le réchauffeur doit être alimenté par le chauffage. En raison des coûts, cette variante est surtout envisageable pour les installations de ventilation collectives.

De nombreux appareils de ventilation pour habitation offrent par défaut une **réduction du débit d'air fourni** comme protection anti-givrage. Si la protection est activée, une dépression se met en place dans l'appartement. En effet, l'air affluant par infiltration peut pénaliser le confort et provoquer des bruits de sifflement dans des cas extrêmes.

L'arrêt complet du ventilateur d'air fourni n'est pas admis selon les normes suisses. Par contre, la norme SIA 382/5 permet



de réduire le débit d'air fourni à condition que la dépression générée ne dépasse pas 5 Pa. Cette exigence est normalement remplie si le débit d'air fourni est réduit de 30 % au maximum. En cas de présence d'un poêle ou d'une cheminée de salon dans l'appartement, aucun déséquilibre des débits n'est admis. À un rapport de température de 80 % (rapport de débit massique = 1), cette réduction de 30 % du débit d'air fourni n'arrive plus à assurer la protection anti-givrage à partir d'une température extérieure de -5 °C environ. À des températures de dimensionnement plus basses, cette mesure doit par conséquent être combinée avec l'une des autres solutions présentées, par exemple avec un échangeur à enthalpie. Le rapport d'humidité de celui-ci est par ailleurs insuffisant pour assurer tout seul la protection anti-givrage à un rapport de débit massique de 1.

Un **préchauffage électrique** à installer directement dans l'appareil est disponible auprès de différents fournisseurs. Il peut entraîner une consommation

d'électricité élevée et provoque, en cas de basses températures extérieures, des pics sur la puissance électrique soutirée (voir point 9.8). Le préchauffage électrique à un ou deux régimes seulement n'est pas admis selon la norme SIA 382/5. Il est possible, mais non recommandé de réguler le préchauffage électrique en continu selon les besoins.

La norme EN 13142:2021 fournit à l'annexe F des valeurs indicatives et des modèles de calcul pour les besoins en énergie de la protection anti-givrage. Un modèle de calcul général applicable à toutes les stations climatologiques [4] a été élaboré à la Haute école de Lucerne. Le tableau 9.7 liste différentes valeurs indicatives pour la baisse/l'augmentation des besoins en énergie, respectivement en puissance thermique ou électrique, ceci pour les stations climatologiques «Zurich MeteoSuisse» et «Davos». Un chiffre supérieur à 0 signifie que les besoins résultants sont plus hauts que ceux d'une RC idéale (qui ne nécessite pas de protection anti-givrage).

Tableau 9.7: Besoins annuels en énergie et en puissance à la température de dimensionnement pour différentes solutions de protection anti-givrage de la RC, à un débit d'air de 1 m³/h, pour les stations climatologiques de «Zurich MeteoSuisse» et «Davos».

Solutions pour la protection anti-givrage	Type de consommation	Besoins en énergie et en puissance pour un débit d'air de 1 m ³ /h à la station climatologique de			
		Zurich SMA (-10 °C)		Davos (-20 °C)	
		thermique	électrique	thermique	électrique
Préchauffeur électrique avec un niveau ¹⁾	Energie en kWh/a	-0,51	2,1	-3,0	env. 16
	Puissance en W	-0,6	3,7	-1,1	7,2
Préchauffeur électrique, réglé en continu	Energie en kWh/a	-0,11	0,56	-0,43	3,5
	Puissance en W	-0,4	2,6	-0,8	5,2
Réduction du débit d'air neuf (de 30 % au maximum), réglé en continu, avec récupération d'humidité ²⁾	Energie en kWh/a	0,50	-0,05	3,0	-0,19
	Puissance en W	3,6	-0,1	4,2	-0,1
	$\eta_x \geq 0,50^{3)}$			$\eta_x \geq 0,80^{3)}$	
By-pass, réglé en continu	Energie en kWh/a	0,89	0,19	6,1	0,19
	Puissance en W	6,5	0,02	11,4	0,02
Préchauffage avec échangeur de chaleur sol-saumure	Energie en kWh/a	-0,24	0,38	-0,90	0,38
	Puissance en W	-0,4	0,2	-0,8	0,2
Préchauffage avec échangeur de chaleur air-sol	Energie en kWh/a	-0,58	0,19	-1,68	0,19
	Puissance en W	-0,4	0,02	-0,8	0,02
Echangeur à enthalpie et point d'activation de la fonction de protection anti-givrage plus bas que la température de dimensionnement ²⁾	Energie en kWh/a	0	0	0	0
	Puissance en W	0	0	0	0
	$\eta_x \geq 0,65^{3)}$			$\eta_x \geq 0,85^{3)}$	

1) Solution mentionnée uniquement à des fins de comparaison, non admise selon la norme SIA 382/5.

2) Pour comparer de manière pertinente, il faut tenir compte du fait que le rapport de température des échangeurs à enthalpie est en général inférieur de 5 % environ à celui des échangeurs sans récupération d'humidité.

3) Le rapport d'humidité indiqué est requis au taux d'humidité relative maximal admis de l'air ambiant selon le point 2.4.

- Les hypothèses suivantes s'appliquent:
- Activation de la protection anti-givrage en dessous de -2 °C
 - Rapport de température de 85 % environ

Désactivation de la récupération de chaleur en été

Le règlement (EU) 1253/2014 [5] exige en été un «dispositif de dérivation thermique» pour que la ventilation puisse être utilisée pour le refroidissement nocturne.

Les solutions usuelles sont les suivantes:

- By-pass (pour les appareils avec échangeurs de chaleur à plaques)
- Arrêt du rotor
- Réduction du débit d'air fourni, respectivement arrêt du ventilateur d'air fourni

Ces solutions présentent les mêmes avantages et inconvénients que ceux de la protection anti-givrage. Les deux premières sont recommandées et sans problèmes. La dernière solution peut causer des problèmes également en été.

9.6 Fuites et efficacité thermique

Les fuites ne sont pas souhaitées pour des raisons d'hygiène et d'énergie.

Les **fuites internes** correspondent à la fraction d'air repris présente dans l'air fourni et à la fraction d'air neuf présente dans l'air rejeté. A cet égard, l'étanchéité de la construction et surtout la disposition des ventilateurs jouent un rôle crucial. La présence d'air repris dans l'air fourni est problématique au niveau de l'hygiène et a pour conséquence un rapport de température trompeur. Le calcul des besoins en énergie corrige cet effet (voir point 9.8). La présence d'une certaine fraction d'air neuf dans l'air rejeté est acceptée, notamment et de manière délibérée avec des rotors. Son influence sur les besoins en énergie est déjà prise en compte par le rapport de température; aucune correction n'est donc nécessaire.

Avec un système rotatif, le transfert d'air par by-pass s'ajoute aux fuites internes. Il s'agit du volume d'air contenu dans le ro-

tor et qui sort du réseau des conduites à travers les joints posés entre air repris et air fourni. Afin que ce transfert ne se produise dans la mesure du possible que de l'air neuf vers l'air rejeté, des zones de purge sont parfois mises en place, en particulier pour les appareils de ventilation de grande taille. Dans le cadre de l'essai de performance de l'appareil, le transfert d'air par by-pass est compris dans les fuites internes.

Les fuites externes sont les débits d'air qui s'échappent à travers le caisson de l'appareil ainsi que ceux qui s'infiltrent à travers le caisson.

Pour les appareils VPL, un court-circuit des flux d'air – dû à la faible distance entre bouche d'air neuf et d'air rejeté – est possible. Il est appelé dans la norme **mélange externe**. Un **mélange interne** est possible de manière analogue entre l'air fourni et l'air repris.

L'évaluation et la classification des appareils selon la norme EN 13142 prennent en compte l'ensemble des fuites et transferts d'air cités. En fonction du type d'appareil, les essais de performance A, B et C (tableau 9.8) sont appliqués; ils ne peuvent pas être comparés directement. Pour tous les essais, la classe 1 correspond à la meilleure classification et la classe 3 à la plus mauvaise. Pour les appareils particulièrement peu étanches, il existe en outre la catégorie «non classifiée». Les directives écoconception exigent que les taux de fuites fassent partie intégrante de la déclaration de produit.

Le tableau 9.8 liste des valeurs indicatives de taux de fuite pour des appareils de ventilation correspondant aux deux meilleures classes de la norme EN 13142. Il est recommandé de choisir des appareils dont les valeurs déclarées ne sont pas supérieures aux valeurs listées.

Réduction du bénéfice d'une RC

Sur la base de la norme EN 13142:2021, le tableau 9.9 définit les facteurs de fuites utilisés dans le calcul des besoins en énergie.

Remarque: contrairement à la norme EN 13142, le modèle de calcul du présent ouvrage aborde l'influence du déséquilibre des débits séparément (voir point 9.4).

Augmentation du débit d'air

Les fuites ramènent une partie de l'air repris dans le bâtiment. Afin d'atteindre la qualité de l'air fourni d'un appareil sans fuites, il faut par conséquent augmenter le débit d'air en le multipliant par le facteur $f_{lk,v}$. Ce facteur est estimé de la manière suivante:

$$f_{lk,v} = 1 + o + w + y + 0,5 \cdot z \quad (9.9)$$

La définition des symboles de la formule se trouve à la légende du tableau 9.9.

9.7 Isolation thermique de la distribution de l'air

La figure 6.5 schématise différents emplacements énergétiquement favorables ou défavorables pour des appareils de ventilation et conduites d'air principales. Les déperditions thermiques sont générées par des flux de chaleur passant soit des locaux chauffés aux conduites d'air froid, soit des conduites d'air chaud aux locaux froids.

L'isolation thermique des conduites d'air doit être réalisée conformément à l'aide à l'application EN-105 du MoPEC 2014 «Installations de ventilation» [6].

Le graphe à la figure 9.3 indique les épaisseurs correspondantes, applicables si les conditions suivantes sont remplies:

Type de fuites et d'essais de performance	Pourcentage de fuites
Fuites externes	2 – 7 %
Fuites internes	
– Méthode A: essai statique	2 – 7 %
– Méthode B: essai au gaz traceur, avec chambre d'essai	1 – 3 %
– Méthode C: essai au gaz traceur, méthode par conduites	0,5 – 2 %
Mélange externe (uniquement pour les appareils sans raccordement aux conduites)	2 – 5 %
Mélange interne (uniquement pour les appareils sans raccordement aux conduites)	2 – 5 %

Tableau 9.8: Pourcentages indicatifs des fuites pour les appareils de ventilation résidentiels.

Raison de la correction	Formule pour appareils		
Fuites internes	Tous les appareils	$f_{lk,1} = 1$ $f_{lk,1} = 1 - 0,7 \cdot (w - 0,02)$	avec $w \leq 0,02$ avec $w > 0,02$
Mélange externe	Sans raccordement aux conduites	$f_{lk,2} = 1$ $f_{lk,2} = 1 - (o - 0,02)$	avec $o \leq 0,02$ avec $o > 0,02$
	Avec raccordement aux conduites ¹⁾	$f_{lk,2} = 1$	
Mélange interne	Sans raccordement aux conduites	$f_{lk,3} = 1$ $f_{lk,3} = 1 - (y - 0,02)$	avec $y \leq 0,02$ avec $y > 0,02$
	Avec raccordement aux conduites ¹⁾	$f_{lk,3} = 1$	
Fuites externes	Tous les appareils ²⁾	$f_{lk,4} = 1$ $f_{lk,4} = 1 - 0,5 \cdot (z - 0,03)$	avec $z \leq 0,03$ avec $z > 0,03$
Facteur de fuites thermique	Tous les appareils	$f_{lk,th} = f_{lk,1} \cdot f_{lk,2} \cdot f_{lk,3} \cdot f_{lk,4}$	

Tableau 9.9: Détermination des facteurs de fuites sur la base de la norme EN 13142.

¹⁾ Ce facteur dépend de l'emplacement des bouches d'air. Pour les installations usuelles, il n'y a pas de mélange externe.
²⁾ Valeur estimée s'écartant de la norme EN 13142.

o mélange externe, valeur relative rapportée au débit d'air de référence
w fuites internes, valeur relative rapportée au débit d'air de référence
y mélange interne, valeur relative rapportée au débit d'air de référence
z fuites externes, valeur relative rapportée au débit d'air de référence

- Conduites d'air rondes d'un diamètre maximal de 160 mm
- Débit d'air maximal de 220 m³/h en régime normal
- Appareil de ventilation avec RC (échangeur de chaleur à plaques ou rotor) mais pas de PAC air repris

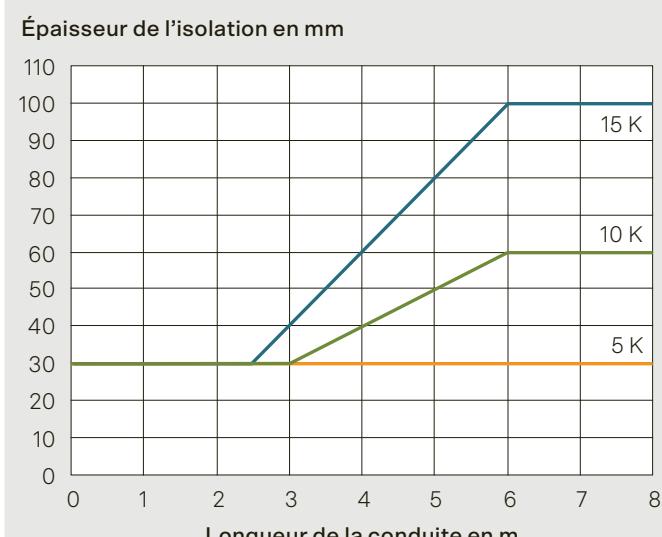
Dans tous les autres cas, les épaisseurs d'isolation déterminées s'appliquent pour une longueur de conduite de 8 m. Ces épaisseurs sont valables pour une conductivité thermique λ comprise entre 0,03 et 0,05 W/(m·K). Si la valeur λ est inférieure à 0,03 W/(m·K), il est possible d'adapter l'épaisseur de l'isolation de sorte que la déperdition thermique soit égale à celle qui se présente avec des épaisseurs correspondant à $\lambda = 0,04$ W/(m·K). C'est une obligation, si la valeur λ est supérieure à 0,05 W/(m·K).

Le risque de condensation doit être évalué indépendamment de ces exigences. Il peut être nécessaire de recourir à des épaisseurs d'isolation plus importantes et à un matériau isolant étanche à la diffusion de vapeur.

Les courbes du graphe sont à utiliser de la manière suivante:

- La courbe «5 K» est recommandée pour les **conduites d'air neuf et d'air rejeté** en dehors de l'enveloppe thermique

Figure 9.3: Epaisseur de l'isolation minimale de conduites d'air pour différentes différences de température en fonction de la longueur des conduites, selon la norme EN-105 [6]; pour la validité des courbes, se référer au texte.



du bâtiment dans les locaux fermés (locaux techniques, caves, p.ex.).

- La courbe «10 K» s'applique aux **conduites d'air fourni et d'air repris** en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment dans les locaux fermés des sous-sols (locaux techniques, caves, p.ex.) ainsi qu'aux **conduites d'air neuf et d'air rejeté** à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment dans le cas d'un préchauffage permanent de l'air avant la RC (échangeurs de chaleur géothermique (puits canadien), p.ex.).

- La courbe «15 K» s'applique aux **conduites d'air fourni et d'air repris** en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment (à exception de locaux situés dans les sous-sols, voir ci-dessus) ainsi qu'aux **conduites d'air neuf et d'air rejeté** à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment dans le cas d'installations sans préchauffage permanent de l'air avant la RC.

La réduction du bénéfice de la RC due aux déperditions thermiques de la distribution de l'air est définie dans ce contexte par le facteur de déperditions thermiques f_{ls} . Les calculs sont effectués à partir des éléments suivants:

$$f_{ls} = e^{-\frac{U_{lin} \cdot L_{tot} \cdot 3600}{\rho \cdot c_p \cdot q_v}} \quad (9.10)$$

avec

Cas typiques d'application des courbes en fonction du ΔT	
5 K	(Recommandation) Conduites d'air neuf et d'air rejeté dans les locaux non chauffés et fermés aux sous-sols (locaux techniques, caves, par exemple).
10 K	Conduites d'air fourni et d'air repris dans les locaux fermés aux sous-sols en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment (locaux techniques, caves, par exemple). Installations avec échangeur de chaleur géothermique (puits canadien) ou autres préchauffages de l'air en amont de la RC: conduites d'air neuf et d'air rejeté à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment.
15 K	Conduites d'air fourni et d'air repris en dehors de l'enveloppe thermique du bâtiment (locaux des sous-sols exceptés, voir ci-dessus). Installations sans échangeur de chaleur géothermique et sans autres préchauffages de l'air en amont de la RC: conduites d'air neuf et d'air rejeté à l'intérieur de l'enveloppe thermique du bâtiment.

e	Constante d'Euler (2,71828)
U_{lin}	Coefficient de transmission thermique linéaire de la conduite isolée en W/(m·K)
L_{tot}	Longueur totale des conduites isolées en m
ρ	Densité de l'air en kg/m ³
c_p	Capacité thermique spécifique de l'air en J/(kg·K)
q_v	Débit d'air en m ³ /h

Le graphe à la figure 9.4 indique le facteur f_{ls} en fonction de la longueur totale des conduites isolées pour différents diamètres et débits d'air. Les épaisseurs d'isolation correspondent aux exigences de la norme EN-105, selon la figure 9.3, courbe «15 K». La conductivité thermique λ est arrêtée à 0,04 W/(m·K).

9.8 Besoins annuels en énergie des installations

Les besoins annuels en énergie d'une installation de ventilation se composent

- des besoins en électricité pour le transport de l'air,
- des déperditions thermiques dues à la ventilation qui doivent être couvertes par le chauffage, et
- des besoins en énergie pour la protection anti-givrage.

Les modèles de calcul suivants se basent sur la méthode de calcul du règlement (EU) 1253/ 2014 et de la norme EN 13142:2021.

Transport de l'air

Les besoins en électricité des installations pour plusieurs logements sont à calculer selon la norme SIA 382/1. Pour les installations de ventilation individuelles et les appareils VPL, l'équation suivante peut être utilisée:

$$E_{el,v} = t_a \cdot q_{v,n} \cdot f_{CTRL}^{(x)} \cdot f_{fc} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot \frac{SPL}{1000} \quad (9.11)$$

avec

$E_{el,v}$ Besoins annuels en énergie électrique pour le transport de l'air en kWh/a

t_a Heures de fonctionnement annuel de l'installation de ventilation en h/a

$q_{v,n}$ Débit d'air en régime normal en m³/h

x Exposant exprimant le degré de rendement du transport de l'air

f_{CTRL} Facteur de commande/régulation selon tableau 9.11

f_{fc} Coefficient d'encrassement des filtres selon tableau 9.2

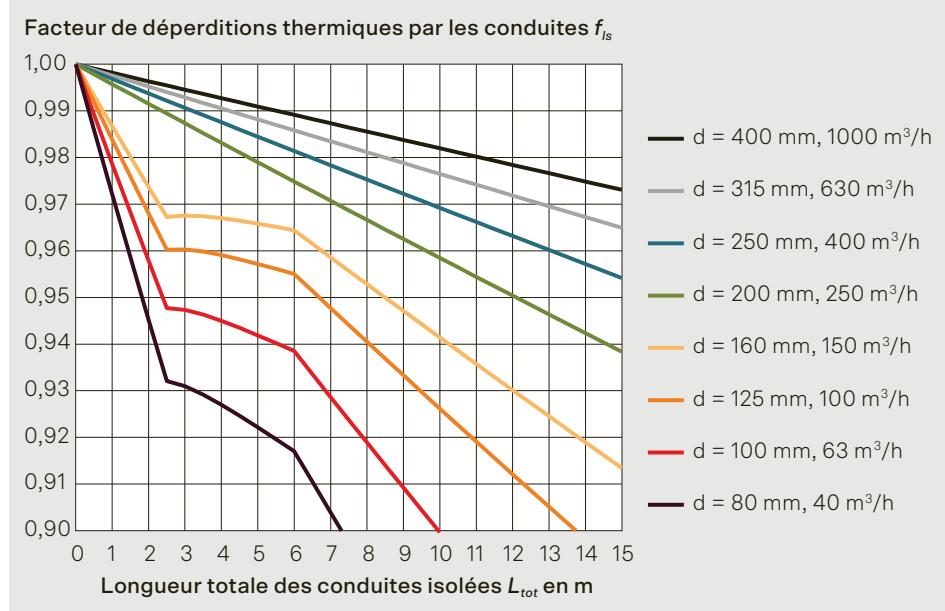


Figure 9.4: Facteur de déperditions thermiques par les conduites f_{ls}

$f_{lk,v}$ Facteur pour l'augmentation du débit d'air dû aux fuites selon point 9.6

v Sensibilité du débit d'air selon point 8.2

SPI Puissance électrique spécifique absorbée de l'installation de ventilation W/(m³·h) selon point 9.2

L'exposant x décrit le degré de rendement d'un transport de l'air à charge partielle. Selon la norme EN 13142:2021, les valeurs suivantes s'appliquent:

- Arrêt/marche à régime constant: $x = 1$
- Deux régimes fixes: $x = 1,2$
- Trois régimes fixes ou plus: $x = 1,5$
- Régime réglable de manière progressive: $x = 2$

Déperditions thermiques dues à la ventilation

Lors du calcul des besoins de chaleur pour le chauffage selon la norme SIA 380/1, c'est l'efficacité thermique

résultant de l'installation est utilisée. Elle est calculée selon la formule 9.12 (légende, voir formule 9.13).

$$\eta_{\theta,su,res} = f_{dis} \cdot f_{ls} \cdot f_{lk,th} \cdot \eta_{\theta,su} \quad (9.12)$$

Si aucun calcul n'est établi selon la norme SIA 380/1, les déperditions liées à la ventilation peuvent être estimées au moyen de la formule 9.13.

Dans la norme EN 13142 et le projet de révision du règlement (EU) 1235/2014 (état du 1.3.2021), un rapport de température η_5 est calculé. Si le calcul est établi au moyen de cette valeur au lieu du coefficient $\eta_{\theta,su}$ les équations 9.14 et 9.15 s'appliquent en lieu et place des équations 9.12 et 9.13.

Commande/régulation

Les facteurs pour différentes commandes/régulations sont listés au tableau 9.11. Les valeurs pour les installations de ventilation individuelles se

$$E_{th,v} = t_h \cdot \Delta T_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{q_{v,n}}{3600} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot (1 - f_{dis} \cdot f_{ls} \cdot f_{lk,th} \cdot \eta_{\theta,su}) \quad (9.13)$$

avec

t_h Durée de la période de chauffage selon tableau 9.10 en h/a

ΔT_h Ecart moyen entre la température intérieure et la température extérieure au cours d'une période de chauffage, après soustraction des apports de chaleur pour correction des gains solaires et internes

ρ Densité de l'air en kg/m³

c_p Capacité thermique spécifique de l'air kJ/(kg·K)

$q_{v,n}$ Débit d'air en régime normal en m³/h

f_{CTRL} Facteur de commande/régulation selon tableau 9.11

f_{dis} Facteur de déséquilibre selon formule 9.7

f_{ls} Facteur de déperditions thermiques selon point 9.7

$f_{lk,v}$ Facteur d'augmentation du débit d'air due aux fuites selon point 9.6

$f_{lk,th}$ Facteur thermique de fuites selon tableau 9.9

v Sensibilité du débit d'air selon point 8.3

$\eta_{\theta,su}$ Rapport de température selon formule 9.3

$$\eta_{\theta,su,res} = f_{ls} \cdot f_{lk,4} \cdot \eta_5 \quad (9.14)$$

$$E_{th,v} = t_h \cdot \Delta T_h \cdot \rho \cdot c_p \cdot \frac{q_{v,n}}{3600} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot (1 - f_{ls} \cdot f_{lk,4} \cdot \eta_5) \quad (9.15)$$

avec

η_5 Rapport de température corrigé selon la norme EN 13142:2019, tableau 2

$f_{lk,4}$ Facteur de fuites externes, tableau 9.9

basent sur le projet de révision du règlement (EU) 1253/2014, état du 1.3.2021.

Les valeurs pour les appareils VPL et les ventilateurs d'extraction sont des estimations de l'auteur.

Ventilation naturelle

Une ventilation naturelle a toujours lieu dans les logements, en plus de la ventilation mécanique. Elle comprend l'ouverture des portes et fenêtres ainsi qu'une infiltration indépendante du système de ventilation. Voici les valeurs indicatives pour la période de chauffage:

- Installations avec air fourni et repris: 0,10 m³/h par m² de surface de référence énergétique (SRE)
- Installations d'air repris avec bouches d'air neuf: 0,05 m³/h par m² de SRE

$$E_{defr,th} = q_{v,n} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot f_{defr,th} \quad (9.16)$$

Les besoins en énergie électrique pour la protection anti-givrage d'une RC se calculent de la manière suivante:

$$E_{defr,el} = q_{v,n} \cdot f_{CTRL} \cdot f_{lk,v} \cdot (1 + 0,5 \cdot v) \cdot f_{defr,el} \quad (9.17)$$

avec

$q_{v,n}$ Débit d'air au régime normal en m³/h

f_{CTRL} Facteur de commande/régulation, voir tableau 9.11

$f_{lk,v}$ Facteur pour l'augmentation du débit d'air dû aux fuites selon point 9.6

$f_{defr,el}$ Besoins spécifiques en énergie électrique pour la protection anti-givrage selon tab. 9.7 en W/(m³/h)

Besoins en énergie pour la protection anti-givrage

Les besoins en énergie thermique pour la protection anti-givrage d'une RC se calculent de la manière suivante:

Description	Symbole	Unité	Climat		
			Froid ¹⁾	Moyen ²⁾	Chaud ³⁾
Durée de la période de chauffage	t_h	h/a	6552	5112	4392
Ecart moyen entre la température intérieure et la température extérieure, après soustraction des apports de chaleur pour correction des gains solaires et internes.	ΔT_h	K	14,5	9,5	5,0

1) Climat européen froid, correspondant au climat alpin à une altitude de 1500 m, par exemple.

2) Climat européen moyen, correspondant au climat sur le Plateau suisse, par exemple.

3) Climat européen chaud, correspondant au sud du Tessin, par exemple.

Tableau 9.10:
Valeurs standard
pour t_h et ΔT_h selon
le règlement (EU)
1253/2014 [5].

Type de commande/ régulation	Valeurs f_{CTRL} pour la commande/régulation		
	Installation de ventilat. individ. ¹⁾	Appareils VPL (ventilat. par local) ²⁾	Air repris Bain/ WC ³⁾
Aucune (fonctionnement continu)	1,00	1,00	1,00
Manuelle	0,75	0,75	0,20
Programme horaire	0,70	0,70	0,15
Commande selon les besoins avec capteur dans l'air repris du logement	0,70	–	–
Régulation selon les besoins avec capteur dans la zone de transit	0,65	–	–
Régulation selon les besoins avec capteurs dans tous les locaux d'air repris	0,60	–	0,10
Régulation selon les besoins avec capteurs dans tous les locaux d'air fourni	0,50	0,50	–

1) Aération douce ou installation simple d'air repris avec bouches d'air neuf

2) Appareil avec air fourni et air repris disposé dans un local d'air fourni

3) Ventilateur individuel pour un local d'air repris, calculé pour un régime fixe (exposant x = 1)

Tableau 9.11:
Valeurs f_{CTRL} de
différentes installa-
tions de ventilation.

Comparatif de systèmes de ventilation pour habitations

Le comparatif comprend les catégories principales de systèmes de ventilation pour habitations traitées aux chapitres 6 à 8. Il part pour chaque catégorie d'une installation optimale et d'une installation défavorable. Celles-ci sont succinctement décrites au tableau 9.12. Le tableau 9.13 résume les hypothèses et définitions ainsi que les résultats des calculs intermédiaires et finaux. Les calculs ont été effectués avec des valeurs d'appareils standard. Le comparatif se base sur les hypothèses suivantes:

- Climat moyen selon tableau 9.10
- Appartement de 4,5 pièces d'une surface de référence énergétique de 140 m²
- Bain/WC borgne, douche/WC borgne
- Chauffage des locaux par PAC, coefficient de performance annuel de 4,0

Le comparatif montre qu'une aération douce optimale présente les besoins annuels les plus bas en énergie. Il en ressort également que les besoins en énergie varient d'un facteur de 2 à 3 entre une installation optimale et une installation défavorable. L'aération par les fenêtres obtient des résultats nettement meilleurs que tous les systèmes mécaniques dans le cas d'une installation défavorable.

La figure 9.5 compare les mêmes systèmes indiquant la consommation d'énergie spécifique par m² de surface de référence énergétique, et non pas la consommation globale d'énergie. Ces valeurs sont transposables de manière générale à d'autres tailles d'appartement ainsi qu'à des maisons unifamiliales.

Les besoins en puissances spécifiques des mêmes systèmes de ventilation sont

Var.	Description
A	Aération par les fenêtres et ventilateurs d'extraction Aération par ouverture manuelle des fenêtres dans les chambres et au salon. Le renouvellement d'air de 0,7 m ³ /h par m ² de surface de référence énergétique correspond à la valeur standard de la norme SIA 380/1. Ventilateurs d'extraction au bain/WC et à la douche/WC, marche/arrêt selon les besoins.
B	Aération douce, installation de ventilation individuelle Installation optimale Circulation de l'air selon le principe «cascade» (sans air fourni au salon); RC avec échangeur à enthalpie; régulation selon les besoins avec capteur dans la zone de transit; emplacement de l'appareil selon le tableau 6.2, variante A; perte de charge moyenne. Installation défavorable Air fourni dans toutes les chambres et au salon, RC sans récupération d'humidité; protection anti-givrage de la RC par préchauffage électrique régulé en continu; commande par commutateurs manuels; emplacement de l'appareil selon tableau 6.2, variante C; perte de charge élevée et filtres supplémentaires aux bouches d'air repris.
C	Installations d'air repris avec bouches d'air neuf Installation optimale Bouches d'air neuf dans chaque chambre (sans salon); régulation selon les besoins avec capteurs d'humidité dans tous les locaux d'air repris; perte de charge moyenne. Installation défavorable Bouches d'air neuf dans chaque chambre et au salon; fonctionnement continu à régime fixe; perte de charge élevée.
D	Appareils VPL et ventilateurs d'extraction Installation optimale Appareil VPL dans chaque chambre et au salon; RC avec échangeur à enthalpie, régulation par local selon les besoins; ventilateur d'extraction au bain/WC et à la douche/WC avec marche/arrêt selon les besoins. Installation défavorable Appareil VPL dans chaque chambre et au salon; RC sans récupération d'humidité; protection anti-givrage de la RC par arrêt des appareils à -5 °C; tous les appareils ainsi que les ventilateurs d'extraction au bain/WC et à la douche/WC avec commutateurs manuels marche/arrêt.

Tableau 9.12: Description sommaire des systèmes de ventilation comparés au tableau 9.13.

présentés à la figure 9.6. Les hypothèses suivantes s'appliquent:

- Température extérieure: -10 °C
- Température ambiante: +20 °C
- Coefficient de performance de la pompe à chaleur: 3,0

Étant donné que les pointes de puissance électrique gagnent en importance en politique énergétique, cette comparaison est toute aussi intéressante que celle des besoins annuels en énergie. Ici, la différence entre une aération

Tableau 9.13: Comparaison entre différentes ventilations pour un app. de 4.5 pièces. Description des systèmes, voir tableau 9.12.

Paramètres	Source Cha-pitre	Sym-bole	Unité	Variante							
				Aér. par fenêtres		Aération douce		Inst. REP avec BAN		VPL + ventil. d'extract.	
				A	B1	B2	C1	C2	D1	D2	
Dimensionnement des débits d'air											
Installation principale, régime normal	6, 7, 8	$q_{v,n}$	m^3/h	98	90	120	120	150	120	120	
Par ventilateur d'extraction supplémentaire	7	$q_{v,REP}$	m^3/h	50					50	30	
Appareil de ventilation											
Rapport de température	9.3	$\eta_{\theta,su}$			0,80	0,85			0,80	0,70	
Fuites internes	9.6	w			0,01	0,04			0,05	0,08	
Fuites externes	9.6	z			0,02	0,05	0,03	0,03	0,05	0,08	
Mélange interne	9.6	y							0,02	0,05	
Mélange externe	9.6	o							0,05	0,05	
Facteur de fuites résultant	9.6	$f_{lk,res}$			1,00	0,98	1,00	1,00	0,95	0,89	
Facteur de compensation du filtre	9.1	f_{fc}			1,1	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	
Sensibilité du débit d'air	9.4	v			0,05	0,05	0,10	0,20	0,20	0,35	
Facteur de déséquilibre	9.4	f_{dis}			0,99	0,99			0,92	0,85	
Puissance spécifique des ventilateurs	9.2	SPI	$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$		0,25	0,33	0,12	0,15	0,20	0,20	
Ventilateurs d'extraction											
Durée de fonctionnement par ventilateur	7	t_d	h/d	2					2	12	
Puissance spécifique des ventilateurs	9.2	SPI	$\text{W}/(\text{m}^3/\text{h})$	0,12					0,12	0,12	
Energie électrique, transport de l'air											
Installation principale	9.8	$E_{el,v,1}$	kWh/a	0	96	234	58	264	79	203	
Ventilateur d'extraction	9.8	$E_{el,v,2}$	kWh/a	11	0	0	0	0	10	51	
Energie thermique, installation principale											
Durée de fonctionnement en hiver	9.8	t_h	h/a	5112	5112	5112	5112	5112	4260	0	
Longueur des conduites isolées	9.7	L	m		1,5	13,5					
Diamètre intérieur	9.7	d_i	mm		125	160					
Facteur des pertes de distribution	9.7	f_{ls}			0,98	0,91					
Energie thermique, installation principale	9.8	$E_{th,v,1}$	kWh/a	1552	222	387	1215	2653	300	0	
Fonctionnement mixte avec ventilateur REP											
Facteur de déséquilibre	9.4	$f_{dis,2}$							0,62	0,70	
Energie thermique, fonctionnement mixte	9.8	$E_{th,v,2}$	kWh/a						177	2994	
Ventilation naturelle, rapportée à la SRE		q_{nat}	$(\text{m}^3/\text{h})/\text{m}^2$		0,10	0,10	0,05	0,05	0,09	0,03	
Energie thermique, ventilation naturelle	9.8	$E_{th,v,nat}$	kWh/a		222	222	111	111	203	55	
Protection anti-givrage de la RC											
Energie électrique	9.8	$E_{derf,el}$	kWh/a		0	55			0	0	
Energie thermique	9.8	$E_{derf,th}$	kWh/a		0	-11			0	115	
Besoins totaux en énergie											
Energie électrique, ventilation en été		$E_{el,v,été}$	kWh/a	5	40	98	24	110	37	106	
Energie électrique, ventilation en hiver		$E_{el,v,hiv}$	kWh/a	7	56	192	34	154	52	149	
Energie thermique, ventilation		$E_{th,v,tot}$	kWh/a	1552	444	598	1326	2764	680	3164	
Besoins en énergie électrique de la PAC		$E_{el,PAC}$	kWh/a	388	111	150	332	6691	170	791	
Energie électrique pour la ventilation et la PAC		$E_{el,tot}$	kWh/a	399	207	439	390	955	259	1046	

douce optimale et celle défavorable est encore plus prononcée. C'est en particulier le préchauffage électrique de la protection anti-givrage pour la RC qui pèse dans les besoins.

Les résultats du comparatif dépendent en grande partie du coefficient de performance supposé de la pompe à chaleur. Le tableau 9.14 indique les coefficients de performance qui seraient nécessaires pour qu'un système mécanique de ventilation pour habitations ait les mêmes besoins en énergie et en

puissance pendant la période de chauffage que la variante A avec aération par les fenêtres. Pour atteindre ces valeurs, l'installation doit être exploitée de manière économique en énergie, c'est-à-dire déclenchée en été ou alors enclenchée pour des durées courtes uniquement (indépendamment du confort et du problème d'humidité).

Le tableau 9.14 montre les points forts d'une aération douce conçue de manière optimale: elle a une meilleure efficacité énergétique que les pompes à chaleur

Figure 9.5: Besoins annuels spécifiques en énergie électrique (rapportée à la SRE) pour différents systèmes de ventilation sur le Plateau suisse, avec chauffage des locaux par pompe à chaleur (COP 4,0); conditions-cadres voir texte. ■ Ventilation naturelle ■ Chauffage de l'air fourni ■ Protection anti-givrage ■ Transport de l'air en hiver ■ Transport de l'air en été

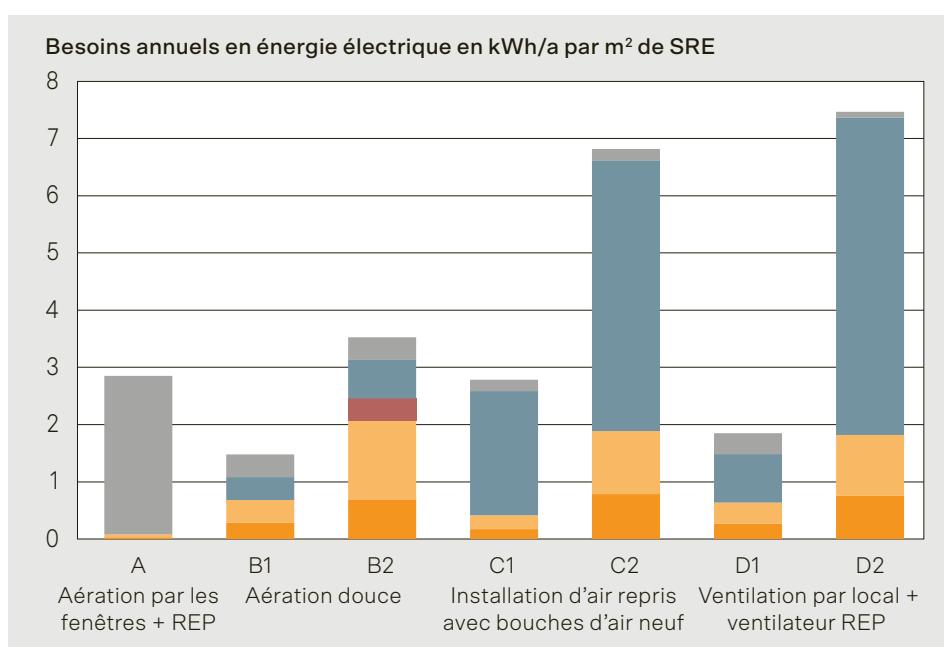
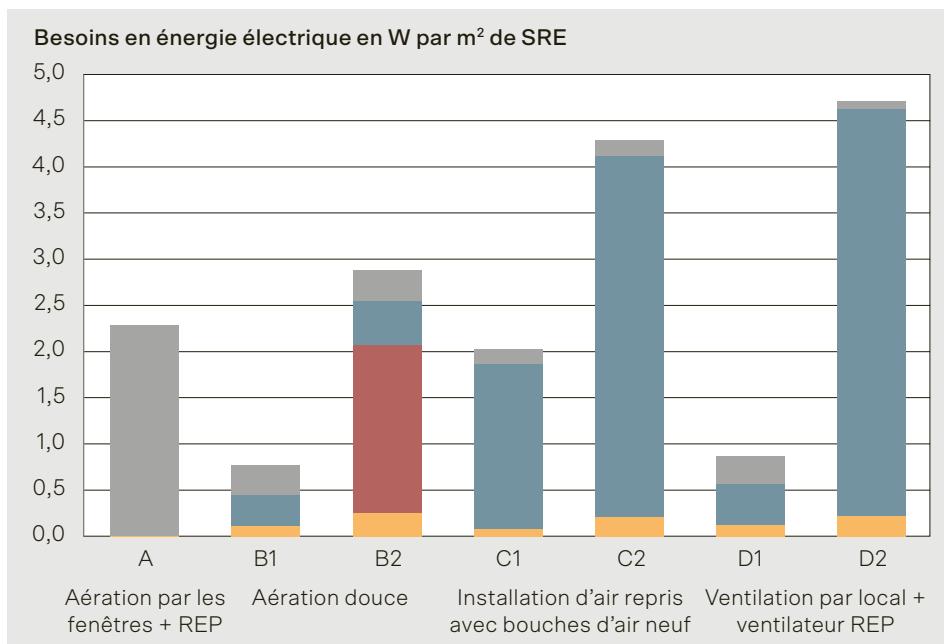


Figure 9.6: Besoins spécifiques en puissance électrique (rapportés à la SRE) pour différents systèmes de ventilation à une température extérieure de -10 °C, avec chauffage des locaux par pompe à chaleur (coefficient de performance, COP, 3,0). ■ Ventilation naturelle ■ Chauffage de l'air fourni ■ Protection anti-givrage ■ Transport de l'air



les plus performantes. Plus les températures extérieures sont basses, plus son avantage s'accroît. Le tableau met aussi en évidence qu'une aération douce défavorable est mauvaise en comparaison avec des pompes à chaleur répondant à la technique actuelle.

D'un point de vue énergétique, les appareils VPL les plus performants avec échangeur à enthalpie sont aussi intéressants. Les installations défavorables recourant à de tels appareils obtiennent en revanche de très mauvais résultats. C'est surtout le fonctionnement continu des ventilateurs d'extraction qui pénalise le bilan énergétique annuel. Lors de basses températures extérieures, cette situation est due à la protection anti-givrage. Il faut cependant garder à l'esprit que tous les systèmes mécaniques améliorent le confort en comparaison avec l'aération par les fenêtres – aussi en dehors de la période de chauffage.

9.9 Ecoconception et classification énergétique

Les règlements européens sur l'écoconception [5] [7] exigent que les appareils de ventilation pour habitations soient munis d'une étiquette-énergie (figure 9.7). L'ordonnance suisse sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique (OEEE) [8] a repris cette exigence. Les directives suisses et européennes exigent par ailleurs une information adéquate sur les produits.

Le fournisseur a l'obligation de publier sur Internet l'étiquette-énergie et la fiche de produit. Cette exigence s'applique uniquement aux appareils avec

un débit de dimensionnement inférieur à 250 m³/h. Officiellement, tout comme dans la déclaration obligatoire, ces appareils sont appelés «unités de ventilation résidentielles».

Pour les appareils avec un débit compris entre 250 et 1000 m³/h, le fournisseur est libre de déclarer l'appareil comme unité de ventilation résidentielle ou non résidentielle. Les appareils avec un débit supérieur à 1000 m³/h doivent par contre toujours être déclarés comme unité de ventilation non résidentielle.

La désignation utilisée dans la déclaration ne se rapporte donc pas à l'affectation de l'appareil. C'est son débit qui est déterminant. Pour les débits compris entre 250 et 1000 m³/h, la désignation est simplement laissée à l'appréciation des fournisseurs. En d'autres termes: il est possible d'utiliser des appareils de ventilation non résidentiels pour des installations collectives pour habitation, par exemple, ou des appareils résidentiels pour des bureaux de petite taille.

L'efficacité énergétique, appelée la SEC (Seasonal Energy Consumptionen, en français: consommation d'énergie spécifique), exprime le supplément de consommation par rapport à une aération par les fenêtres. Ainsi, pour les appareils avec RC, la SEC est négative. Les appareils modernes avec RC atteignent généralement la classe d'efficacité énergétique A ou A+. Les appareils d'extraction avec régulation selon les besoins atteignent généralement la classe B ou C. Le modèle de calcul pour évaluer l'efficacité énergétique est comparable à la procédure décrite au point 9.8. Par contre, il simplifie trop le calcul des besoins en

Tableau 9.14:
Coefficient de performance nécessaire de la pompe à chaleur pour qu'un système de ventilation atteigne les mêmes besoins en énergie et en puissance pendant la période de chauffage qu'une aération par les fenêtres.

Cas	Coefficient de performance nécessaire d'une PAC pour les mêmes besoins en énergie, resp. en puissance que l'aération par les fenêtres (variante A)					
	Aération douce		Installations d'air repris avec bouches d'air neuf		Appareils VPL (ventilation par local) et ventilateurs d'extraction	
	B1	B2	C1	C2	D1	D2
Valeur moyenne pendant la saison de chauffage	22	5,2	8,3	< 1	11	< 0
A une température extérieure de -10 °C	65	2,2	23	< 1	72	< 0

énergie pour la protection anti-givrage de la RC. Il arrive ainsi qu'un appareil avec une protection anti-givrage discutable atteigne tout de même la classe d'efficacité énergétique A+.

A l'échéance rédactionnelle du présent document, la révision des exigences d'ecoconception pour les unités de ventilation résidentielles était en cours. Les principales modifications envisagées étaient les suivantes:

- Meilleure prise en compte des fuites et de la sensibilité du débit d'air dans le calcul de l'efficacité énergétique.
 - Mise en place d'un bonus pour la récupération d'humidité.
 - Prise en compte plus différenciée de la protection anti-givrage de la RC.
 - Evaluation plus différenciée de la commande/régulation.
 - Classe A comme meilleure classe d'efficacité énergétique possible (au lieu de la classe A+).

9.10 Remarques sur les appareils multifonctions

Les appareils multifonctions comportent une pompe à chaleur (PAC) qui tire profit de la chaleur de l'air repris. Elle complète voire remplace une RC. Selon le type de

construction, la chaleur fournie par la PAC est utilisée pour produire de l'eau chaude sanitaire, chauffer l'air fourni et/ou apporter un appoint au chauffage. Certains appareils permettent de faire fonctionner la PAC de manière réversible pour refroidir l'air fourni ou un circuit hydraulique frigorifique.

La question de savoir si un appareil multifonctionnel est énergétiquement judicieux ou non est à traiter dans le cadre du concept énergétique. A titre d'exemple, une PAC sur air repris avec un coefficient de performance de tout juste 3 n'est pas très judicieuse si une PAC à sondes géothermiques se trouve dans le même bâtiment rendant disponible la même chaleur avec un coefficient de 4. Si un léger refroidissement est prévu, une PAC sur air repris réversible peut constituer une alternative avantageuse et économique en énergie face à un climatiseur split. Lors de l'utilisation d'appareils multifonctions dans les bâtiments d'habitation, les points suivants sont à respecter:

- Dégivrage: une PAC sur air repris peut givrer et doit donc comporter une fonction de dégivrage. Pendant le dégivrage, le rapport de débit massique entre l'air fourni et repris ne doit pas être modifié.

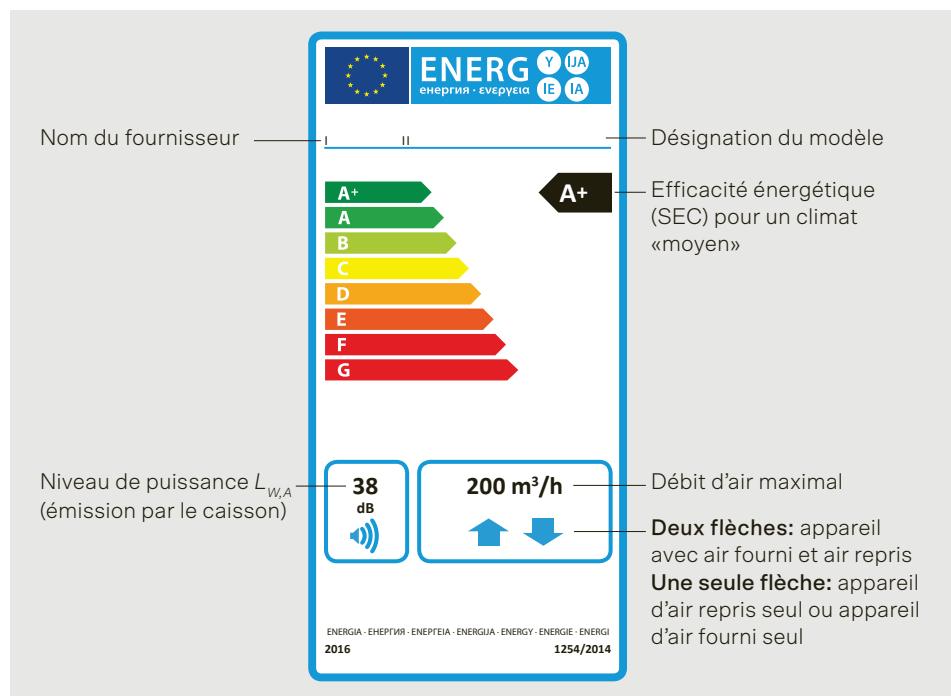


Figure 9.7: Etiquette-énergie pour unités de ventilation résidentielles, état 2021. (Source: VO (EU) 1254/2014 [7])

En effet, dans les bâtiments étanches, l'arrêt du ventilateur d'air fourni générerait une dépression inacceptable.

- Définition des données de performance: la puissance thermique et le coefficient de performance des appareils multifonctions peuvent être définis de différentes manières. Certains fournisseurs considèrent les appareils comme des boîtes noires; le coefficient de performance comprend alors également la puissance thermique de la PAC. Selon d'autres définitions, les données de performance de la RC et de la PAC sont à indiquer séparément. Pour le calcul des besoins en énergie et les justificatifs selon les standards et prescriptions suisses, c'est précisément ce qui est exigé. Les différentes définitions et les essais de performance correspondants figurent dans la norme EN 16573 [9].

9.11 Bibliographie

- [1] ISO 16890-1:2016 Filtres à air de ventilation générale – Partie 1: Spécifications techniques, exigences et système de classification fondé sur l'efficacité des particules en suspension (ePM)
- [2] EN 779:2012 Filtres à air de ventilation générale pour l'élimination des particules – Détermination des performances de filtration
- [3] EN 13142:2021 Ventilation des bâtiments – Composants/produits pour la ventilation des logements – Caractéristiques de performances exigées et optionnelles
- [4] Huber, Heinrich; Liniger, Michael: Standardlüftungssysteme, Berechnungs- und Nachweisverfahren für Standardlüftungssysteme in Wohnbauten. Hochschule Luzern, Horw, 2018. (erstellt im Auftrag von EnergieSchweiz, BFE, Bern)
- [5] Règlement (UE) No 1253/2014 de la commission du 7 juillet 2014 portant mise en œuvre de la directive 2009/125/CE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne les exigences d'écoconception pour les unités de ventilation
- [6] Aide à l'application EN-105 Installations de ventilation, édition décembre 2018. Téléchargement sur www.endk.ch → Professionnels → Aides à l'application
- [7] Règlement délégué (UE) No 1254/2014 de la commission du 11 juillet 2014 complétant la directive 2010/30/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'étiquetage énergétique des unités de ventilation résidentielles
- [8] Ordonnance suisse sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique d'installations, de véhicules et d'appareils fabriqués en série (ordonnance sur les exigences relatives à l'efficacité énergétique, OEEE) du 1^{er} novembre 2017 (état le 1^{er} mars 2021 RS 730.02. Téléchargement sur <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/765/fr>
- [9] EN 16573:2017 Ventilation des bâtiments – Essais de performance des composants pour les bâtiments résidentiels – Centrales de ventilation double flux multifonctions pour les logements individuels, comprenant des pompes à chaleur
- [10] Verein Deutscher Ingenieure, VDI-Gesellschaft Verfahrenstechnik und Chemieingenieurwesen (GVC) (Hrsg.): VDI-Wärmeatlas. 12., bearbeitete und erweiterte Auflage. Springer, Berlin u. a., 2019

Utilisations et installations spéciales

10.1 Zones de cuisson

La ventilation de la zone de cuisson fait partie intégrante du concept de ventilation. L'objectif est de capter et de neutraliser les émanations de cuisson¹ le plus directement et le plus complètement possible. La norme SIA 382/5 exige à cet effet une ventilation intensive pouvant être enclenchée et déclenchée par les utilisateurs. La fiche technique «Ventilation de la zone de cuisson» de Suisse Energie [1] donne un aperçu des différents types de hotte d'aspiration, techniques de filtration et dispositifs de renouvellement d'air; elle informe sur l'étiquette-énergie et indique des références bibliographiques complémentaires.

Hottes à recyclage d'air

Les hottes à recyclage d'air aspirent les émanations de cuisson, retiennent les particules de graisse au moyen d'un filtre à graisse et les odeurs au moyen d'un filtre à odeurs. L'air filtré est ensuite redirigé dans la cuisine (voir figure 10.1). Les odeurs sont retenues par des filtres à charbon actif, soit régénératifs, soit à usage unique. Selon le produit, l'intervalle de maintenance varie de quelques mois à plusieurs années; un intervalle de trois à six mois est usuel. L'efficacité des

¹ Emanations générées par la cuisson, composées essentiellement de vapeur d'eau et de particules de graisse

filtres régénératifs se dégrade avec le temps. Il est recommandé de les remplacer tous les trois ans environ. Il existe aussi des hottes avec filtres à plasma ou encore à ionisation, qui sont souvent combinés avec un filtre à charbon actif. Les filtres à plasma et à ionisation doivent eux aussi être maintenus et remplacés après trois à cinq ans. Un filtrage complet des odeurs est toutefois impossible; les hottes à recyclage empêchent moins bien la propagation des odeurs que les hottes à extraction (voir schéma ci-dessous). Par conséquent, en cas d'exigences élevées, il est judicieux de s'assurer que les utilisateurs acceptent cette solution.

Hottes à extraction d'air

Les hottes à extraction d'air aspirent et évacuent les émanations de cuisson directement à l'extérieur. L'air rejeté est à évacuer en principe par le toit. Il peut être exceptionnellement admis de le rejeter par la façade à condition de n'in-

Attention au taux d'humidité!

Les hottes à recyclage d'air n'évacuent aucune humidité. Dès lors, il ne faudrait y recourir uniquement en combinaison avec une ventilation mécanique pour habitations qui évacue l'humidité pendant toute l'année. Les hottes à recyclage ne sont pas conseillées avec des cuisinières à gaz.

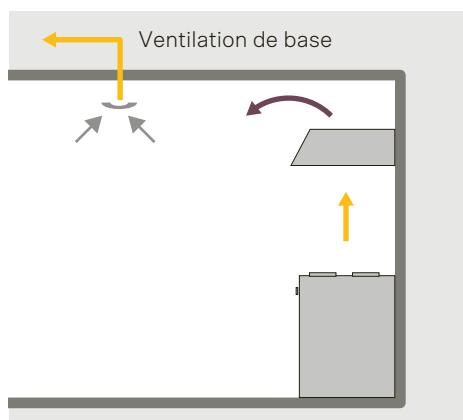


Figure 10.1: Hotte à recyclage d'air, combinée avec une ventilation de base.

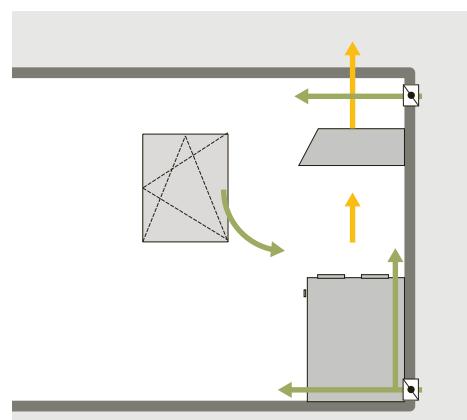


Figure 10.2: Hotte à extraction d'air avec différentes solutions pour l'apport de l'air de remplacement (schéma).

commode personne par les odeurs. La conduite d'air rejeté est a priori équipée d'un clapet anti-retour. Une bague d'air rejeté peut tout de même affaiblir l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment et constituer un pont de froid. Pour remédier à ce problème, il existe des bouches d'air rejeté isolées et fermant hermétiquement.

L'air de renouvellement doit être fourni sans provoquer une dépression non admise dans le logement. Pour les foyers ouverts dans l'appartement, cet aspect est traité au point 10.2. Pour les logements sans foyer ouvert, il est recommandé de dimensionner le débit de renouvellement avec une dépression maximale de 12 Pa. Dans les bâtiments à risque accru de radon, il faut toutefois éviter de générer des dépressions. La figure 10.2 schématisé différentes solutions qui sont abordées dans les paragraphes suivants.

Renouvellement d'air par bouches d'air ou caissons muraux

En plus des éléments de ventilation classiques, des caissons muraux spéciaux entrent en ligne de compte pour faire affluer l'air de remplacement des hottes à extraction. Leur dimensionnement s'effectue en principe de manière analogue à celui des bouches d'air neuf selon le point 7.2.

Les bouches d'air neuf et composants de ventilation classiques destinés au renouvellement de l'air sont à utiliser uniquement pour des petites hottes à extrac-

tion (jusqu'à 300 m³/h environ) afin de ne pas dépasser la dépression admise de 12 Pa (exemple de calcul 10.1). Pour les hottes à extraction plus grandes, les bouches d'air neuf nécessaires affaiblissent trop l'isolation acoustique et constituent des ponts de froid. Il y a possibilité de recourir à des composants spéciaux disponibles auprès des fournisseurs de hottes à extraction.

A l'arrêt de la hotte d'aspiration, les dispositifs de renouvellement d'air doivent se fermer de manière étanche au moyen de clapets automatiques. Selon la norme SIA 382/5, chiffre 5.3.2.13, ceux-ci doivent remplir l'exigence suivante:

$$q_{v,I} \leq 10,46 \cdot A_f \cdot \Delta p^{0,57} \quad (10.1)$$

avec

$q_{v,I}$ Débit des fuites avec clapet fermé en m³/h

A_f Surface frontale du dispositif de renouvellement d'air en m²

Δp Pression différentielle au-dessus du dispositif de renouvellement d'air en Pa

Renouvellement d'air par fenêtres ouvertes

Le dispositif de renouvellement d'air le plus simple et le plus avantageux est une fenêtre de cuisine. Cependant, il faut pouvoir la laisser ouverte même en cas de vent et de pluie; elle devrait être abritée par un balcon, par exemple.

La largeur d'ouverture minimale requise d'une fenêtre à ouverture oscillante ou

Exemple de calcul 10.1: hottes de cuisine, protection contre le bruit et physique du bâtiment

Il est prévu d'équiper une cuisine avec une hotte à extraction d'air d'un débit de 600 m³/h – comment une bague d'air neuf influence-t-elle la protection contre le bruit et la physique du bâtiment?

Selon le point 7.2 et afin d'éviter pour un tel débit d'air que la chute de pression due à la grille pare-pluie dépasse environ 12 Pa (sans autres composants de renouvellements d'air), il faut recourir à deux grilles pare-pluie rondes d'un diamètre nominal de 250 mm (section libre 70%, valeur zéta rapportée à la section libre 4,0). De telles sections affaibliraient cependant de manière non admise la protection contre le bruit extérieur de l'enveloppe et constitueraient par ailleurs des points faibles sous l'angle de la physique du bâtiment (ponts de froid, étanchéité à l'air).

battante peut être estimée de la manière suivante:

$$s \geq 0,03 \cdot \frac{q_v}{b+h} \cdot \Delta p_{lim}^{-0,5} \quad (10.2)$$

avec

- s Largeur minimale d'ouverture nécessaire du vantail de la fenêtre en cm
- q_v Débit d'air de la hotte à extraction en m^3/h
- b Largeur du vantail en m
- h Hauteur du vantail en m
- Δp_{lim} Dépression admise dans le logement en Pa

L'exemple de calcul 10.3 permet de déduire qu'un vantail oscillant permet sans problème le renouvellement d'air, même pour les grandes hottes à extraction. La question est de savoir si celui-ci pénalise le confort thermique.

Lorsque la hotte à extraction fonctionne, il y a généralement un excédent de chaleur dans la cuisine. Mais cette situation est de courte durée et les personnes sont souvent actives et concentrées sur la cuisine. Il est ainsi fort probable qu'un débit d'air de $500 \text{ m}^3/\text{h}$ ne provoque guère de réclamations. Tout de même:

plus le débit d'air d'une hotte est faible, moins il y a de risque que le confort devienne un problème.

Il arrive parfois que les utilisateurs oublient d'ouvrir la fenêtre pendant la cuisson. Pour cette raison, la hotte à extraction est souvent couplée à un interrupteur de contact à la fenêtre. Une autre solution, plus coûteuse, consiste à équiper un vantail de la fenêtre d'un entraînement automatique.

Hottes d'aspiration raccordées à l'aération douce

En Scandinavie, les hottes d'aspiration sont raccordées aux aérations douces depuis des décennies. Seules de petites hottes d'aspiration ayant une très bonne efficience d'aspiration et un débit d'air compris entre 100 et 200 m^3/h au maximum sont utilisées à cet effet.

Selon la directive de protection incendie AEAI 25-15 [2], chiffre 4.2.2, cette solution est aussi admise en Suisse. Un clapet de fermeture certifié doit alors arrêter la hotte si la température de l'air repris dépasse 85°C . La commande de la hotte d'aspiration, de l'appareil de ventilation et des clapets doit obligatoirement être coordonnée. Le débit d'air de la hotte ne devrait pas dépasser $300 \text{ m}^3/\text{h}$ pour ne pas devoir surdimensionner de manière démesurée l'aération douce.

Pendant la cuisson, l'appareil de ventilation fonctionne à un débit d'air de 300 à 400 m^3/h . Dans les locaux d'air repris, il est possible de réduire pendant ce temps le débit d'air repris jusqu'à 70 %.

Il arrive alors que des pertes de charge et des vitesses d'air élevées se mettent en place près des bouches d'air transféré et que l'installation génère des bruits importants et incommodants, tout particulièrement dans les chambres. Pour atténuer ce type de problèmes, il est possible de munir le côté air fourni d'un clapet de dérivation qui fait affluer une grande partie de l'air fourni directement à la cuisine, respectivement à la zone de transit.

La question de savoir si l'appareil de ventilation s'enfonce de manière importante en appliquant ce concept est

Exemple de calcul 10.2: débit des fuites d'un dispositif de renouvellement d'air pour hottes à extraction

Un dispositif de renouvellement d'air dispose d'une surface frontale de $0,2 \text{ m} \times 0,2 \text{ m}$ ($0,04 \text{ m}^2$). Quel est le débit maximal des fuites admis à une pression différentielle de 5 Pa?

Selon la formule 10.1, ce débit est de:

$$q_{v,I} \leq 10,46 \cdot 0,04 \text{ m}^2 \cdot (5 \text{ Pa})^{0,57} = 1,0 \text{ m}^2/\text{h}$$

Exemple de calcul 10.3: degré d'ouverture minimum d'une fenêtre en cas de hottes à extraction

Une hotte à extraction d'air transporte $600 \text{ m}^3/\text{h}$. Un vantail oscillant de 1,2 m de haut et de 0,6 m de large est ouvert pour assurer le renouvellement d'air. La dépression maximale admise est de 4 Pa en raison de la présence d'un foyer ouvert dépendant de l'air ambiant. Quelle est la largeur d'ouverture du vantail requise? Selon la formule 10.2, la largeur d'ouverture nécessaire est de:

$$s \geq 0,03 \cdot \frac{600}{1,2 + 0,6} \cdot 4^{-0,5} = 5,0 \text{ cm}$$

controversée. Les sources scandinaves ne mentionnent pas de problèmes particuliers. En Suisse, la plupart des fabricants et exploitants d'installations ne signalent pas non plus d'encrassement inhabituel. Il existe des cas isolés où des dépôts de graisse ont été constatés. Pour prévenir ce risque, la norme SIA 382/5 exige, d'après le règlement (UE) no 65/2014 [5], une efficacité de la filtration des graisses (GFEhotte) de classe B.

Hottes combinées, recyclage/extraction

Il existe des hottes d'aspiration sur le marché qu'il est possible de faire fonctionner, au choix, en mode «recyclage d'air» ou «extraction». Les avantages des deux variantes sont ainsi combinés.

Ventilation intensive par les fenêtres

Selon la norme SIA 382/5, il est possible de renoncer à une hotte d'aspiration à condition de pouvoir fermer la cuisine par une porte la séparant du reste de l'appartement, couloir compris, et de pouvoir évacuer les émanations de cuisson de manière efficace en ouvrant la fenêtre. En outre, certains règlements de construction cantonaux et communaux régissent l'utilisation de hottes d'aspiration et la possibilité d'y renoncer.

Comparaison des solutions

Le tableau 10.1 compare quatre solutions pour la ventilation de la zone de cuisson. Les critères «énergie» et «humidité de l'air intérieur» sont traités au paragraphe suivant.

Energie et humidité

Avec les hottes à recyclage d'air, la chaleur et l'humidité de la cuisson restent dans le logement; avec les hottes à extraction, elles sont en grande partie évacuées. En conséquence, ces deux solutions sont à examiner attentivement, en particulier quant à la protection contre la surchauffe estivale, contre l'humidité et pour l'évaluation de l'humidité minimale de l'air intérieur. Les normes n'indiquant pas de valeurs standard, seule une appréciation qualitative est possible.

Tableau 10.1: Comparaison qualitative des solutions de ventilation de la zone de cuisson.

+ relativement favorable;
Ø aucun avantage ou inconvénient particulier;
- relativement défavorable

Que faire si le renouvellement d'air est oublié?

Si les fenêtres restent fermées et en absence de tout autre dispositif de renouvellent d'air, une dépression se met en place, allant de quelques Pascal jusqu'à quelques douzaines de Pascal. Les pics observés s'élèvent à environ 200 Pa. À partir de 50 Pa, les dépressions peuvent rendre nécessaire une force élevée pour ouvrir les portes et fenêtres (éventuel risque de sécurité) et affecter les ventilations mécaniques de manière négative. Déjà à partir de 10 Pa, des transmissions d'odeurs entre appartements sont possibles en fonction de l'étanchéité à l'air à l'intérieur du bâtiment.

Critère	Hotte à recyclage d'air	Hotte à extraction d'air	Raccordement à l'aération douce	Ventilation intensive par les fenêtres
Evacuation des odeurs de cuisson	Ø	+	+	-
Maintien de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe du bâtiment	+	-	+	+
Risque de dépression	+	-	Ø	+
Risque de courants d'air	Ø jusqu'à + ¹⁾	- jusqu'à Ø ²⁾	+	-
Simplicité de la mise en œuvre	+	Ø	-	+
Air de remplacement filtré (pour les personnes allergiques au pollen, p. ex.)	Ø jusqu'à + ³⁾	-	+	-
Bruit	Ø	+	- jusqu'à + ⁴⁾	- jusqu'à + ⁵⁾
Remplacement des filtres	-	Ø	Ø	+
Investissement	Ø	-	-	+

1) dépend du retour de l'air recyclé

2) dépend du renouvellement de l'air de remplacement

3) dépend du système de ventilation pour habitations

4) faible niveau sonore dans la cuisine, en revanche niveau sonore plus élevé dans les chambres pendant la cuisson

5) en fonction du bruit extérieur

Il est souvent avancé que les hottes à extraction font perdre beaucoup de chaleur de chauffage. Une hotte ayant une bonne efficacité d'aspiration nécessite pourtant au plus un débit d'air de 400 m³/h. Un fonctionnement supposé de 20 minutes par jour, à plein régime, entraînerait sur le Plateau suisse des déperditions thermiques dues à la ventilation de 150 à 200 kWh. Cette consommation représente 2 à 3% des besoins de chaleur pour le chauffage d'un nouveau bâtiment d'habitation. Ce pourcentage, de son côté, est équivalent à environ 50 kWh d'électricité seulement, dans le cas d'une maison avec chauffage par PAC.

La consommation électrique annuelle du ventilateur et de l'éclairage peut être estimée approximativement à l'aide de l'étiquette-énergie. La classe énergétique A+ correspond à une consommation de 20 kWh environ, la classe D à une consommation de 100 kWh environ. L'étiquette-énergie indique en outre la classe d'efficacité de la filtration des graisses, une autre information utile.

10.2 Foyers ouverts dans les appartements

Un foyer ouvert est désigné «indépendant de l'air ambiant» à condition

- de disposer d'une conduite amenant l'air de combustion directement et exclusivement depuis l'extérieur
- d'éviter de ne laisser se répandre une quantité dangereuse de gaz dans le local où il se trouve.

Tableau 10.2: Dépressions admises en présence de cheminées et poêles.

Les foyers ouverts indépendants de l'air ambiant doivent être munis d'un certificat d'essai délivré par un laboratoire d'essai reconnu. Si celui-ci fait défaut, le chauffage est considéré comme dépendant de l'air ambiant.

S'agissant des poêles à bois ou à pellets, il arrive que des gaz de combustion parviennent dans un local en dépression. Il s'agit en particulier du monoxyde de carbone (CO) qui est toxique. Ces fuites peuvent survenir au niveau du portillon de la chambre à combustion et de celui du cendrier, au niveau des ouvertures de nettoyage et de la conduite des gaz de combustion. Par conséquent, une aménée séparée de l'air de combustion ne rend pas encore ces chauffages indépendants de l'air ambiant. Il est néanmoins toujours judicieux de recourir à des conduites amenant l'air de combustion – à condition que les fumistes et fournisseurs les dimensionnent correctement. Aucune dépression perturbant la combustion ne doit être causée par des installations aérauliques de n'importe quel type (hottes à extraction d'air pour cuisine, installations simples d'air repris, etc.). Le tableau 10.2 indique les dépressions autorisées pour les foyers ouverts dépendant de l'air ambiant et ceux indépendant de l'air ambiant.

Une commande et/ou la surveillance doivent empêcher d'atteindre une dépression non admise. Voici les mesures possibles:

- Verrouillage des dispositifs d'air repris au moyen d'un Interrupteur à lame Souple (ILS ou interrupteur reed) à la fenêtre
- Dispositifs de renouvellement d'air qui s'ouvrent et se ferment au moyen d'entrainements électriques (entrainements pour fenêtres, par exemple)
- Hottes d'aspiration avec surveillance de la pression intégrée
- Surveillance de la dépression liée au foyer ouvert
- Avec des aérations douces: appareil avec régulation à débit constant et dispositif intégré de surveillance des anomalies

Type de chauffage lié à une combustion	Dépression max. admise dans le local
Dépendant de l'air ambiant (tout type de cheminées, poêles à bois et à pellets sans certificat d'essai, même pourvus de conduites amenant l'air de combustion)	4 Pa
Indépendant de l'air ambiant (exclusivement des appareils de chauffage avec certificat d'essai)	10 Pa ¹⁾ environ

1) La valeur exacte figure dans le certificat d'essai.

Si un foyer ouvert est prévu dans le logement, il ne faut pas recourir à des appareils de ventilation qui réduisent le débit d'air fourni comme protection anti-gel, voire déclenchent le ventilateur d'air fourni (voir également point 9.5).

10.3 Conditionnement d'air dans les caves

La fiche d'information «Conditionnement d'air dans les caves des bâtiments résidentiels» de SuisseEnergie [3] présente de façon claire la problématique et les différentes solutions. Elle donne en outre des références bibliographiques complémentaires. Les bases et données présentées ci-dessous sont reprises de cette fiche.

De nos jours, les sous-sols sont utilisés comme locaux de stockage ou réduits pour des meubles, livres, etc. ou encore comme locaux de loisirs. Il faut donc éviter une humidité ambiante élevée et par là l'apparition de moisissures. Dans les sous-sols, ce problème survient principalement en été. Le taux d'humidité absolue élevé de l'air extérieur entraîne alors une humidité relative très élevée à la surface des murs. Le risque de moisissures augmente par conséquent.

Caves complètement isolées

Dans les nouvelles constructions avec des murs et dalles complètement isolées contre l'extérieur, il n'y a pas de risque significatif de moisissures. Les normes et prescriptions énergétiques considèrent ces locaux comme chauffés – même en l'absence d'un dispositif de chauffage fixe. Dans ce type de caves, la tempéra-

ture ambiante est rarement inférieure à 20°C, même en hiver, ou alors ne descend rarement en dessous de 20°C.

Pourtant, ces locaux devraient être ventilés activement à cause des charges d'humidité (buanderies) et des odeurs émises par des matériaux. Comme les durées d'utilisation sont courtes et différentes de celles des logements, il est judicieux de ventiler séparément les caves et de ne pas les raccorder à l'installation de ventilation des habitations. Pour les habitats collectifs de grande taille, il

peut être approprié de prévoir une installation simple d'air repris avec RC pour tout le sous-sol. Pour les petits objets ou les locaux isolés (locaux de bricolage, p. ex.), il est possible de recourir à des appareils de ventilation individuels par local, des ventilateurs d'extraction d'air avec bouche d'air neuf ou encore à une ventilation par ouverture automatique des fenêtres, étant donné que le niveau sonore y joue un rôle moins important que dans les habitations. Il s'agit de solutions avantageuses, à condition qu'une prise d'air neuf appropriée soit réalisable.

En raison la problématique de l'humidité, les caves des constructions nouvelles devraient se trouver à l'intérieur de l'enveloppe thermique.

Caves non isolées ou en partie isolées

Conformément aux prescriptions énergétiques, il n'est pas admis de chauffer les locaux non ou partiellement isolés ni de les raccorder à une installation de ventilation pour habitations. Cette exigence concerne aussi les caves. La fiche «Conditionnement d'air dans les caves

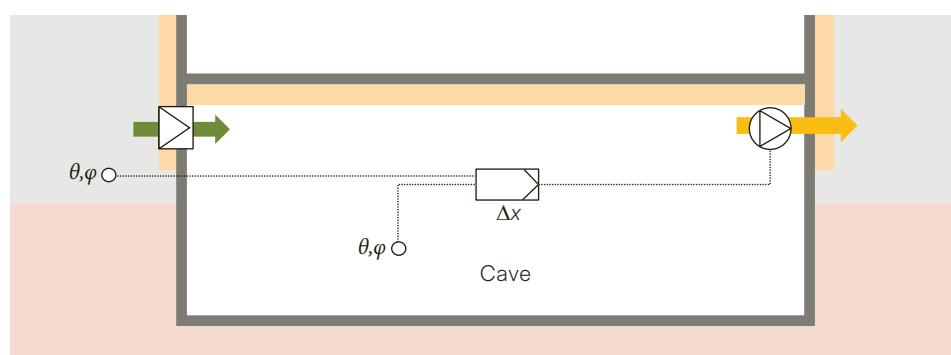


Figure 10.3: Ventilation régulée en fonction de l'humidité d'une cave non isolée thermiquement.

des bâtiments résidentiels» compare quatre solutions s'agissant du risque de moisissures et de la consommation d'énergie.

La première solution consiste à ventiler naturellement; sans surprise, on constate que le risque de moisissures persiste. L'expérience le corrobore dans les caves aérées par sauts de loup et qui présentent des moisissures.

La deuxième solution consiste à chauffer le local au moyen d'un radiateur électrique mobile. L'approche est la suivante: une température plus élevée de l'air ambiant réduit l'humidité relative de l'air ambiant et par conséquent le risque de moisissures. Il est vrai que les prescriptions énergétiques n'autorisent pas un chauffage électrique fixe dans un tel local; l'usage d'un radiateur électrique mobile se trouve par contre dans une zone grise. L'analyse montre que le risque de moisissures persiste malgré la consommation élevée d'électricité.

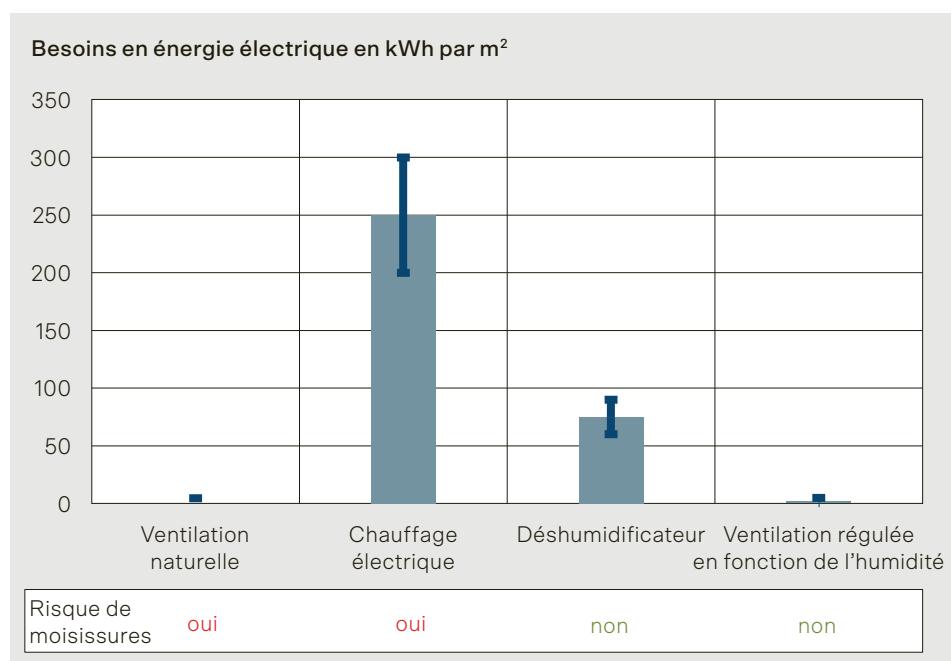
La troisième solution consiste à recourir à un déshumidificateur ce qui permet effectivement de faire disparaître le risque de moisissures.

La quatrième solution propose une ventilation mécanique régulée en fonction du taux d'humidité. C'est de loin la meilleure solution par rapport au risque de moisis-

sures et à la consommation d'énergie. Dans ce cas, la stratégie de régulation est décisive; si l'humidité absolue de l'air extérieur est inférieure à celle de l'air de la cave, le ventilateur est enclenché. Dans la situation inverse, le ventilateur est déclenché. Ce fonctionnement implique de mesurer la température et l'humidité relative aussi bien de l'air extérieur que de l'air de la cave. En outre, la régulation doit être en mesure de déterminer les taux d'humidité absolue. Ce fonctionnement est effectif principalement d'avril à octobre. Pendant la saison froide, une humidité relative minimale de l'air de la cave (30% HR, p.ex.) permet de restreindre le fonctionnement du ventilateur. La figure 10.3 schématisé cette solution. Il est en outre possible d'utiliser des ventilateurs d'extraction, des ventilateurs d'air fourni ou encore des appareils de ventilation avec air fourni et air repris (voir également les indications sur le radon au point 10.5).

La figure 10.4 montre les besoins spécifiques en électricité (par m² de surface au sol de la cave) ainsi que le risque de moisissures pour chacune des quatre solutions présentées. Le trait foncé dans la partie supérieure de la barre représente la plage de consommation d'énergie en fonction de différents degrés

Figure 10.4: Besoins spécifiques en électricité (rapportés à 1 m² de surface au sol) pour différentes solutions de conditionnement de locaux de caves non ou partiellement isolés et évaluation du risque de moisissures. Description des solutions, voir texte.



d'isolation et du climat local. Ces indications valent pour les hypothèses définies dans la fiche «Conditionnement d'air dans les caves des bâtiments résidentiels». Il serait excessif de les reproduire en détail dans le présent document, mais elles peuvent être considérées comme typiques pour un grand nombre de caves de bâtiments résidentiels construits. Des investigations avec un physicien du bâtiment sont tout de même recommandées au cas par cas.

10.4 Chauffage à air chaud

Le terme «chauffage à air chaud» désigne une installation dont la température de l'air fourni est en hiver supérieure à celle de l'air ambiant, assumant ainsi partiellement ou complètement la fonction de chauffage. Ces installations combinent ainsi les fonctions «renouvellement de l'air» et «chauffage des locaux». Leurs avantages et inconvénients ainsi que leurs limites sont abordés au point 4.3.

Les chauffages à air chaud sont courants dans les maisons passives de petite taille, car ils arrivent à respecter l'exigence d'un apport maximal de 10 W/m^2

avec ce système de chauffage. L'air fourni est souvent chauffé dans des appareils dits multifonctions, qui produisent également l'eau chaude sanitaire. Pour que le bilan énergétique soit équilibré lors de basses températures extérieures, il est généralement nécessaire de préchauffer l'air neuf par un échangeur de chaleur air-sol (puits canadien) généralement dimensionné. De nombreux appareils multifonctions sont en outre munis d'un corps de chauffe électrique pour chauffer l'eau lorsque le chauffage est forcé de fonctionner en dessous des conditions de dimensionnement.

Les points critiques sont les déperditions thermiques dues aux conduites d'air fourni et aux fuites. Elles peuvent dégrader la fonctionnalité d'une installation de manière significative et la rendre même inefficace. La figure 10.5 met en évidence toutes les déperditions de chaleur possibles. Avec une distribution d'air se trouvant dans un sous-sol non chauffé, des déperditions de 10 % et plus sont réalistes. Il n'est souvent pas judicieux non plus qu'une conduite d'air diffuse de la chaleur à l'intérieur de la zone chauffée. A titre d'exemple, il arrive qu'une

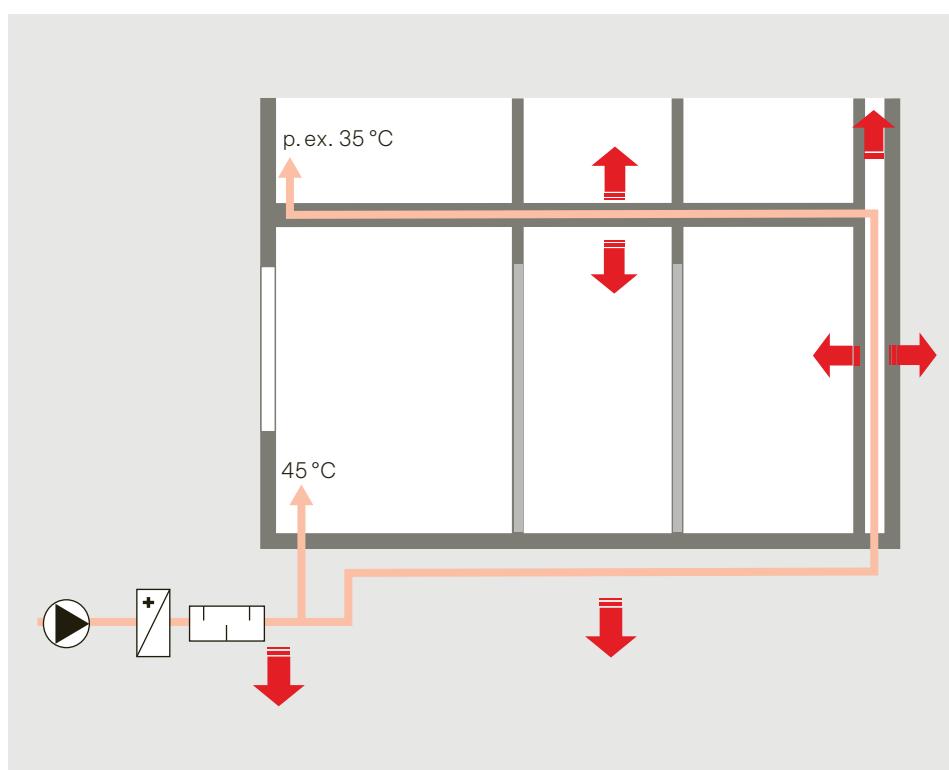


Figure 10.5:
Chauffages à air chaud: émissions de chaleur et fuites non souhaitées.

conduite d'air située dans une colonne montante chauffe le bâtiment adjacent ou encore que la chaleur se dissipe de manière incontrôlée dans le bâtiment. Il est aussi très délicat d'incorporer les conduites d'air chaud dans les dalles en béton. Si elles ne sont pas isolées, l'air fourni peut se refroidir en quelques mètres à raison de 5 à 10 K environ. En d'autres termes, à l'extrême, le local le plus proche de la colonne montante est surchauffé et le plus éloigné n'atteint même pas la température de consigne. Les épaisseurs d'isolation nécessaires pour les conduites d'air chaud doivent être calculées en tenant compte du refroidissement.

Les fuites sont également souvent synonymes de déperditions de chaleur. Les chauffages à air chaud doivent par conséquent être particulièrement étanches.

10.5 Assainissements radon

Les bases et concepts en matière de ventilation dans le contexte d'assainissements radon sont présentées dans le document «Radon – Manuel pratique» [4] ainsi que sur le site Internet de l'Office fédéral de la santé publique, www.ch-radon.ch. Il est conseillé de consulter un spécialiste du radon pour mettre en œuvre les concepts de ventilation. Les aérations douces sont abordées au point 1.4 pour ce qui est du radon.

Installations d'air repris avec bouches d'air neuf

Les installations d'air repris avec bouches d'air neuf sont les systèmes les plus défavorables en ce qui concerne l'exposition au radon. Ils devraient être prévus uniquement dans des bâtiments pour lesquels le radon n'a jamais représenté un problème. Pour les habitats collectifs, le risque est en principe faible si le sol des caves est bétonné, si la dalle sur sous-sol est en béton et s'il y a des portes étanches entre le sous-sol et le rez-de-chaussée. Il faut de plus éviter que l'air puisse passer du sous-sol aux

appartements (à travers des colonnes montantes ou des tubes électriques).

Appareils de ventilation individuels par local et installations d'air repris

Les appareils de ventilation individuels par local ne sont pas critiques en eux-mêmes par rapport au radon. Cependant, ils sont souvent combinés avec des ventilateurs d'extraction dans les salles d'eau qui génèrent une dépression. En régime marche/arrêt à la demande et à conditions normales, il ne devrait pas en résulter un apport significatif de radon. Lors d'assainissement radon, le concept doit toutefois être examiné de près et complété, si nécessaire.

Hottes de cuisine

Les hottes à recyclage d'air sont favorables s'il s'agit de prévenir les dépressions. S'il y a des hottes à extraction d'air, l'assainissement radon doit assurer que l'air de remplacement afflue par les fenêtres. Un interrupteur de contact à la fenêtre ou une surveillance de dépression doit être mis en place à cet effet. Le renouvellement de l'air par des bouches d'air neuf induit une dépression importante; elle est donc à proscrire.

Dispositifs spéciaux pour maintenir la pression

Les assainissements radon comportent souvent des installations aérauliques servant exclusivement à maintenir une pression définie dans le bâtiment ou des parties du bâtiment (la cave, par exemple). Le spécialiste du radon détermine dans le concept d'assainissement global et au cas par cas, s'il s'agit d'une dépression ou surpression. Une surpression empêche le radon de s'infiltrer. Une dépression à la cave empêche que l'air de la cave s'infiltra dans le logement. Dans les deux cas, la différence de pression s'élève à quelques Pascals seulement.

Ventilation des caves

Pour les caves non ou seulement partiellement isolées, un assainissement radon peut induire un conflit entre protection contre l'humidité (voir point 10.3) et protection contre le radon. Une ventilation de protection contre le radon implique un fonctionnement aussi continu que possible afin de maintenir la pression. En revanche, une ventilation régulée en fonction de l'humidité est souvent déclenchée en été ou lors de basses températures extérieures.

Il est parfois possible de remplir les deux fonctions par une seule installation. La ventilation est alors équipée d'une bouche d'air neuf étanche qui se referme lorsque le mode protection contre l'humidité est désactivé. Pour maintenir la pression, le ventilateur continue à fonctionner, éventuellement à un régime réduit. La ventilation pour la protection contre l'humidité est à régler en adéquation avec la protection contre le radon en ce qui concerne la dépression ou la surpression. Autrement dit, le ventilateur d'air repris de la figure 10.3 est remplacé le cas échéant par un ventilateur d'air fourni.

10.6 Bibliographie

- [1] Fiche technique Ventilation de la zone de cuisson lors de l'assainissement énergétique d'un bâtiment. SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2019
- [2] Directive de protection incendie AEAI 25-15 Installations aérauliques, état 1.1.2017; Association des établissements cantonaux d'assurance incendie, Berne; <https://www.bsvonline.ch/fr/prescriptions>
- [3] Fiche d'information Conditionnement d'air dans les caves des bâtiments résidentiels, SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2019
- [4] Breunig, Morris; et. al.: Radon – Manuel pratique. Faktor Verlag, Zurich, 2018
- [5] Règlement délégué (UE) n° 65/2014 de la Commission du 1er octobre 2013 complétant la directive 2010/30/UE du Parlement européen et du Conseil en ce qui concerne l'étiquetage énergétique des fours et des hottes domestiques; commission européenne. Téléchargement sur <https://eur-lex.europa.eu>

Protection contre le bruit

Ce chapitre n'aborde le domaine de l'acoustique que ponctuellement. Pour les principes fondamentaux et des informations plus détaillées, il est recommandé de se référer à la VDI 2081 [1], feuille 1. Les ouvrages spécialisés «Wohnungslüftung», 2005 [2], et «Komfortlüftung in Wohngebäuden», 2016 [3] traitent de l'aération douce en particulier, avec des exemples à l'appui. Toutefois, depuis leur publication, les exigences des normes SIA 181 [4] et SIA 382/5 [5] ont changé. Dès lors, il est impératif de tenir compte des points 11.2 et 11.3 si les références utilisées ne sont pas à jour. Le point 7.6 aborde le dimensionnement acoustique des bouches d'air neuf; le point 3.8 donne des indications au sujet des bouches d'air transféré.

11.1 Termes, exigences

Pression acoustique et puissance acoustique

L'oreille humaine, tout comme les appareils de mesure captent la pression acoustique. Les sources sonores émettent cependant une puissance acoustique. Etant donné que les calculs sur la base de la pression (Pa) et de la puissance (W) seraient peu commodes, le niveau de pression acoustique et le niveau de puissance acoustique ont une unité commune, le décibel (dB). Le terme simplifié «niveau sonore» désigne le plus souvent le niveau de pression acoustique.

Le niveau de pression acoustique perçu ou mesuré dépend de la puissance de la source, de la distance, des obstacles ainsi que du degré de réflexion et d'absorption des surfaces environnantes. L'indication de la puissance acoustique est indispensable pour tous les appareils de ventilation. Par contre, les indications du type «son à une distance de 1 m» sont imprécises, voire sans aucune utilité.

Évaluation A

L'évaluation A adapte le niveau de pression acoustique mesurée à la perception de l'oreille humaine. Pour indiquer un niveau sonore avec pondération A, les normes et la littérature spécialisée utilisent auparavant l'unité dB(A). Les nouvelles normes ont supprimé l'unité dB(A); les niveaux avec pondération A sont désormais indiqués en dB. Dès lors, c'est l'index A des symboles (L_{Aeq} par exemple) ou alors leur description textuelle qui indique s'il s'agit d'un niveau sonore avec pondération A.

Règle d'arrondi

Les résultats finaux des mesures et calculs sont toujours arrondis à 1 dB.

Exigences de la norme SIA 382/5

Pour les habitations, la norme SIA 181 définit uniquement les exigences relatives aux installations de ventilation collectives. La norme SIA 382/5 stipule que ces exigences sont valables pour tous les types d'installations de ventilation pour habitations, à l'exception des hottes d'aspiration. Les exigences sont moins élevées pour les salles d'eau de petite taille (douche, bain, WC). Les exigences s'appliquent au régime normal de ventilation, c'est-à-dire aux conditions de dimensionnement de l'installation. Comme indiqué aux chapitres 3 et 6 à 8, le dimensionnement est le même pour le régime de jour et le régime de nuit.

La norme SIA 382/5 fixe les valeurs de projet pour différents types de locaux selon le tableau 11.1. Elles correspondent aux valeurs de mesure additionnées aux corrections de niveau pour l'absorption acoustique. Dans les locaux meublés, le niveau sonore effectif est généralement inférieur, respectivement doit être inférieur à la valeur de projet L_H .

11.2 Justification selon la norme SIA 181

Justification sur la base de mesures

Les mesures du niveau sonore sont effectuées lors de la réception d'une installation. Lors de réclamations ou après des modifications de l'installation, elles peuvent aussi s'avérer nécessaires. L'exigence est remplie si la valeur globale pour le bruit provenant de l'installation de ventilation, $L_{H,tot}$ est inférieure ou égale à l'exigence L_H (tableau 11.1):

$$L_{H,tot} \leq L_H \quad (11.1)$$

Pour la méthode de mesure simplifiée, la justification est effectuée à l'aide de la formule 11.2.

$$L_{H,tot} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \quad (11.2)$$

Pour la méthode de mesure précise, la justification est effectuée à l'aide de la formule 11.3.

$$L_{H,tot} = L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 \quad (11.3)$$

Justification de la planification

La phase de projet comprend certes le dimensionnement acoustique, mais également la justification du respect des exigences. Celles-ci sont respectées si la valeur de projet pour le bruit provenant de l'installation de ventilation, $L_{H,d}$ est inférieure ou égale à l'exigence L_H (tableau 11.1), à savoir:

$$L_{H,d} \leq L_H \quad (11.4)$$

Pour la méthode simplifiée, la justification est effectuée à l'aide de la formule 11.5.

$$L_{H,d} = L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 + K_p \quad (11.5)$$

Pour la méthode précise, la justification est effectuée à l'aide de la formule 11.6.

$$L_{H,d} = L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 + K_p \quad (11.6)$$

La définition des indices se trouve au tableau 11.2.

Précisions au sujet des mesures

La norme SIA 181 exige que les mesures soient effectuées là où les personnes se trouvent usuellement. La méthode de mesure simplifiée exige au moins deux positions de microphone, la méthode précise au moins cinq.

Ces exigences et la méthode de mesure choisie induisent des écarts rendant possible des résultats divergents. Il est pour cette raison recommandé de définir au préalable les conditions de la justification.

Un microphone est à placer au milieu de la zone de séjour (selon la norme SIA 180), à une hauteur de 1,5 m. Un deuxième microphone est à placer en bordure de la zone de séjour, aussi près que possible de la bouche d'air, à une hauteur allant de 0,6 m si elle est disposée au sol, jusqu'à 1,5 m si elle est disposée au plafond. Suivant le nombre de bouches et la géométrie de la zone, la pose de microphones additionnels peut être nécessaire. C'est la valeur moyenne énergétique (logarithmique) qui est évaluée.

Pour les salons et chambres à coucher, la différence visée de 10 dB entre les bruits en provenance des équipements techniques et les bruits de fond pondérés A est rarement atteinte dans la pratique. L'énergie acoustique du bruit de fond doit par conséquent être soustraite. Pour sa part, la norme SIA 181 admet de soustraire à la valeur de mesure 2,2 dB au maximum, si la différence est inférieure à 4 dB. Les professionnels de la ventilation avec de bonnes connaissances acoustiques sont à même d'appliquer la méthode simplifiée. En revanche, il est impératif que la méthode de mesure précise soit appliquée par des acousticiens qualifiés.

Tableau 11.1: Valeur d'exigence L_H pour la protection contre les bruits provenant des installations aérauliques selon la norme SIA 382/5.

Local	Valeur d'exigence L_H
Salon, chambre à coucher, cuisine habitable	25 dB
Bain/douche/WC d'un volume $\geq 25 \text{ m}^3$, cuisine sans partie habitable	29 dB
Bain/douche/WC d'un volume $< 25 \text{ m}^3$ fonctionnement continu de la ventilation fonctionnement marche/arrêt à la demande	38 dB
	43 dB

11.3 Comparaison des méthodes de justification

A) Justification de la planification

Le niveau sonore moyen L_{Aeq} maximal admis pour une chambre est déterminé au moyen de la méthode simplifiée. La valeur de projet $L_{H,d}$ est égale à l'exigence L_H , à savoir

$$L_{H,d} \leq L_H = 25 \text{ dB} \quad (11.8)$$

En résolvant l'équation 11.5 l'on peut déterminer le niveau sonore moyen L_{Aeq} maximal admis. Les valeurs standard du point 11.2 sont utilisées pour le calcul.

$$\begin{aligned} L_{Aeq} &\leq L_{H,d} - K_1 - K_2 - K_3 - K_p \\ &= 25 \text{ dB} - (-2 \text{ dB}) - 2 \text{ dB} - 0 \text{ dB} - 2 \text{ dB} \\ &= 23 \text{ dB} \end{aligned} \quad (11.9)$$

Tableau 11.2: Grandeur de mesure et valeurs de calcul déterminantes pour la justification de la protection contre le bruit.

Le résultat de cet exemple est universellement valable dans la mesure où le niveau sonore moyen maximal admis est en général de 23 dB dans les séjours et chambres si les valeurs standards sont

utilisées. Cependant, le niveau de puissance acoustique $L_{W,A}$, maximal admis des émissions provenant de l'installation dépend encore d'autres conditions-cadres telles que la position des bouches d'air et la géométrie du local.

B) Justification sur la base de mesures, méthode simplifiée

Après l'achèvement des travaux, des mesures de réception sont effectuées dans la chambre de l'exemple A.

La chambre n'est pas meublée. Selon le tableau 11.3, on a: $K_1 = -4$. K_2 et K_3 correspondent aux valeurs de projet.

La bouche d'air fourni se trouve au-dessus de la porte, à une hauteur de 2,3 m.

La figure 11.1 présente le plan de la chambre à coupler avec les deux positions de microphone M1 et M2, à une hauteur de 1,5 m.

Les valeurs suivantes sont mesurées:

- Bruit de fond aux deux positions

$$L_{A,bg} = 24,2 \text{ dB}$$

Indices et valeurs de calcul

L_{Aeq}	Niveau sonore moyen avec pondération A Correspond au niveau de pression acoustique généré par l'installation de ventilation
$L_{nT,A,50-5000}$	Niveau normalisé pondéré A du bruit continu; il s'agit des niveaux de pression acoustique L (non pondérés) et des temps de réverbération T mesurés par bandes de tiers d'octave allant de 50 à 5000 Hz. Au moyen de la formule 11.7 et par bande de tiers d'octave, le niveau de pression acoustique mesuré est ensuite converti en niveau de pression acoustique standard L_{nT} , c'est-à-dire standardisé à un temps de réverbération de référence de 0,5 s. $L_{nT} = L - 10 \cdot \lg(T/T_0) \quad (11.7)$ avec L , le niveau de pression acoustique d'une bande de tiers d'octave; T le temps de réverbération d'une bande de tiers d'octave; T_0 , le temps de réverbération de référence de 0,5 s. Ensuite, la pondération A est effectuée et les valeurs pondérées des bandes de tiers d'octave additionnées énergétiquement (logarithmiquement).
K_1	Correction de niveau tenant compte de l'absorption acoustique dans le local; pour les logements, il s'agit principalement de l'ameublement. Le tableau 11.3 indique la correction de niveau en fonction de l'ameublement selon la norme SIA 181 et donne des exemples d'ameublement. Durant la phase de planification, l'utilisation d'une valeur par défaut de -2 est suggérée.
K_2	Correction de niveau tenant compte du caractère impulsif du bruit; cette valeur va de 0 (caractère tonal inaudible) à 6 (caractère tonal fortement audible). Sur la base de l'évaluation effectuée par le Cercle Bruit [6] en matière de législation relative au bruit des installations de chauffage, de ventilation et de refroidissement, l'utilisation d'une valeur par défaut de 2 est suggérée. Les exemples de la SIA 382/5 utilisent par ailleurs la même valeur.
K_3	Correction de niveau tenant compte du caractère impulsif du bruit; cette valeur va de 0 (caractère impulsif inaudible) à 6 (caractère impulsif fortement audible). Les impulsions sont générées exclusivement par des installations de ventilation comportant des défauts, par exemple due à une excentricité du ventilateur ou à des bruits de claquement. Dans les installations de ventilation en parfait état, la valeur standard de 0 est suggérée.
K_P	Supplément de projet; supplément additionné à la valeur pronostiquée tenant compte des incertitudes inhérentes à la qualité d'exécution et de production des appareils. Sur la base des exemples figurant dans la norme SIA 382/5, une valeur par défaut de 2 est proposée.

- Niveau sonore moyen à la position M1
 $L_{Aeq,Tel} = 28,4 \text{ dB}$
- Niveau sonore moyen à la position M2
 $L_{Aeq,Tel} = 27,7 \text{ dB}$

La première étape consiste à soustraire le bruit de fond. Le niveau sonore moyen de l'installation de ventilation, L_{Aeq} est calculé conformément à la norme VDI 2081, au moyen de la formule 11.10:
 $L_{Aeq} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot L_{Aeq,Tel}} - 10^{0,1 \cdot L_{A,bg}})$ (11.10)
avec $L_{Aeq,Tel}$, la valeur de mesure et $L_{A,bg}$, le bruit de fond.

Il en résulte le niveau sonore moyen L_{Aeq} à la position M1:

$$L_{Aeq,1} = 10 \cdot \lg(10^{0,1 \cdot 28,4} - 10^{0,1 \cdot 24,2}) = 26,3 \text{ dB}$$

À la position M2, l'écart avec le bruit de fond est inférieur à 4 dB. Pour cette raison, la norme SIA 181 admet de soustraire seulement 2,2 dB de la valeur de mesure. On a ainsi:

$$L_{Aeq,2} = 27,7 \text{ dB} - 2,2 \text{ dB} = 25,5 \text{ dB}$$

La valeur énergétique moyenne est calculée selon la norme VDI 2081, à l'aide de la formule 11.11:

$$L_{Aeq} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,i}} \right] \quad (11.11)$$

Avec les deux niveaux sonores moyens $L_{Aeq,1}$ et $L_{Aeq,2}$, on obtient:

$$\begin{aligned} L_{Aeq} &= 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2} (10^{0,1 \cdot L_{Aeq,1}} + 10^{0,1 \cdot L_{Aeq,2}}) \right] \\ &= 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{2} (10^{0,1 \cdot 26,3} + 10^{0,1 \cdot 25,5}) \right] \\ &= 25,9 \text{ dB} \end{aligned}$$

La valeur globale des bruits provenant de l'installation de ventilation est déterminée à l'aide de la formule 11.2:

$$\begin{aligned} L_{H,tot} &= L_{Aeq} + K_1 + K_2 + K_3 \\ &= 25,9 \text{ dB} + (-4 \text{ dB}) + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} \\ &= 23,9, \text{ arrondi à } 24 \text{ dB} \end{aligned}$$

Report dans la formule 11.1:

$$L_{H,tot} = 24 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

L'exigence est par conséquent satisfaite.

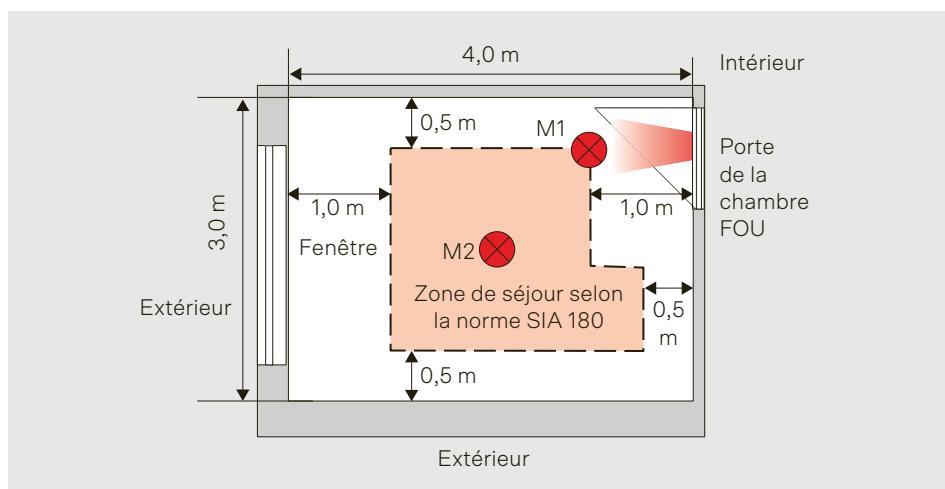


Figure 11.1: Justification B: plan de la chambre avec l'emplacement de la bouche d'air fourni (FOU) et des microphones (M1 et M2).

Définitions selon la norme SIA 181 avec exemple	Correction de niveau K_1 en dB
Locaux avec un ameublement très absorbant Exemple: une pièce avec beaucoup de meubles et de textiles d'ameublement tels que des revêtements en tissu, des rideaux et des tapis	0
Locaux avec un ameublement peu absorbant Exemple: chambre avec du mobilier et des textiles d'ameublement courants	-2
Locaux sans ameublement absorbant Exemple: chambre non meublée	-4

Tableau 11.3: Correction de niveau K_1 tenant compte de l'absorption acoustique dans le local.

C) Justification sur la base de mesures, méthode précise

La justification est effectuée avec la méthode précise pour la chambre et les niveaux sonores de l'exemple B. Le tableau 11.5 liste les valeurs de mesure et de calcul par bandes de tiers d'octave allant de 100 à 1000 Hz. Les fréquences inférieures à 100 Hz et supérieures à 1000 Hz ont peu d'impact sur le résultat; elles ne sont pas listées dans le tableau. Les valeurs du niveau sonore L (1^{ère} ligne du tableau) sont des valeurs corrigées. Le bruit de fond est déjà soustrait et les valeurs de mesure aux cinq positions de microphone sont pondérées (comme à la justification B). Le temps de réverbération est élevé, car la chambre est considérée non meublée et sans élément absorbant (idem à justification B).

La valeur globale du bruit de l'installation de ventilation est déterminée à l'aide de la formule 11.3:

$$\begin{aligned} L_{H,tot} &= L_{nT,A,50-5000} + K_2 + K_3 \\ &= 23 \text{ dB} + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} \\ &= 25 \text{ dB} \end{aligned}$$

Reportés dans la formule 11.1:

$$L_{H,tot} = 25 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

L'exigence est par conséquent satisfaite.

Tableau 11.4 (en haut): Facteur de directivité Q d'une bouche d'air en fonction de son emplacement et du flux d'air générée.

Tableau 11.5 (en bas): Valeurs de mesures et valeurs de calcul de la justification C.

Emplacement de la bouche d'air	Forme du flux d'air	Facteur de directivité Q
Au milieu du local	Sphère	1
Au milieu d'une paroi	Hémisphère	2
Au milieu d'une paroi, sous plafond	Quart de sphère	4
Dans un angle du local	Huitième de sphère	8

Conclusions

Dans ces exemples, l'écart entre la méthode simplifiée et la méthode précise est compris entre 1 et 2 dB. On peut supposer que la correction K_1 pour l'absorption acoustique dans le local est trop généreuse pour de l'habitat, respectivement que les temps de réverbération pour les locaux meublés sont (trop) basses.

Lors de la planification, la méthode précise est trop lourde, de plus, les données acoustiques des locaux ne sont pas encore très répandues. La méthode simplifiée est plus appropriée dans cette phase. En revanche, le dimensionnement et le calcul devraient être effectués en prenant de la marge. Il est recommandé de partir avec une valeur de projet (= valeur d'exigence $L_{H,d}$) de 23 dB.

11.4 Propagation du son à l'intérieur

L'amortissement par le local est obtenu par conversion du niveau de puissance acoustique (parvenant au local en provenance de l'installation de ventilation) en niveau de pression acoustique à une position donnée dans le local. De manière analogue, une lampe disposée dans un local émet une certaine puissance lumineuse, mais l'éclairage au niveau de la table dépend cependant des caractéristiques du local et de la distance entre la lampe et la table.

L'amortissement par le local D_R est calculé selon la norme VDI 2081 au moyen de la formule 11.12. Un chiffre positif correspond à une réduction du niveau sonore dans le local.

Description	Symbole	Unité	Valeurs à la fréquence de la bande de tiers d'octave (en Hz) de										
			100	125	160	200	250	315	400	500	620	800	1000
Niveau de pression acoustique	L	dB	36,0	33,5	31,5	29,0	25,0	22,0	17,0	13,0	9,0	7,0	6,0
Temps de réverbération	T	s	1,0	1,0	1,1	1,0	0,8	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,8
Niveau de pression acoustique standardisé	L_{nT}	dB	33,0	30,5	28,1	26,0	23,0	19,4	15,0	11,0	6,4	5,0	4,0
Pondération A	ΔL_A	dB	-19,1	-16,1	-13,4	-10,9	-8,6	-6,6	-4,8	-3,2	-1,9	-0,8	0
Valeur intermédiaire	$L_{nT} + \Delta L_A$	dB	13,9	14,4	14,7	15,1	14,4	12,8	10,2	7,8	4,5	4,2	4,0
Niveau normalisé pondéré A du bruit continu	$L_{nT,A,50-5000}$	dB						23,1 (arrondi à 23)					

$$D_R = -10 \lg \left(\frac{Q}{4 \cdot \pi \cdot d^2} + \frac{24,5 \cdot T}{V} \right) \quad (11.12)$$

avec

- Q Facteur de directivité selon tableau 11.5
- d Distance entre la bouche d'air et la position dans le local en m
- V Volume du local en m^3
- T Temps de réverbération en s

Il est très difficile de calculer le temps de réverbération des locaux meublés, car celui-ci dépend largement des matériaux de construction, meubles et textiles utilisés. Pour les habitations nouvelles, il est recommandé d'utiliser les temps de réverbération suivants:

- Chambre à coucher 0,8 s
- Séjour, séjour/cuisine: 1,0 s

La littérature spécialisée indique parfois des temps de réverbération plus courts, de 0,5 s par exemple. Etant donné que les constructions nouvelles comportent souvent très peu de surfaces absorbantes, les temps de réverbération induits sont plus longs que ceux des appartements construits il y a trente ans, p. ex.

L'exemple de calcul 11.1 permet de tirer les conclusions générales suivantes: dans les chambres à coucher, l'amortissement lié au local est souvent compris entre 0 et 2 dB. Dans les séjours, en raison du plus grand volume, il est usuellement compris entre 1 et 3 dB. Ainsi, l'amortissement par le local est faible dans les chambres à coucher, précisément sensibles au bruit. La disposition des bouches d'air ne joue qu'un rôle mineur. Une disposition au milieu d'un côté de la chambre n'est que légèrement plus avantageuse (de l'ordre de 0,5 à 1,0 dB).

11.5 Précisions sur les composants

Bouches d'air et réflexion de l'embouchure

En raison du bruit du flux d'air, les bouches d'air fourni et repris sont à dimensionner avec une marge. La plupart des fournisseurs indiquent l'amortissement de bruit (ou perte d'insertion) des bouches d'air. Avec un produit sans indications, aucun amortissement de bruit n'est à présupposer pour le calcul, ce qui correspond à une perte d'insertion de 0.

Exemple de calcul 11.1: amortissement par le local des bruits produits par la ventilation

L'amortissement par le local des bruits produits par la ventilation est déterminé aux positions M1 et M2 de la chambre de l'exemple B, du point 11.3. La chambre a une hauteur sol-plafond de 2,6 m. Le temps de réverbération de 0,8 s est présupposé. L'emplacement de la bouche d'air fourni n'est pas encore arrêté, au milieu d'un côté ou dans un angle de la chambre. L'amortissement effectif se situant fort probablement

dans la plage de ces deux hypothèses, les deux sont calculés. Le tableau 11.6 récapitule les valeurs nécessaires au calcul selon la formule 11.12 ainsi que les résultats.

L'amortissement par le local à la position M1 est compris entre 0 et 1 dB, à la position M2 entre 1 et 2 dB. Le calcul et la justification s'effectuent avec des valeurs moyennes, soit 0,5 dB pour la position M1 et 1,5 dB pour la position M2.

Hypothèse pour la position de la bouche d'air fourni	Position dans la chambre	Dis-tance	Facteur de direc-tivité Q	Surface au sol	Hauteur sol-plafond	Volume de la chambre	Temps de réverbé-ration	Amortisse-ment par le local
Milieu pari, sous plafond	M1	1,3	4	A_R	H	V	T	D_R
				m^2	m	m^3	s	dB
Milieu pari, sous plafond	M1	1,3	4	12	2,6	31,2	0,8	0,8
Angle du local	M1	1,3	8	12	2,6	31,2	0,8	-0,1
Milieu pari, sous plafond	M2	2,4	4	12	2,6	31,2	0,8	1,6
Angle du local	M2	2,4	8	12	2,6	31,2	0,8	1,3

Tableau 11.6:
Exemple de calcul de l'amortissement par le local selon la figure 11.1.

En revanche, les informations précises sur le niveau de puissance acoustique des bouches d'air ne sont malheureusement que rarement disponibles auprès des fournisseurs. Elles se limitent parfois à des indications vagues du type «niveau de puissance acoustique < 20 dB(A)». Il est alors recommandé de calculer les niveaux de puissance selon la norme VDI 2081. Le tableau 11.7 indique à la position 14 les valeurs liées à une bouche d'air de 100 mm de diamètre (ou de la même surface) avec une chute de pression de 10 Pa, ce qui est usuel pour les aérations douces.

La réflexion de l'embouchure atténuant le niveau sonore provenant de la conduite d'air se produit à l'entrée et à la sortie du local. Pour de nombreuses bouches d'air, la perte d'insertion indiquée par le fournisseur en tient déjà compte. Si ce n'est pas le cas, la réflexion de l'embouchure peut être déterminée selon la VDI 2081.

Conduites d'air et accessoires

Les conduites d'air et les raccords d'un diamètre jusqu'à 200 mm environ ne génèrent aucun bruit perceptible si la vitesse de l'air est de 4 m/s au maximum et s'ils sont posés correctement. Une pose non soignée – des vis saillantes, par exemple – peut générer des bruits. Avec les tubes en tôle d'acier, la réduction du niveau sonore est insignifiante. Pour les conduites rectangulaires et ovales ainsi que pour les tubes en matière synthétique, il est possible de prendre en compte la réduction du niveau indiquée par les fournisseurs.

Les caissons distributeurs réduisent également le niveau sonore, parfois de manière significative. La réduction est renforcée de manière considérable s'ils sont de plus pourvus de revêtements ou d'éléments insonorisants. Il est impératif de pouvoir démonter ces dispositifs pour le nettoyage de tous les composants. En présence d'accessoires de régulation, le niveau sonore dépend du réglage; il doit être indiqué par le fournisseur.

Ventilateurs

Pour les petites installations de ventilation, les ventilateurs constituent souvent la source de bruits la plus problématique. Leur niveau de puissance acoustique dépend fortement de leur régime. Les petits ventilateurs génèrent les niveaux sonores les plus élevés, compris entre 125 et 2000 Hz.

L'augmentation de la pression dynamique induit une augmentation du régime du ventilateur pour un débit d'air constant. Dès lors, les faibles pertes de charge réduisent le niveau sonore et en même temps la consommation d'électricité. De même, un débit d'air surdimensionné rend non seulement l'installation plus bruyante, mais a de surcroit pour conséquence de plus bas taux d'humidité de l'air intérieur en hiver.

Amortisseurs de bruit

L'amortissement dans la distribution de l'air ainsi que l'évaluation A ont pour conséquence la persistance de bruits gênants, surtout dans la plage comprise entre 125 et 500 Hz. Des amortisseurs de bruit doivent les prendre en charge et doivent avant tout être adaptés au spectre de l'appareil de ventilation: les modèles issus des accessoires du fournisseur, comme un caisson insonorisant, sont toujours judicieux.

Les amortisseurs circulaires suffisent rarement à amortir à satisfaction les bruits du ventilateur. Ils sont en revanche efficaces pour amortir les effets téléphone. La surface intérieure des amortisseurs semi-flexibles et des tubes amortisseurs souples n'est pas lisse. De plus, ils sont souvent assez fragiles, par conséquent assez facilement endommagés ou pliés, ce qui peut provoquer des pertes de charge élevées. Etant donné la problématique de la solidité et de l'hygiène, il ne faudrait recourir qu'exceptionnellement et uniquement pour des tronçons courts (de 0,5 m au maximum) à ce type de produits afin de pouvoir les remplacer facilement. Ils sont éligibles par exemple pour la désolidarisation du bruit solide.

Calcul acoustique des installations

Les calculs présentés ici s'appliquent aux installations de ventilation résidentielles usuelles avec un débit d'air allant jusqu'à 1000 m³/h. Pour les installations plus importantes et complexes ainsi que pour les installations destinées à un usage non résidentiel, il est conseillé de se référer à la directive VDI 2081.

L'outil en ligne «KWL» [7] permet le calcul des aérations douces. L'installation schématisée à la figure 11.2 a été calculée à l'aide de celui-ci.

Voici les données de l'installation:

- Débit d'air: trois chambres à 30 m³/h = 90 m³/h
- Perte de charge extérieure: 70 Pa
- Conduite avant le caisson de distribution d'air: tube spiro, diamètre nominal 125 mm, longueur de 1 m et deux coudes
- Caisson de distribution: caisson non isolé avec trois sorties
- Dispositif de réglage du débit d'air à la sortie du caisson distributeur
- Conduites après le distributeur: flexibles en matière synthétique, DN 90, longueur 4 m
- Chambre du point 11.5 (voir aussi figure 11.1).

Les données de l'appareil de ventilation, de l'amortisseur de bruit, du dispositif de régulation, de la conduite en matière synthétique et de la bouche d'air fourni se basent sur les indications du fournisseur. Le tableau 11.7 récapitule les données et résultats. Le calcul est valable pour la bande d'octave allant de 63 Hz à 4000 Hz. L'évaluation A est effectuée seulement à la fin.

Les bruits de flux d'air induits par l'amortisseur, le caisson distributeur et les conduites d'air sont négligés. Le niveau sonore à la sortie de ces composants est égal au niveau sonore à l'entrée moins l'amortissement acoustique du composant.

Le dispositif de régulation et la bouche d'air fourni génèrent par contre des bruits de flux d'air. Ils sont calculés de la manière suivante:

- L'amortissement acoustique du composant est soustrait du niveau de puissance acoustique à l'entrée du composant.

- Le résultat est additionné énergétiquement avec le niveau de puissance acoustique du composant ce qui correspond au niveau de puissance acoustique à la sortie du composant.

Les résultats du tableau 11.7 permettent ensuite de contrôler si l'exigence est remplie. Le niveau sonore moyen pondéré A à une position du local est égale à:

$$L_{Aeq,i} = L_{W,A} - D_{R,i} \quad (11.13)$$

avec, pour cet exemple, $L_{W,A}$, le niveau de puissance acoustique de la position 18 du tableau 11.7, et $D_{R,i}$, l'amortissement par le local à la position i d'après le point 11.5. Pour la position M1, il en résulte (voir illustration 11.1):

$$L_{Aeq,1} = 22,4 \text{ dB} - 0,5 \text{ dB} = 21,9 \text{ dB}$$

et pour la position M2

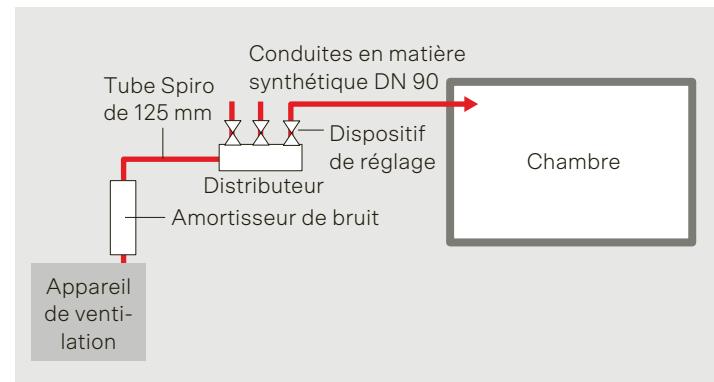
$$L_{Aeq,2} = 22,4 \text{ dB} - 1,5 \text{ dB} = 20,9 \text{ dB.}$$

Selon la formule 11.11, la valeur énergétique moyenne $L_{Aeq} = 21,4 \text{ dB}$.

Selon la formule 11.5 et avec les valeurs standards du point 11.2, la valeur de projet pour le bruit provenant de l'installation de ventilation est égale à:

$$\begin{aligned} L_{H,d} &= 21,4 \text{ dB} + (-2 \text{ dB}) + 2 \text{ dB} + 0 \text{ dB} + \\ &= 23,4 \text{ dB.} \end{aligned}$$

Figure 11.2: Installation prise comme exemple pour le calcul acoustique.



Pour la justification, le résultat est arrondi. Report dans l'équation 11.2:

$$L_{H,d} = 24 \text{ dB} \leq L_H = 25 \text{ dB}$$

L'exigence est par conséquent remplie. S'il y a plusieurs bouches d'air dans un local, les niveaux sonores sont additionnés énergétiquement. Dans le cas de deux bouches d'air d'un niveau sonore identique, le niveau sonore moyen pondéré A L_{Aeq} , et par là la valeur de projet $L_{H,d}$ augmente de 3 dB.

Tableau 11.7:
Exemple de calcul
du niveau de puissance acoustique
d'une installation
de ventilation.

Protection contre les bruits aériens entre locaux

La norme SIA 181 définit les exigences relatives à la protection contre le bruit entre logements. Pour la protection contre le bruit entre différents locaux d'un logement, la norme SIA 382/5 stipule au chiffre 2.2.7.8:

L'installation de ventilation ne doit pas affaiblir de manière mesurable (arrondi 1 dB) la protection contre le bruit aérien D_i des éléments séparatifs entre les locaux à l'intérieur d'unités d'utilisation. Si aucune exigence concernant la protection contre le bruit aérien D_i n'est donnée, une valeur minimale de 40 dB est recommandée. Cette recommandation s'applique aux locaux

Pos.	Composant/description	Source ¹⁾	Symbole	Unité	Fréquence moyenne de la bande de tiers d'octave						
					63	125	250	500	1000	2000	4000
1	Niveau de puissance acoustique, appareil de ventilation, air fourni	Fournisseur (F)	L_{W1}	dB	60,1	60,1	59,8	53,8	47,6	44,6	36,9
2	Amortisseur de bruit	F	D_2	dB	-8,0	-12,0	-22,0	-35,0	-40,0	-42,0	-38,0
3	Amortissement par les coudes $d = 125$	VDI	D_3	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	-2,0	-4,0	-6,0
4	Amortissement par les conduites jusqu'au distributeur, $d = 125$ mm, longueur 1 m	VDI	D_4	dB	-0,1	-0,1	-0,2	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3
5	Amortissement par le distributeur, trois sorties	VDI	D_5	dB	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8	-4,8
6	Amortissement par le dispositif de réglage	F	D_6	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	Niveau de puissance acoustique après l'amortissement par le dispositif de réglage (addition des pos. 1 à 6)		L_{W7}	dB	47,2	43,2	32,9	13,7	0,5	-6,5	-12,2
8	Niveau de puissance acoustique au droit du dispositif de réglage	F	L_{W8}	dB	18,0	24,0	20,0	17,0	13,0	7,0	2,0
9	Niveau de puissance acoustique à la sortie du dispositif de réglage (addition log. des pos. 7 et 8)		L_{W9}	dB	47,2	43,3	33,1	18,7	13,2	7,2	2,2
10	Amortissement par la conduite en matière synthétique après le distributeur, DN 90, 4 m	F	D_{10}	dB	-0,8	-1,6	-2,0	-1,2	-1,2	-1,6	-2,8
11	Amortissement par la bouche d'air fourni	F	D_{11}	dB	-8,0	-7,0	-10,0	-9,0	-14,0	-14,0	-13,0
12	Réflexion de l'embouchure (selon le fournisseur, comprise dans la pos. 11)	F	D_{12}	dB	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13	Niveau de puissance acoustique après la bouche d'air fourni (addition des pos. 9 à 12)		L_{W13}	dB	38,4	34,7	21,1	8,5	-2,0	-8,4	-13,6
14	Niveau de puissance acoustique, bouche d'air fourni	VDI	L_{W14}	dB	22,0	22,0	22,0	17,0	9,0	0,0	0,0
15	Niveau de puissance acoustique à l'entrée dans le local (addition log. des pos. 13 et 14)		L_{W15}	dB	38,5	34,9	24,6	17,6	9,3	0,6	0,2
16	Pondération A	VDI	ΔL_A	dB	-26,1	-16,0	-8,6	-3,2	0,0	1,2	1,0
17	Addition des pos. 15 et 16			dB	12,4	18,9	16,0	14,4	9,3	1,8	1,2
18	Niveau de puissance acoustique à l'entrée dans le local, avec pondération A ²⁾		$L_{W,A}$	dB					22,4		

1) Fournisseur = indications du fournisseur; VDI = calcul, respectivement estimation selon la directive 2081, feuille 1

2) Obtenu par addition logarithmique des valeurs de la position 17

sans l'influence des portes, des escaliers ouverts et des bouches d'air transférées.

La justification par le calcul de cette exigence est possible en recourant à la norme VDI 2081. Attention, il arrive que la perte d'insertion des bouches d'air à l'entrée du son dans le local ne soit pas la même que celle à la sortie du son du local.

Si une installation de ventilation collective est prévue, il est fortement recommandé de recourir à des amortisseurs atténuant les effets téléphone entre les appartements. Le tableau 11.8 liste les valeurs indicatives pour différentes mesures d'amortissements visant à remplir les exigences de la norme SIA 382/5; il suffit d'en réaliser une seule. Par ailleurs, la transmission de son entre locaux est à traiter non seulement côté air fourni mais également côté air repris.

11.6 Emissions sonores vers l'extérieur

En général, les émissions sonores des installations de ventilation résidentielles ne posent pas de problème à l'extérieur. En cas d'installations de ventilation collectives ou encore de façades attenantes d'habitations collectives comportant plusieurs bouches d'air neuf et d'air rejeté, il est judicieux de consulter des spécialistes de protection contre le bruit. Par ailleurs, outre l'Ordonnance sur la protection contre le bruit (OPB) [8], il faut tenir compte du principe de précaution

selon la Loi fédérale sur la protection de l'environnement (LPE) [9], art. 11, al. 2: «*Indépendamment des nuisances existantes, il importe, à titre préventif, de limiter les émissions dans la mesure que permettent l'état de la technique et les conditions d'exploitation et pour autant que cela soit économiquement supportable.*»

Ce passage peut être interprété de la manière suivante: la pose d'amortisseurs de bruit dans les conduites d'air neuf et d'air rejeté est économiquement supportable et techniquement proportionnée à condition de réduire le niveau sonore de manière perceptible à la fenêtre la plus proche ou sur la terrasse du voisin, par exemple. Outre les émissions sonores des bouches d'air neuf et d'air rejeté, les bruits provenant des environs jouent aussi un rôle.

11.7 Points à retenir

Dans le domaine des ventilations pour habitations, les points suivants sont primordiaux afin d'atteindre une bonne protection contre le bruit (voir figure 11.3):

- Outre une faible consommation d'électricité par les ventilateurs, les faibles pertes de charge assurent un faible niveau sonore de l'installation.
- Les amortisseurs de bruit doivent être adaptés à l'appareil de ventilation.
- Les bouches d'air doivent être dimensionnées généreusement pour que le bruit de flux d'air qu'elles génèrent soit le plus faible possible.
- Les appareils de ventilation ne doivent pas être disposés dans les zones de sé-

Mesure	Amortissement acoustique nécessaire à 500 Hz et 1000 Hz, si une seule mesure est mise en oeuvre	
	Pour une distribution en étoile par tuyaux flexibles en matière synthétique	Pour une distribution en arborescence par tubes Spiro jusqu'aux chambres
Bouche d'air	12 dB par bouche	15 dB par bouche
Caisson distributeur insonorisé	25 dB entre deux branchements de locaux	-
Amortisseurs du bruit issu de l'effet téléphone, avant chaque bouche d'air	10 dB par amortisseur	12 dB par amortisseur

Tableau 11.8:
Valeurs indicatives de l'amortissement acoustique requis pour différentes mesures.

jour. A l'intérieur, il est exceptionnellement envisageable de les disposer dans les buanderies et les réduits si les cloisons et portes de ces locaux ont un indice élevé d'affaiblissement acoustique.

- Les bouches d'air transférées sont adaptées au standard acoustique des portes de chambre.
- Une mesure du tableau 11.8 est réalisée pour assurer un bon amortissement des effets téléphone.

11.8 Bibliographie

- [1] VDI 2081, Blatt 1: 2019-03 Raumlufttechnik – Geräuscherzeugung und Lärminderung. VDI Verein Deutscher Ingenieure e. V., Düsseldorf
- [2] Huber, Heinrich; Mosbacher, René: Wohnungslüftung, Faktor Verlag, Zürich, 2006
- [3] Huber, Heinrich: Komfortlüftung in Wohngebäuden. Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co. KG, Köln, 2016
- [4] SIA 181: 2020 Protection contre le bruit dans le bâtiment
- [5] SIA 382/5: 2021 Ventilation des habitations
- [6] Cercle Bruit, aide à l'exécution 6.20, Évaluation acoustique des systèmes de chauffage, de ventilation, de climatisation et de réfrigération. Groupement des responsables cantonaux de la protection contre le bruit, 2020. Téléchargement sur www.cerclebruit.ch
- [7] KWL-Tool: www.kwl-tool.ch, Enerhaus Web Services GmbH, Zuchwil, <https://enerweb.ch/support-kwl.html>
- [8] Ordonnance sur la protection contre le bruit du 15 décembre 1986 (OPB; RS 814.41)
- [9] Loi fédérale sur la protection de l'environnement du 7 octobre 1983 (LPE; RS 814.01)

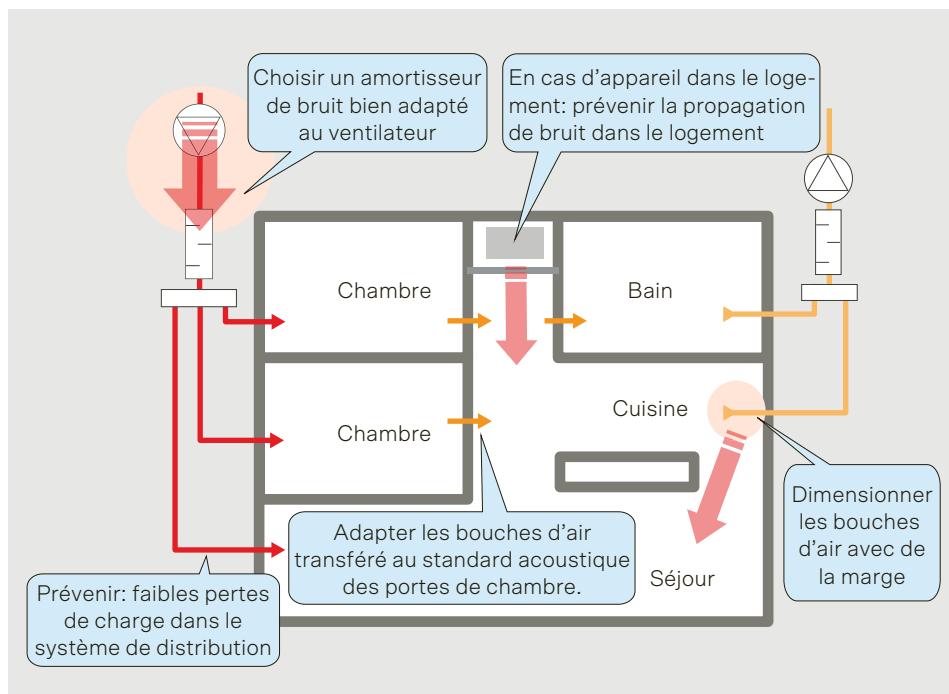


Figure 11.3: Points à retenir pour une bonne protection contre le bruit des installations de ventilation dans les habitations.

Réception et exploitation

12.1 Réception

A la réception de l'installation, le mandant entre en possession de celle-ci; il en a désormais la responsabilité. Les délais de dénonciation des défauts et de prescription commencent à courir dès ce moment. La réception comprend les cinq volets suivants:

- Contrôle de bon achèvement
- Contrôle de fonctionnement
- Mesures de fonctionnement
- Premier contrôle d'hygiène
- Documentation de l'installation

La réception est consignée dans un procès-verbal. Pour les installations de ventilation individuelles, il est conseillé d'utiliser le formulaire succinct contenu dans le document «Garantie de performance - Installations techniques» de Minergie, suissetec et SuisseEnergie [1]. Pour les installations de ventilation collectives, le formulaire SICC 96-5 [2], plus détaillé, est recommandé.

Contrôle de bon achèvement

Le bon achèvement comprend:

- La fourniture complète et la qualité convenue du matériel commandé
- Le montage conforme aux règles de l'art, aux prescriptions techniques et légales
- L'accessibilité pour l'entretien et l'exploitation des installations
- La propreté

Le bon achèvement comprend aussi le contrôle de propreté de l'installation. Une installation sale n'est pas opérationnelle. Si nécessaire, il faut exiger de l'entreprise qu'elle la nettoie.

Si les filtres ont été utilisés pendant la mise en service, ils doivent être remplacés avant le contrôle de propreté. Après ce changement de filtres, au moins un set de filtres de remplacement pour l'ensemble de l'installation doit être fourni; il doit comporter tous les types de filtres,

ceux des bouches d'air neuf, des appareils VPL (ventilation par local) et des bouches d'air transféré et d'air repris. Il est judicieux que le contrat d'entreprise décrive clairement le nettoyage éventuellement nécessaire et le nombre de filtres de remplacement exigé.

12.2 Contrôle et mesures de fonctionnement

Le contrôle de fonctionnement sert à vérifier que la mise en service de l'installation a été effectuée correctement. Des contrôles de fonctionnement ultérieurs peuvent être réalisés à n'importe quel moment, par exemple après une révision ou à l'occasion d'un changement de propriétaire. Sauf accord contraire, le contrôle de fonctionnement est à effectuer avec des filtres propres.

Le sens du flux d'air est contrôlé à toutes les bouches d'air au moyen d'un test de plausibilité, par exemple avec des tubes de fumée, ainsi que par un contrôle du procès-verbal de mise en service. La mesure et la régulation de toutes les bouches d'air fourni et repris doivent être consignées sous forme de tableau. Ce dernier fait partie intégrante du protocole de mise en service. Il existe des cas avérés de conduites bouchées ou de conduites d'air fourni et d'air repris inversées, découverts trop tard à cause d'un contrôle de fonctionnement lacunaire.

Le contrôle de fonctionnement comporte aussi le test de la commande/régulation, à savoir les fonctionnalités des réglages de commutateur, les programmes horaires et commandes à distance. En outre, les fonctions de sécurité sont contrôlées.

Tolérances et incertitudes de mesure

Les mesures de fonctionnement servent à prouver que les valeurs convenues sont atteintes. A cet égard, il faut faire la différence entre incertitude de mesure et tolérance par rapport à la valeur de consigne.

– **L'incertitude de mesure** indique la précision d'un appareil ou d'un procédé de mesure. Pour cette raison, ces deux indications doivent toujours figurer sur le procès-verbal de mise en service. Selon les normes internationales, l'incertitude de mesure est indiquée avec un intervalle de confiance de 95%.

– La **tolérance par rapport à la valeur de consigne** décrit l'écart admis entre la valeur de mesure et la valeur de consigne. La valeur relevée sur l'appareil de

mesure, respectivement la valeur calculée à partir de celle-ci, doit se situer dans la plage de tolérance.

Le tableau 12.1 présente des propositions concernant les incertitudes de mesure et les tolérances admissibles. Il spécifie les trois types de grandeurs de mesure suivants:

- La **valeur de la plage** qui doit se trouver à l'intérieur des limites de tolérances.
- La **valeur minimale** qui peut être inférieure au maximum de la tolérance indiquée. Une valeur plus élevée est toujours admise.
- Une **valeur maximale** qui peut être supérieure au maximum de la tolérance indiquée. Une valeur inférieure est toujours admise.

Tableau 12.1:

Proposition concernant les incertitudes de mesure et les tolérances en matière de valeurs de consigne.

Grandeur de mesure	Type de grandeur de mesure	Incertitudes de mesure avec supplément admis ¹⁾	Tolérance admise par rapport à la valeur de consigne
Débit d'air			
– D'un local	Valeur de la plage	± (2,5 m ³ /h + 5 % de la valeur mesurée)	± (3,0 m ³ /h + 6 % de la valeur mesurée)
– D'un logement et d'une l'installation complète	Valeur de la plage	± 10 %	± 10 %
Température de l'air			
– Installation avec RC seule: sortie de l'air fourni au droit de l'appareil ²⁾	Valeur minimale	± 0,5 K	-1,0 K
– Installation avec post-chauffage: sortie de l'air fourni au droit de l'appareil	Valeur de la plage	± 0,5 K	± 1,0 K
– Autres températures de l'air	Valeur de réf.	± 0,5 K	–
Taux d'humidité relative de l'air			
– Air intérieur	Valeur de la plage	± 5 % HR	⁴⁾
– Air fourni des installations avec récup. d'humidité ³⁾	Valeur minimale	± 5 % HR	-15 %
– Autres taux d'humidité relative de l'air	Valeur de réf.	± 5 % HR	–
Vitesse moyenne de l'air intérieur	Valeur maximale	± 0,05 m/s	+ 15 %
Différence de pression			
– Dépression admise dans les locaux ⁵⁾	Valeur maximale	± 1 Pa	+ 0 %
– Perte de charge des distributions de l'air / composants	Valeur maximale	± 3 Pa	+ 10 %
– Pression dynamique externe de l'appareil de ventilation	Valeur de réf.	± 3 Pa	–
Puissance électrique absorbée par le ventilateur	Valeur maximale	Classe 1 ⁶⁾	+ 10 %
Niveau sonore à équivalent énergétique et niveau d'évaluation	Valeur maximale	Classe 1 ⁷⁾	+ 0 dB ⁸⁾

1) Avec un intervalle de confiance de 95 %

2) Dans des conditions hivernales; sans condensation, la protection anti-givrage de la RC n'est pas en fonction. La valeur de consigne est déterminée sur la base des indications du fabricant relatives à l'appareil de ventilation et des valeurs de référence.

3) Uniquement pour les échangeurs à enthalpie; autres conditions identiques à 2)

4) Voir point 1.5

5) Une dépression est exprimée par un chiffre positif. Exemple: si la pression dans la pièce est de 4 Pa inférieure à la pression extérieure, la dépression est de + 4 Pa.

6) Selon la norme SN EN 12599, tableau D.7

7) Selon la norme SIA 181:2020, A.4.1

8) Selon la norme SIA 181:2020, chiff. 2.1.2

Afin de pouvoir évaluer une valeur de mesure, il est indispensable de connaître les conditions-cadres. Celles-ci sont définies par des **valeurs de référence**. Pour évaluer l'efficacité thermique d'une RC, par exemple, il faut mesurer la température de l'air repris et de l'air extérieur, en plus de celle de l'air fourni. A l'opposé de l'incertitude de mesure, aucune tolérance n'est exigée pour les valeurs de référence, étant donné que la ventilation des habitations ne peut pas influencer certaines valeurs, telle la température extérieure.

Il faut convenir de la manière dont la tolérance et l'incertitude de mesure sont appliquées. Il est raisonnable d'exiger que la valeur de mesure soit comprise dans la plage de tolérance tout en respectant l'incertitude de mesure indiquée. Si la valeur de mesure se trouve en dehors de la plage de tolérance, il faudrait refuser le résultat. En d'autres termes: il n'est pas admis d'additionner la tolérance et l'incertitude de mesure.

Pour les valeurs de calcul telles que l'efficacité thermique d'une RC ou la puissance spécifique des appareils (SPI), les tolérances et incertitudes de mesure sont à convenir séparément. A cet effet, la norme FprEN 308:2021 définit différentes classes de précision, entre autres.

Débits d'air

Pour les installations de ventilation des habitations, le plus important est de mesurer les débits d'air au régime normal. Toutes les valeurs caractéristiques sont à mesurer dans toutes les pièces et au droit de toutes les bouches d'air. Les procédés de mesure les plus courants sont les suivants:

- **Anémomètre:** l'incertitude de mesure des anémomètres est de l'ordre de 20 % pour les sections de conduites et les débits usuels des aérations douces, ceci même dans des conditions de laboratoire. En outre, les installations réelles ne comportent souvent pas de conduites droites assez longues pour que le profil d'écoulement homogène nécessaire à la mesure puisse se mettre en place.

Par conséquent, les anémomètres sont à utiliser exclusivement pour les premiers réglages et les contrôles de plausibilité. Ils sont trop imprécis pour les mesures de fonctionnement lors de la réception.

- **Appareils de mesure à trémie:** selon les indications des fabricants, l'incertitude de mesure des appareils à trémie est de l'ordre de 10 %. Il est fort probable que l'incertitude de mesure augmente pour des débits inférieurs à 50 m³/h environ. L'incertitude de mesure absolue est estimée à 5 m³/h environ.

- **Appareils à pression compensée:** la chute de pression de l'appareil de mesure est compensée par un ventilateur additionnel. La figure 12.1 montre, à titre d'exemple, un appareil avec une incertitude de mesure de 3 % pour les débits supérieurs à 10 m³/h, respectivement de 3 m³/h pour les débits inférieurs à 10 m³/h. Une mesure est effectuée en quelques secondes. Ces appareils sont nettement plus chers que les appareils à trémie, mais il est possible de les emprunter auprès de certains vendeurs de systèmes et certains instituts.

Lorsque les exigences sont élevées en matière de régulation ainsi que pour les expertises, il vaut mieux recourir à des appareils à compensation de pression.

Figure 12.1: Appareil de mesure de débits avec compensation de pression nulle.
(Source: ACIN instrumenten bv, BG Rijswijk NL)



12.3 Premier contrôle d'hygiène

Après le nettoyage final du bâtiment, mais avant l'emménagement des habitants, il est judicieux de faire contrôler l'hygiène de l'installation de ventilation par une entreprise indépendante. Les installations visuellement propres dont le côté air fourni n'a jamais été en contact avec de l'eau représentent un risque très faible de pollution significative de l'air fourni pour la santé. En revanche, en cas de saletés visibles, l'installation est à nettoyer impérativement. En cas de suspicion de conduites sales, une inspection à l'aide d'une caméra s'impose. La prise en charge de ces coûts est à régler auparavant, dans le contrat d'entreprise. Il arrive que certains évènements polluent l'air fourni. Pour limiter ces risques, il est recommandé d'effectuer une mesure des germes aux endroits suivants:

- Air extérieur (grandeur de comparaison)
- Air fourni à la sortie de l'appareil de ventilation
- Air fourni à l'entrée dans le local – dans deux locaux en cas d'installations de ventilation individuelles; dans un local par appartement en cas d'installations collectives.

Les contrôles d'hygiène et les nettoyages sont des travaux exigeants qui nécessitent une formation et une expérience adéquate. Les professionnels spécialisés doivent par conséquent disposer des attestations de formation à l'hygiène idoines.

12.4 Documentation et instructions

Lors de sa remise, la documentation et le mode d'emploi de l'installation sont remis au mandant, respectivement à l'exploitant. Ils doivent contenir les pièces suivantes:

- Guide de démarrage rapide pour les utilisateurs et utilisatrices, environ d'une page A4
- Cahier de maintenance avec des indications sur les filtres, intervalles d'inspection, procédures de nettoyage appropriées, etc.
- Adresse du centre de service
- Adresses pour l'achat de consommables et de matériel de remplacement, en particulier des filtres
- Adresses des installateurs, planificatrices et fournisseurs
- Schéma de principe et plan de révision de l'installation
- Fiches techniques des appareils et composants
- Schéma électrique
- Procès-verbal de la mise en service
- Journal documentant les entretiens, révisions et modifications

Le maître d'ouvrage et l'exploitant sont à informer et instruire au sujet de l'exploitation et de la maintenance. Les points suivants sont notamment à aborder:

- Régimes de l'installation de ventilation: utilité et fonctionnement
- Ouverture des fenêtres, en particulier pour le sommeil avec fenêtre ouverte
- Humidité relative de l'air intérieur: comportement et mesures lors de taux trop bas ou trop hauts
- Comportement en cas de logements inoccupés, en particulier en hiver (vacances, changement de locataire, logements de vacances)
- Possibilités et limites de l'installation de ventilation: odeurs extérieures, fumée, bâtonnets d'encens, séchage de linge et autres sources de charges massives
- Fonctionnement en été et protection contre la surchauffe estivale: arrêt de

l'installation de ventilation, by-pass pour l'été, refroidissement nocturne par ouverture des fenêtres, utilisation des protections solaires

- Bouches d'air transféré: pas de tapis obstruant les fentes sous les portes faisant office de bouches d'air transféré
- Maintenance: présentation des responsabilités à l'aide du cahier de maintenance
- Démonstration du remplacement des filtres; indications pour la manipulation des filtres (protection contre la contamination, élimination)
- Comportement lors de dysfonctionnements de l'installation de ventilation.
- Comportement en cas d'incendie et de défaillances
- Si les hottes de cuisine sont raccordées à l'aération douce: fonctionnement et entretien des filtres

12.5 Maintenance

Les responsabilités pour les travaux de maintenance doivent être définies au plus tard à la réception de l'installation. Les contrats de maintenance en font partie. Si les travaux de contrôle sont effectués par des non-spécialistes, ils doivent être instruits par des professionnels.

Filtres

Le filtre air fourni est un élément clef pour l'hygiène. Les filtres sont à remplacer une à trois fois par an, ceci en fonction de leur dimensionnement et de la qualité de l'air extérieur.

En cas de logements locatifs avec des installations de ventilation individuelle, les filtres doivent être changés par le propriétaire ou par ses mandataires, par exemple le service de conciergerie. Il n'est pas conseillé de faire changer les filtres par les locataires.

Maintenance et nettoyage par les exploitants

Les exploitants ne devraient nettoyer que les parties de l'installation accessibles sans outils et nettoyables sans danger. Il ne faudrait pas recourir à une

échelle, par exemple. Il s'agit en premier lieu des bouches d'air neuf, d'air fourni et d'air repris ainsi que d'air transféré. Toutefois, les bouches d'air ne sont à nettoyer par les exploitants que si cela ne risque pas de modifier les débits d'air tels que réglés.

Dans le cas de villas et d'appartements en PPE, il peut éventuellement être convenu que les propriétaires contrôlent et nettoient eux-mêmes les appareils de ventilation. Il faut recourir au même équipement de protection individuelle que lors du remplacement des filtres.

Le nettoyage sera effectué en fonction des besoins, c'est-à-dire lorsqu'une partie de l'installation paraît visuellement sale; ceci à l'aide de chiffons secs et propres ou de serviettes en papier. Un nettoyage humide avec de l'eau est envisageable, si nécessaire. Aucun produit de nettoyage ne devrait être utilisé, car les résidus parviennent en fin de compte dans la ventilation et donc dans l'air intérieur.

Inspection et nettoyage

Les aérations douces sont à contrôler régulièrement et si nécessaire à nettoyer par des spécialistes. L'intervalle dépend de la rapidité de l'encrassement en raison entre autres de la qualité de l'air extérieur, de l'emplacement de la prise d'air neuf, de la charge de poussière dans le logement.

Si un contrat de maintenance comprenant une inspection plus fréquente fait défaut, il est recommandé de faire contrôler les aérations douces par une entreprise spécialisée tous les trois à cinq ans. Par contre, il faut les nettoyer uniquement si nécessaire. Si la présence d'humidité et d'encrassement est suspectée côté air neuf, respectivement côté air fourni, des mesures de germes devraient être entreprises.

Si les prises d'air neuf sont correctement positionnées et les filtres correctement maintenus, la distribution de l'air fourni reste propre pendant des décennies. Le côté air repris, en revanche, peut s'en-crasser. Par conséquent, il est conseillé

de nettoyer la distribution de l'air repris après huit à douze ans environ. Le délai dépend de la charge de poussière dans le logement. Son encrassement est accéléré par les textiles d'ameublement, animaux domestiques, sprays pour les cheveux et la suie des bougies.

Le temps nécessaire pour inspecter et nettoyer une installation dépend de sa taille, de son accessibilité et de son état. Pour les installations simples qui ne sont pas particulièrement encrassées, une demi-journée devrait suffire y compris les travaux d'entretien et de nettoyage simples. Le nettoyage de l'aération douce d'une villa simple devrait pouvoir être effectué par une équipe de deux personnes en une journée de travail. En revanche, en présence d'un encrassement important, le travail peut s'avérer être beaucoup plus long. Par ailleurs, l'estimation du temps nécessaire repose sur les hypothèses suivantes: planification des installations dans les règles de l'art et par conséquent facilement accessibles, absence de tout encrassement provenant de la phase de construction. La liste de contrôle à la page 162 donne des indications sur les travaux d'entretien usuels.

12.6 Bibliographie

- [1] Garantie de performance – Installations techniques, chapitre aération douce, SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie OFEN, Berne, 2019, téléchargement sur <https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/2610>
- [2] SICC 96-5 Protocoles de réception, 1997

Chapitre 13

Annexe

13.1 Auteur

Heinrich Huber a été professeur en technique du bâtiment au sein de la Haute école du Nord-Ouest de la Suisse (FHNW) et de la Haute école de Lucerne (HSLU) de 2011 à 2022. Il s'est spécialisé dans la ventilation des habitations et fait partie à ce titre des principaux experts en Suisse. Heinrich Huber a rédigé à ce propos plusieurs ouvrages spécialisés, dirigé des projets de recherche, donné des conférences et rédigé de nombreux articles spécialisés. Par ailleurs, il a contribué au développement des systèmes de normes suisses et internationales.

13.2 Symboles

Symboles graphiques de la technique de ventilation selon la norme EN 12792			
Symbol	Signification	Symbol	Signification
	Ventilateur avec moteur		Clapet
	Réchauffeur d'air		Régulateur à débit constant
	Refroidisseur d'air		Régulateur à débit variable ou régulateur à plusieurs régimes
	Echangeur de chaleur pour la récupération de chaleur		Régulateur
	Amortisseur de bruit		Capteur de température
	Filtres		Capteur de pression
	Grille pare-pluie, bouches d'air neuf et d'air rejeté		Unité de commande

13.3 Abréviations

ANF	Air neuf
Appareil VPL	Appareil de ventilation individuel par local
BAN	Bouche d'air neuf traversant l'enveloppe
BAT	Bouche d'air transféré
COP	Coefficient de performance annuel
DN	Diamètre nominal
FOU	Air fourni
MoPEC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons
NTU	Number of Transfer Units («nombre d'unité de transfert»)
PAC	Pompe à chaleur
PAC air repris	Pompe à chaleur sur air repris
PM10	Poussières fines (Particulate Matter) d'un diamètre inférieur à 10 micromètres; de manière analogue: PM2,5 poussières d'un diamètre inférieur à 2,5 micromètres et PM1, poussières d'un diamètre inférieur à 1 micromètre.
RC	Récupération de chaleur
REP	Air repris
RJT	Air rejeté
SEC	Seasonal Energy Consumption, voir SEV
SEV	Consommation d'énergie spécifique d'un appareil de ventilation selon l'étiquette-énergie
SFP	Puissance spécifique des ventilateurs (en anglais Specific Fan Power)
SPI	Puissance spécifique des appareils (en anglais Specific Power Input)
SS	Sous-sol
TVOC	Total Volatile Organic Compounds → VOC
UCP	Utilisation de la chaleur perdue
UVNR	Unités de ventilation non résidentielles
UVR	Appareils de ventilation des unités résidentielles
VC	Installation de ventilation collective
VI	Installation de ventilation individuelle
VOC	Hydrocarbures volatils (Volatile Organic Compounds)
VPL	Ventilation par local

13.4 Termes et définitions importantes

- **Débit de référencement:** débit d'air sur la base duquel les performances d'un appareil de ventilation sont déterminées (indications du fabricant)
- **Coefficient de performance annuel:** rapport entre l'énergie fournie par une pompe à chaleur et la chaleur pour le chauffage effectivement produite sur une période d'un an
- **Taux de fuites:** rapport entre le débit des fuites et le débit de référence de l'appareil de ventilation
- **Débit d'air déterminant:** débit d'air sur la base duquel l'installation est dimensionnée
- **Taux de mélange:** court-circuit entre air rejeté et air neuf, respectivement entre air fourni et air repris
- **Régime normal:** voir tableau 1.4
- **Régime de base:** voir tableau 1.4
- **Régime intensif:** voir tableau 1.4
- **Régulation:** selon la DIN, la régulation est un processus qui consiste à enregistrer une grandeur à régler, à la comparer à une grandeur de référence et à l'influencer en continu pour qu'elle se rapproche à la grandeur de référence.
- **Réglage:** terme utilisé dans ce document pour le réglage d'une installation dans l'objectif d'une exploitation optimale, soit au moyen de commandes ou de régulations.
- **Commande:** selon la DIN, la commande est un processus qui consiste à influencer une ou plusieurs données d'entrée, respectivement de sortie, d'un système.

13.5 Codes couleur selon les types d'air

Air intérieur	Gris
Air transféré	Gris
ANF	Vert
Fuites d'air (dans l'installation)	Gris
Infiltration	Gris
Installation d'air fourni avec RC	Rouge
Installation d'air fourni sans RC	Vert
Mélange	Orange
REP	Jaune
RJT	Brun

13.6 Liste de contrôle des travaux de maintenance

Chaque année en été		
1.1	Bouches d'air neuf et d'air rejeté	Contrôler par rapport à l'encrassement, la détérioration et la corrosion. Nettoyer et le cas échéant déterminer la cause de l'encrassement
1.2	Echangeur de chaleur air-sol	Contrôler par rapport à la présence d'eau stagnante et d'encrassement visible; nettoyer et déterminer la cause de l'encrassement, respectivement de l'eau stagnante; vérifier l'évacuation des condensats; remplir le siphon
1.3	Filtres	Vérifier par rapport à un encrassement non admis, contrôler la pression différentielle et les indications des filtres; si nécessaire remplacer et éliminer les filtres.
1.4	By-pass estival (intégré dans l'appareil de ventilation)	Lors d'une chaude journée: vérifier si le by-pass s'ouvre
1.5	Protection anti-givrage et réchauffeur d'air	Vérifier s'ils sont complètement déclenchés, éventuelle pompe de circulation comprise
1.6	Bouches d'air fourni et d'air repris	Contrôler par rapport à l'encrassement, nettoyer; si l'encrassement est important, déterminer la cause; ne pas modifier les réglages
Chaque année en hiver		
1.11	Filtres air fourni	Remplacer et éliminer les filtres; contrôler s'ils sont humides; le cas échéant, déterminer la cause de la présence d'eau
1.12	Filtres air repris	Remplacer et éliminer les filtres
1.13	Appareil de ventilation	Inspecter tous les composants (ventilateurs, RC, réchauffeur d'air, clapets, caisson) par rapport à l'encrassement, la corrosion, la détérioration et l'apparition d'eau; nettoyer
1.14	Evacuation des condensats	Vérifier l'évacuation des condensats, remplir le siphon
1.15	By-pass estival	Vérifier que le by-pass est fermé
1.16	Protection anti-givrage	A une température extérieure supérieure à 0 °C, vérifier si elle est déclenchée.
1.17	Commande/ régulation	Tester les régimes; évaluer le fonctionnement de la commande; contrôler les programmes horaires définis; év. contrôle détaillé par entreprise spécialisée ou fournisseur
Tous les deux ans		
2.1	Bouches d'air transféré	Inspecter par rapport à l'encrassement et vérifier le fonctionnement; le cas échéant, remplacer les filtres, nettoyer; en cas d'encrassement important, déterminer la cause
2.2	Conduites d'air	Inspecter par pointage les conduites par rapport à des encrassements importants aux endroits facilement accessibles (aux droits des bouches d'air et du raccordement à l'appareil de ventilation, par exemple)
Tous les trois ans pour les logements loués, au minimum tous les 5 ans pour les logements à usage du propriétaire		
Les travaux suivants devraient être effectués par une entreprise spécialisée.		
3.1	Bouche d'air neuf et d'air rejeté ¹⁾	Inspecter
3.2	Echangeur de chaleur air-sol ¹⁾	Contrôler l'échangeur de chaleur air-sol; si des encrassements sont suspectés, contrôler éventuellement par caméra à tube
3.3	Appareil de ventilation ¹⁾	Nettoyer, contrôler le fonctionnement
3.4	Distribution de l'air y compris bouches d'air fourni et d'air repris ¹⁾	Contrôler plusieurs conduites par pointage – si des encrassements sont suspectés, éventuellement par caméra pour canalisation; après inspection et nettoyage, régler et mesurer les débits d'air.
3.5	Commande/régulation	Contrôler le fonctionnement de la régulation: régimes, by-pass estival, protection anti-givrage, batterie de poste-chauffage si existant.
1) La personne effectuant les travaux doit être en possession d'une attestation de formation à l'hygiène de catégorie B pour une inspection d'hygiène selon la directive SICC VA104-01 [1].		
Tous les trois ans pour les logements loués, au minimum tous les 10 ans pour les logements à usage du propriétaire		
Inspection par un spécialiste qui doit être en possession d'une attestation de formation à l'hygiène de catégorie A selon la directive SICC VA104-01.		

[1] Directive SICC VA104-01 Aéraulique – qualité de l'air – Partie 1: Exigences hygiéniques pour les installations et appareils aérauliques, édition 2019. Remarque: excepté l'annexe nationale, le texte de la directive est identique à la directive VDI 6022, feuille 1

13.7 Index

A

Abréviations 160
Absorption acoustique dans le local 145
Aérateurs de fenêtre 42
Aération douce
 bouches d'air neuf et d'air rejeté 73
 commande/régulation 63
 conception 60
 distribution de l'air 63
 documentation 78
 emplacement des appareils 71
 nettoyage et hygiène 77
 paramètres 60
 pertes de charges et consommation d'énergie 73
 réglage 63
Aération par les fenêtres, ouverture automatique 42
Aération par les fenêtres, ouverture manuelle 41
Aération douce
 pertes de charge 113
Air intérieur
 classes selon la SIA 7
Amortissement par le local 147
Amortisseurs de bruit 148
Appareils à flux d'air réversibles
 débit d'air 101
Appareils à flux d'air réversibles 98, 104
Appareils de ventilation
 hygiène 111
 installations de ventilation collectives 73
Appareils multifonctions 130

B

Besoins annuels en énergie des installations de ventilation 123
Besoins annuels spécifiques électrique 128
Besoins spécifiques en puissance électrique 128
Bouches d'air fourni
 à faible induction 34
 à induction standard 33

Bouches d'air neuf

 confort thermique 91
 dimensionnement acoustique 92
 dimensionnement en cas de régime continu 86
 dimensionnement en cas de régime marche/arrêt 85
 justification de protection contre le bruit 93
Bouches d'air repris 34
Bouches d'air transférées 34
 positionnement 38
Box de ventilation d'appartement 70
Bruit provenant de l'extérieur 21

C

Calcul acoustique des installations 149
Cascade, principe 26
Caves 137
Chauffage à air chaud 139
Circulation de l'air 23
 dans le local 33
Classes de filtre 111
Classification énergétique 129
Codes couleur des types d'air 161
Coefficient d'encaissement des filtres 111
Commande/régulation 13
Concept de ventilation 15
Conditions de pression 20
Conditions de pression, cascade 26
Conduites d'air
 isolation thermique 59, 121
Conduites d'air, dimensionnement 57
Contrôle de fonctionnement 153
Coordination de la planification 55
Court-circuit des flux d'air 120
Cuisines 40

D

Débit d'air
 déterminant 61
 profil horaire 24
Débits d'air repris, débits minimaux 39
Déperditions thermiques 124
Déroulement du projet 54
Déséquilibre 109
Déséquilibre des débits 116
Distance entre bouche d'air neuf et bouche d'air rejeté 75
Documentation et instructions 156

E

- Echangeurs à enthalpie 114
 - formation de glace 115
- Echangeurs de chaleur à plaques 114
- Echangeurs de chaleur à régénération statique 114
- Echangeurs de chaleur géothermique 75
- Ecoconception 129
- Eléments actifs de transfert d'air 30
 - conditions de pression 27
- Etanchéité à l'air de l'enveloppe 21
- Exploitation 13

F

- Facteur de compensation du filtre 112
- Facteur de déséquilibre 117
- Fenêtres 19
- Fente sous la porte 36
 - indice d'affaiblissement acoustique 37
- Filtres 112, 157
- Flux d'air dans les logements 23
- Fonctions de la ventilation 5
- Foyer ouvert dans l'appartement 108
- Foyers ouverts 136
- Fuites et efficacité thermique 120

H

- Hottes de cuisson 132
 - raccordement à l'aération douce 134
 - renouvellement d'air 133
- Humidité relative de l'air intérieur 9

I

- Infiltration 84
- Inspection 157
- Installation d'air repris
 - commande/régulation 88
 - conditions de pression et débits d'air 82
 - configuration 88
 - dimensionnement des débits d'air 85
 - étude de terrain 95
 - hygiène et maintenance 82
 - paramètres 81
 - types 82
- Installation de ventilation collective
 - emplacement de l'appareil 70

Installation de ventilation individuelle

emplacement de l'appareil 66

perte de charge 69

Installation de ventilation simple (aération douce)

Installations d'air repris

radon 140

Installation simple d'air repris

perte de charge 113

Installation simple d'air repris combinée avec une ventilation par local

local 47

limites 44

Isolation thermique de la distribution de l'air

121

L

Locaux à utilisation courte 40

Locaux secondaires et annexes 22

M

Maintenance 20, 157

Matériaux de construction sensibles à l'humidité 11

Mélange

avec circulation naturelle de l'air,
principe 31

avec transfert d'air actif, principe 27

N

Nettoyage 157

Niveau sonore, pondération A 142

Normes 6

O

Occupation et utilisation 15

Outil KWL 54

P

Pollution de l'air intérieur 7

Pompe à chaleur, coefficient de performance 129

Premier contrôle d'hygiène 156

Pression acoustique 142

Production de vapeur d'eau 9

Projet, élaboration 54

Propagation du son à l'intérieur 146

Protection anti-givrage

RC 118

Protection contre la surchauffe estivale 12
Protection contre le bruit 142 justification 143
Protection contre les bruits aériens entre locaux 150
Protection contre l'humidité 17
Protection incendie 13, 22
Puissance acoustique 142
Puissance spécifique des ventilateurs 112

Q

Qualité de l'air extérieur 21
Qualité de l'air intérieur 6
Qualité de l'air intérieur ressentie 16

R

Radon 8, 140
Rapport de température 114
Réception et exploitation 153
Récupération de chaleur et d'humidité 114
Réflexion de l'embouchure 147
Refroidissement nocturne
Régulation et mesure 59
Remplacement des filtres 112

S

SFP (Specific Fan Power), puissance spécifique des ventilateurs 112
SPI (Specific Power Input), puissance unitaire spécifique 112
Systèmes de ventilation 41

T

Température de givrage 115
Teneur en CO₂ 6
Tolérances et incertitudes de mesure 154
Transfert par porte ouverte 31
Transport de l'air 112
Travaux de maintenance 162
Tubes spiralés 57
Types de conduites et de matériaux 57

V

Ventilation avec chauffage du bâtiment 46
Ventilation des habitations comparaison de systèmes 51
Ventilation individuelle vs collective 48
Ventilation naturelle 41
Ventilation par local bruit 102
combinaison avec des installations simples d'air repris 103
combinaison avec installations d'air repris: précisions 106
conception 97
débits d'air déterminants 98
filtres 101
humidité de l'air intérieur 98
paramètres 97
pratique 108
principe 33
sensibilité du débit d'air 99
types d'appareil 98
Ventilation par mélange, limites 38
Vitesses de l'air 57

Z

Zone de séjour 20
Zones d'installation 22