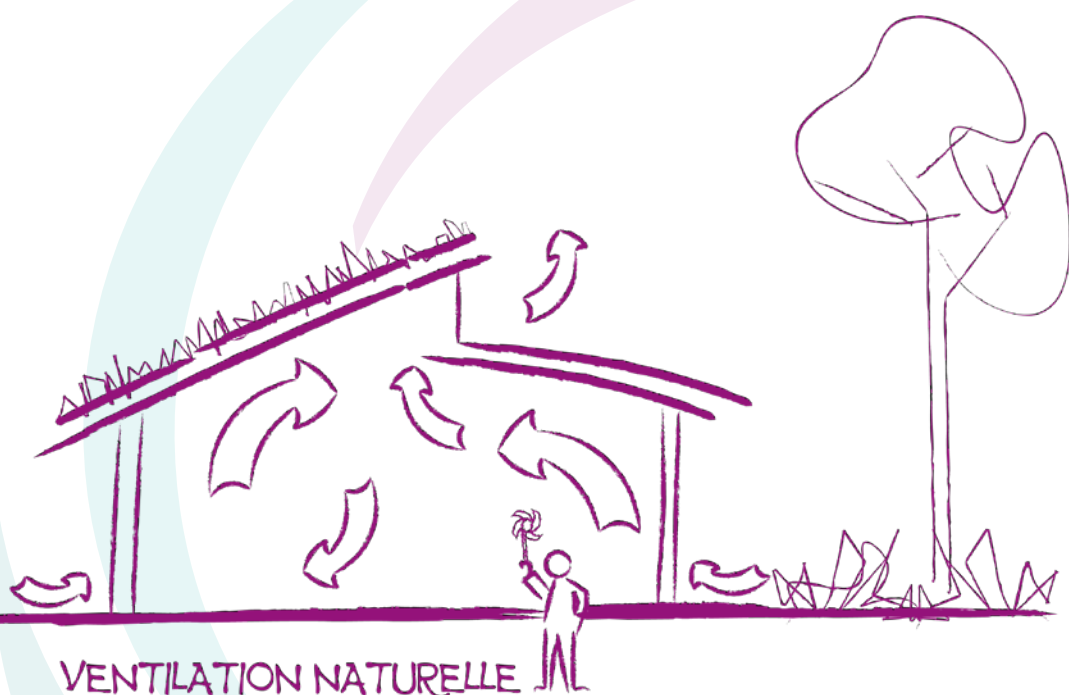


Ventilation naturelle et mécanique



SOMMAIRE

ENJEUX ET CONTEXTE	4
TYPES DE BÂTIMENTS CONCERNÉS	4
DESCRIPTION DE LA THÉMATIQUE	5
OBLIGATIONS RÉGLEMENTAIRES	7
SANTÉ ET QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR	11
SOLUTIONS TECHNIQUES	13
> Solutions techniques qui relèvent de la ventilation naturelle	13
> Solutions techniques qui relèvent de la ventilation mécanique en tertiaire	28
> Ventilation mécanique en résidentiel	31
MODALITÉS DE CONCEPTION, DE MISE EN ŒUVRE, CHANTIER ET EXPLOITATION / MAINTENANCE	35
IMPACT ÉCONOMIQUE DU SYSTÈME DE VENTILATION	37
QUELQUES EXEMPLES CONCRETS DE MISE EN ŒUVRE	41
> Ventilation naturelle par ouverture de fenêtres : pôle Accueil-formation de l'Ineris	41
> Ventilation naturelle par grilles en façade et ouvrants en partie haute : lycée Maryse Bastié	42
> Ventilation naturelle assistée et contrôlée par cheminée et tourelles à vent : lycée Jean-Jaurès	43
> Ventilation naturelle assistée : logements Quartier Delzieux à Saint-Nazaire	44
> Ventilation par atrium : agence de l'eau à Rouen	52
CONCLUSION	57
BIBLIOGRAPHIE	58

Pilotage : Dominique Sellier, ARENE Île-de-France

Rédaction : ICEB sous la coordination de M. Raoust (Terao) avec les contributions de J.F Autissier (Alto), A. Bornarel (Tribu), S. Brindel-Beth (SLH), I. Fouquet, V. Grimaud (Terao), M. Le Sommer.

Coordination éditoriale : Pascale Gorges, Pascale Céron, ARENE Île-de-France

Conception : Trait de Caractère(s) - www.atdc.eu

Crédits photographiques : Alto Ingénierie, Tribu, Terao, Arval, Réhau, Helios Ventilateurs, S. Brindel-Beth, Arval, Atelier Philippe Madec.

Illustrations à main levée : I. Fouquet

Date d'impression : Février 2012, imprimé sur du papier 100 % recyclé éco-label européen.

Imprimeur : Caractère

ISBN EAN : 978-2-911533-00-6



La série « Guides Bio-tech », proposée par l'ARENE Île-de-France en association avec l'ICEB, offre aux acteurs de la filière construction, et en particulier aux maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage, un outil de meilleure conception de leurs bâtiments. Au-delà des seules obligations réglementaires ou incitations normatives, les guides privilégient une approche « bio-climatique » qui suggère une alliance entre des solutions techniques « mesurées » ou à moindre impact environnemental, et des principes de conception en harmonie avec la nature et le site d'implantation.

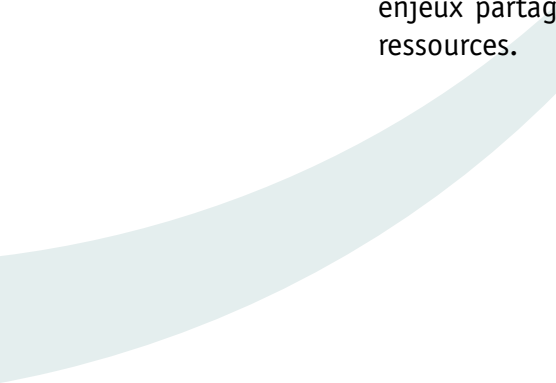
Cinq thèmes, sont abordés dans cette série : ventilation naturelle et mécanique, éclairage naturel, confort d'été, énergie grise des matériaux, lutte contre les îlots de chaleur.

Chaque guide propose un renouvellement complet de la conception environnementale des bâtiments, à travers le rappel des principales obligations réglementaires et des solutions techniques « alternatives » avec des exemples concrets de mise en œuvre.

Une nouvelle ingénierie constructive est en train d'émerger au service du bien-être de l'utilisateur et, en cohérence avec les enjeux partagés de sobriété énergétique et de préservation des ressources.

Dominique Sellier

Directeur du pôle prospective et transition écologique



Enjeux et contexte

La maîtrise de la ventilation naturelle et mécanique répond à des enjeux multiples. En premier lieu elle permet au bâtiment de disposer d'une qualité de l'air intérieur suffisante pour la santé des occupants, en remplaçant l'air vicié par les occupants et les diverses sources de pollutions (cuisines, sanitaires, ateliers, etc.) par de l'air neuf. En second lieu elle participe à la pérennité des bâtiments en évacuant l'humidité qui pourrait être source de détérioration.

En contrepartie de ces services la ventilation a un prix énergétique : en hiver, **la ventilation doit être à un débit minimal compatible avec une bonne qualité de l'air** pour limiter les déperditions liées à ce renouvellement d'air. En saison intermédiaire, la ventilation est toujours utilisée pour le renouvellement de l'air intérieur, mais peut également être utilisée, selon les circonstances, en refroidissement des locaux, lorsque l'air extérieur est plus frais que l'air intérieur. Dans ce cas, il peut être nécessaire que les débits d'air soient plus importants que les débits liés au renouvellement de l'air. Enfin, en saison chaude, la ventilation doit être limitée au débit minimum compatible avec une bonne qualité de l'air lorsque la température extérieure est supérieure à la température intérieure. En revanche, elle peut être utilisée la nuit en « free

cooling », en profitant du fait que la température extérieure de nuit est bien plus basse que la température de jour (11°C d'écart en moyenne en France). En renouvellement d'air hygiénique, les débits sont de l'ordre de 0,5 volume/heure (logement) à 2 ou 3 volumes/heure (scolaire). En ventilation naturelle nocturne, les débits peuvent atteindre 6 à 10 volumes par heure.

Lorsque la ventilation est assurée par des équipements techniques, leurs consommations énergétiques doivent être prises en compte.

La maîtrise de la ventilation s'inscrit donc dans le contexte d'une réduction des consommations d'énergie, d'une amélioration de la qualité de l'air intérieur des bâtiments et d'une amélioration du confort hygrothermique, en été notamment. Elle participe aussi au maintien d'une bonne productivité dans les locaux d'activité. Enfin comme les sons se propagent dans l'air, la ventilation et l'acoustique sont toujours à considérer ensemble.

Toute solution de ventilation doit être adaptée au contexte local, à la fois climatique, urbain, technique et économique. Il est notamment important de savoir si les solutions préconisées feront l'objet d'une maintenance correcte.

Types de bâtiments concernés

La problématique de la ventilation s'applique à tous les bâtiments, qu'il s'agisse de bâtiments de bureaux, d'enseignement, de bâtiments sportifs, de bâtiments de santé, de bâtiments culturels, industriels ou de logements. En revanche, les contraintes ne sont pas les mêmes selon le type de bâtiment. Par exemple les bureaux sont occupés en journée et pas la nuit, tandis que les logements sont plutôt occupés en soirée, la nuit et le matin. Enfin, les volumes et les polluants traités ne sont pas les mêmes, les débits dans les bâtiments tertiaires sont bien supérieurs à ceux des logements. De manière générale, tous

les bâtiments accueillant des personnes, ou ayant des productions thermiques et/ou de polluants spécifiques sont concernés par la problématique de la ventilation.

Le recours aux différents types de ventilation disponibles (mécanique ou naturelle) dépend des situations. Il faut prendre en compte les facteurs extérieurs tels que le climat et les alentours du bâtiment (sources de bruit, de pollution), les contraintes de fonctionnement, les réglementations en vigueur, le type de locaux desservis, les desiderata du maître d'ouvrage et des occupants, etc.

Description de la thématique

Nous désignons la ventilation comme étant l'ensemble des systèmes passifs ou actifs, mécaniques ou non, ayant pour but de renouveler l'air intérieur, ainsi que de participer au confort dans les pièces ventilées par apport d'air neuf frais ou par brassage d'air. Les systèmes de ventilation comprennent les entrées d'air, un éventuel système mécanique qui peut traiter l'air (le filtrer, le réchauffer, le refroidir), les conduits d'amenée d'air vers les zones à traiter, les bouches de soufflage. Viennent ensuite les bouches d'extraction, les conduits de sortie d'air, les extracteurs d'air, statiques ou mécaniques, un éventuel système mécanique de récupération de chaleur et/ou de recyclage de l'air vicié.

Le principe de la ventilation est d'insuffler de l'air neuf/propres dans le bâtiment, puis de faire circuler cet air à travers les zones à ventiler, pour enfin extraire l'air vicié et le rejeter à l'extérieur.

Ce cycle de l'air peut s'effectuer pour chacune des pièces, ou par balayage des pièces principales vers les pièces humides. Dans l'habitation, ce dernier principe est d'ailleurs imposé par la réglementation française. Dans ce dernier cas, il faut donc d'abord faire circuler l'air dans les zones les plus « propres » (zones de vie...) puis ensuite dans les zones soumises à de la pollution (toilettes, cuisine...). Cela permet d'éviter que des odeurs émanant des zones dites à pollution spécifique ne puissent atteindre les autres zones.

Il est ainsi courant d'installer les extractions d'air dans la cuisine et les sanitaires. Les pièces étant alors en légère dépression, cela permet d'éviter une propagation des odeurs.

Le cheminement de l'air doit donc être pris en considération, et conçu attentivement. Il peut être interrompu ou gêné par différents éléments : retombées de poutres, futur ameublement du bâtiment, cloisons, portes. L'utilisation du balayage nécessite d'intégrer des grilles d'aération, en général dans les portes, ou de « détalonner » ces dernières, ou bien d'utiliser des cloisons qui ne sont pas toute hauteur, pour permettre au flux d'air de circuler comme prévu. Il faut aussi prêter une attention particulière à l'endroit où l'air extérieur est capté. Il faut éviter autant que possible les sources de pollution ou les nuisances acoustiques à proximité. La captation de l'air neuf doit aussi se faire à une distance minimale de tout rejet d'air vicié (8 m au moins). Enfin, pour une ventilation efficace, il faut veiller à ce qu'il y ait balayage de tout le volume des pièces, c'est à dire qu'il n'y ait pas de zone où l'air vicié peut stagner.



Obligations réglementaires

Quelques dates ont marqué la réglementation

- > **1937** : Première Réglementation Sanitaire Départementale Type (RSDT) : aération en WC, conduit de ventilation en cuisine
- > **1958** : Arrêté du 14/11/1958 : première réglementation nationale, ventilation par pièces séparées
- > **1969** : Arrêté du 22/10/1969 : ventilation générale et permanente par balayage
- > **1982** : Arrêté du 24/03/1982 : ventilation générale et permanente par balayage, réduction possible des débits
- > **1983** : Arrêté du 28/10/1983 : modulation automatique de l'air neuf.

Domaines d'application de quelques-uns des textes réglementaires

> **Le Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT)** comporte des exigences différentes suivant le type de bâtiment : bâtiments d'habitation (y compris hôtels, foyers...) et bâtiments autres que d'habitation. Pour les bâtiments d'habitation, toutes les exigences concernent les bâtiments existants. Pour les bâtiments autres que d'habitation, seules les exigences d'entretien de la ventilation s'appliquent aux bâtiments existants.

> **L'arrêté du 24 mars 1982** concerne les bâtiments d'habitation construits après 1982.

> **Le Code du Travail (CDT)** et la circulaire du 9 mai 1985 s'appliquent aux bâtiments où du personnel salarié est appelé à séjourner.

> **Le DTU 68.1 et le DTU 68.2** sont applicables aux installations de VMC ou de VMC-gaz pour les bâtiments d'habitation, tant en neuf qu'en rénovation ou réhabilitation. Le DTU 68.2 traite des installations nouvelles de VMC dans le neuf ou en réhabilitation.

> **La circulaire du 3 mars 1975** s'applique aux parcs de stationnement couverts.

> **L'arrêté du 25 avril 1985** s'applique aux bâtiments existants pour la vérification des installations collectives de VMC-gaz.

> **L'arrêté du 2 août 1977** impose la présence d'un dispositif de sécurité collective sur les installations de VMC-gaz.

> **La circulaire du 17 mars 1986** définit un cahier des charges pour les dispositifs de sécurité collective sur les installations collectives de VMC-gaz.

> **L'arrêté du 24 mai 2006** traite des caractéristiques thermiques de tous les bâtiments neufs (RT 2005).

> **L'arrêté du 30 juin 1999** et la circulaire du 28 janvier 2000 traitent de l'isolement acoustique des immeubles d'habitation neufs.

> **L'arrêté du 31 janvier 1986** traite de la protection contre l'incendie des bâtiments d'habitation neufs et existants.

> **L'arrêté du 15 novembre 2006** traite de l'interdiction de fumer dans les lieux affectés à un usage collectif.

> **L'arrêté du 25 juin 1980** concerne les établissements recevant du public neufs et existants.

Débits de ventilation

Les débits de ventilation imposés dépendent de nombreux aspects et diffèrent suivant la réglementation (habitat, règlement sanitaire départemental, code du travail...).

> Dans l'habitat, les exigences sont les suivantes :

Nombre de pièces principales par logement	Débits extraits exprimés en (m ³ /h)				
	Cuisine	Sdb ou douche commune ou non avec cabinet d'aisance	Autre salle d'eau	Cabinet d'aisance	
				Unique	Multiple
1	20/75	15	15	15	15
2	30/90	15	15	15	15
3	45/105	30	15	15	15
4	45/120	30	15	30	15
5 et plus	45/135	30	15	30	15

> Le Règlement Sanitaire Départemental Type exige quant à lui les débits suivants :

Destination des locaux	Débit d'air neuf en m ³ /h et par occupant
Locaux d'enseignement : classes, salles d'études, laboratoires, (à l'exclusion de ceux à pollution spécifique) maternelle, primaire et secondaire du 1 ^{er} cycle	15
Locaux d'enseignement : classes, salles d'études, laboratoires, (à l'exclusion de ceux à pollution spécifique) secondaire du 2 ^e cycle et universitaire	18
Locaux d'enseignement : classes, salles d'études, laboratoires, (à l'exclusion de ceux à pollution spécifique) ateliers	18
Locaux d'hébergement : chambres collectives (+3 personnes), dortoirs, cellules, salles de sport	18
Bureaux et locaux assimilés : tels que locaux d'accueil, bibliothèques, bureaux de postes, banques	18
Locaux de réunion : tels que salles de réunions, de spectacle, de culte, clubs, foyers	18
Locaux de vente : tels que boutiques, supermarchés	18
Locaux de restauration : cafés, bars, restaurants, cantines, salles à manger	22
Locaux à usage sportif par sportif dans une piscine	22
Locaux à usage sportif par sportif dans les autres locaux	25
Locaux à usage sportif par spectateur	18

> Le code du travail exige de son côté les débits suivants :

Désignation des locaux	Débit d'air neuf en m ³ /h et par occupant
Bureaux, locaux sans travail physique	25
Locaux de restauration, locaux de vente, locaux de réunion	30
Ateliers et locaux avec travail physique léger	45
Autres ateliers et locaux	60

Pour ce qui est de la qualité des filtres, les exigences diffèrent encore entre RSDT et réglementation du travail.

La réglementation en vigueur en France est fortement marquée par la préoccupation d'économie d'énergie et conduit à des débits de renouvellement d'air bien inférieurs à ceux demandés dans d'autres pays comparables.

> Taux de renouvellement d'air (vol/h) en logement :

France		GB		USA		Belgique	
RSDT 78		CIBSE		ASHRAE		NBN D50 001	
T1	T5	T1	T5	T1	T5	T1	T5
0,55	0,45	1	0,5	0,45	0,8	1,4	0,9

> Taux de renouvellement d'air (m³/h.personne) en non résidentiel :

France	GB	USA	Belgique
RSDT 78	CIBSE	ASHRAE	NBN D50 001
25	29	29	32

Par ailleurs, ces exigences sont traditionnellement fondées sur la seule occupation des locaux et les pollutions liées à cette occupation. L'évolution de l'ASHRAE (62.2 P) est significative de la prise en compte renforcée des pollutions liées au bâti. En logement, elle préconise, en effet, un double calcul du taux de renouvellement :

Il est important de faire un choix technico-économique vis-à-vis du compromis entre qualité sanitaire de l'air et consommation d'énergie. Cela sera en particulier le cas sur le type du système de ventilation et sur les débits d'air et la qualité de filtres demandés.

$$n \text{ (m}^3\text{/h)} = 27 \times \text{nombre de personnes} + 0,36 \times \text{surface du logement}$$

Sur cette base, on constate que le taux de renouvellement d'air est plus grand pour les grands logements que pour les petits.

Pour les débits de ventilation dans les bâtiments non résidentiels et non industriels, appliquer la norme NF EN 13779 semble être une bonne solution. Cette norme recommande des débits de ventilation supérieurs aux régle-

mentations françaises. Par exemple pour un air ayant une concentration importante de particules et/ou de polluants gazeux, **les débits préconisés sont les suivants :**

Catégorie	Débit d'air neuf par personne (valeur par défaut)	Débit d'air neuf par personne (plage type)
Qualité d'air intérieur excellente (niveau ambiant de CO ₂ < 400 ppm au dessus du niveau extérieur)	72 m ³ /h	> 54 [m ³ /h.pers]
Qualité d'air intérieur moyenne (niveau ambiant de CO ₂ < 400-600 ppm au dessus du niveau extérieur)	45 m ³ /h	de 36 à 54 [m ³ /h.pers]
Qualité d'air intérieur modérée (niveau ambiant de CO ₂ < 600-1000 ppm au dessus du niveau extérieur)	29 m ³ /h	de 22 à 36 [m ³ /h.pers]
Qualité d'air intérieur basse (niveau ambiant de CO ₂ > 1000 ppm au dessus du niveau extérieur)	18 m ³ /h	< 22 [m ³ /h.pers]

Remarque : cette norme intègre également des exigences plus contraignantes pour les classes de filtres de l'air soufflé.

> Concernant la qualité des filtres, la norme NF EN 13779 impose les classes suivantes :

Qualité de l'air neuf	Qualité de l'air intérieur			
	excellente	moyenne	modérée	basse
Air pur susceptible de n'être poussiéreux que temporairement (pollen)	F9	F8	F7	F5
Air neuf avec une concentration importante de particules et/ou de polluants gazeux	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	F5 + F6
Air neuf avec une concentration très élevée de polluants gazeux et/ou de particules	F5 + GF + F9*	F5 + GF + F9*	F5 + F7	F5 + F6

*La norme EN 779 distingue les filtres grossiers G, classés de G1 à G4 selon la proportion de particules qu'ils retiennent et les filtres fins F, classés de F5 à F9. Plus le chiffre est élevé, meilleure est la filtration.

En attendant une évolution des règles (qui datent de 1978, même si elles ont été modifiées en 1983), l'ICEB préconise les doubles exigences ci-dessous :

Ces deux préconisations ne s'appliquent pas aux bâtiments avec grand volume qui sont à traiter spécifiquement.

non résidentiel classique (bureaux, enseignement) :
au moins 30 m³/h.personne et 1 volume/heure

résidentiel : au moins 30 m³/h.personne et 0,5 volume/heure

Santé et qualité de l'air intérieur

Depuis 1999, l'Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur étudie la pollution intérieure des locaux. Pour les logements, ses rapports montrent la présence de substances spécifiques non observées à l'extérieur (comme certains aldéhydes, hydrocarbures et éthers de glycol) ou bien avec des concentrations nettement plus importantes à l'intérieur. Dans 90 % des logements par exemple, la teneur de formaldéhyde dépasse la valeur guide de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ proposée en 2007 par l'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail (AFSSET). D'autre part, 40 % des logements en France sont contaminés par des moisissures.

La plupart des problèmes sanitaires liés au bâti résulte de la pollution de l'air intérieur ou d'une humidité excessive qui peut être liée à un taux de renouvellement d'air insuffisant. Les effets de la pollution de l'air intérieur dépendent des concentrations de polluants, de la durée d'exposition et de la sensibilité des individus. Les conséquences sont multiples, allant d'une simple odeur piquante à l'irritation des yeux, du nez et de la gorge, des maux de tête, des allergies et le développement de l'asthme, de bronchites, d'emphysèmes pulmonaires, cancers et autres maladies cardiaques, cardiovasculaires et respiratoires... La ventilation peut aussi avoir directement des implications sur la propagation de particules contenant des virus (de la grippe, du rhume).



PÔLE D'ACCUEIL DE L'INERIS - Hall d'accueil ventilé naturellement

Solutions techniques

Les solutions techniques existantes sont multiples. Nous allons les classer en deux catégories, selon que l'on parle de ventilation naturelle, qui repose sur les différentiels de pression liés au vent et/ou au gradient de température, ou de ventilation mécanique, où les différentiels de pression sont obtenus par le biais d'appareils motorisés. Les solutions techniques sont ainsi à choisir en fonction de paramètres spécifiques au projet, que cela soit lié au terrain environnant, à la finalité du bâtiment, au désir de l'architecte ou du maître d'ouvrage.

Solutions techniques qui relèvent de la ventilation naturelle

La ventilation naturelle est contrainte avant tout par les choix architecturaux. En effet, de par les faibles différentiels de pression qui se créent naturellement, il faut que les espaces à ventiler soient conçus intelligemment pour que la ventilation naturelle soit efficace. Il n'est typiquement pas possible de considérer un bâtiment quelconque et de décréter que la ventilation utilisée sera naturelle. Il est ainsi plus important que pour la ventilation mécanique d'intégrer les dispositifs de ventilation à l'architecture et de penser à l'aménagement intérieur, pour ne pas se retrouver contraint à utiliser de la ventilation mécanique faute d'efficacité de la ventilation naturelle.

La ventilation naturelle sera ainsi fortement contrainte par la géométrie des pièces que l'on considère.

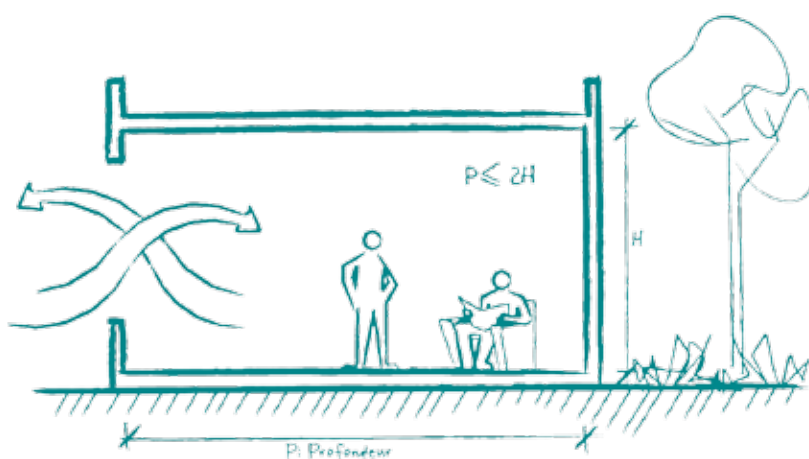
Lorsque la ventilation naturelle est utilisée en saison de chauffage, il est indispensable de prévoir des modules automatiques de régulation des débits pour que ce mode de ventilation n'engendre pas de déperditions excessives. Une solution consiste à associer dans le même bâtiment deux modes de ventilation : une ventilation mécanique automatisée pendant la saison de chauffage et une ventilation naturelle hors saison de chauffage.

Ventilation d'un seul côté : mono exposé

C'est le cas où il n'y a des ouvertures que d'un seul côté, généralement une seule façade de l'espace à ventiler, tandis que l'autre côté est cloisonné et sans ouvrants.

> Ouverture unique en façade

L'efficacité de cette configuration étant faible, **il faut se limiter, en général, à une profondeur de la pièce inférieure ou égale à 2 fois la hauteur sous plafond. On considère qu'une profondeur de 6 mètres est le maximum pour avoir une ventilation efficace dans toute la zone.**



VENTILATION MONO-EXPOSÉE OUVERTURE SIMPLE

Figure 1 : Ventilation mono-exposée ouverture simple – source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.



Figure 2 : Ouvrant de ventilation naturelle avec grille pare-pluie (Doc. Renson).

Cette stratégie présente l'avantage d'un contrôle aisé par l'occupant si elle repose sur l'ouverture de fenêtres. **Elle n'est pas adaptée si la façade donne sur une rue bruyante, ou une source de pollution.** Son efficacité est relativement assurée **si et seulement si la hauteur de l'ouverture est grande**, que ce soit par tirage thermique ou par effet du vent. Il est recommandé que l'ouvrant ait une hauteur d'au moins 1,5 m afin que l'air puisse rentrer par le bas de la fenêtre et sortir par le haut (théorie des grandes ouvertures verticales). Les ouvertures horizontales ne fonctionneront pas bien. En effet, il faut se rappeler que, dans ce cas, le facteur qui crée le débit est la différence de hauteur entre le point bas d'entrée de l'air et le point haut de sortie. Logiquement, une ouverture horizontale offre très peu de potentiel et ne fonctionnera qu'avec le vent mais, même là, elle opposera plus de résistance qu'une ouverture verticale.

Pour prédire le débit de renouvellement d'air obtenu par l'ouverture d'une fenêtre, en conditions de tirage thermique (vent nul, pièce plus chaude que l'extérieur), on peut utiliser la formule :

$$Q[\text{m}^3/\text{h}] = 260 \times A \times (0,5H \times \Delta T)^{1/2}$$

A = surface d'ouverture [m^2] et H = hauteur de la fenêtre [m].

On peut également prévoir des ouvertures toute hauteur équipées de grilles pare pluie. Dans ce cas, dans la formule ci-contre, il faut minorer le débit par un coefficient de perte de charge lié à ces grilles.

> Deux ouvertures en façade

Il est également possible d'avoir une ventilation mono-exposée avec deux ouvertures placées à une hauteur différente. Dans ce cas, le tirage thermique est renforcé, car il y a une séparation physique entre l'entrée et la sortie d'air, ce qui facilite la mise en place du débit d'air. Comme précédemment, le tirage thermique dépend de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur, mais aussi de la distance verticale séparant les ouvertures. Grossièrement, **la profondeur de la pièce ne doit pas être supérieure à 2,5 fois la hauteur sous plafond, pour une hauteur entre l'entrée d'air et l'extraction d'environ 1,5.**

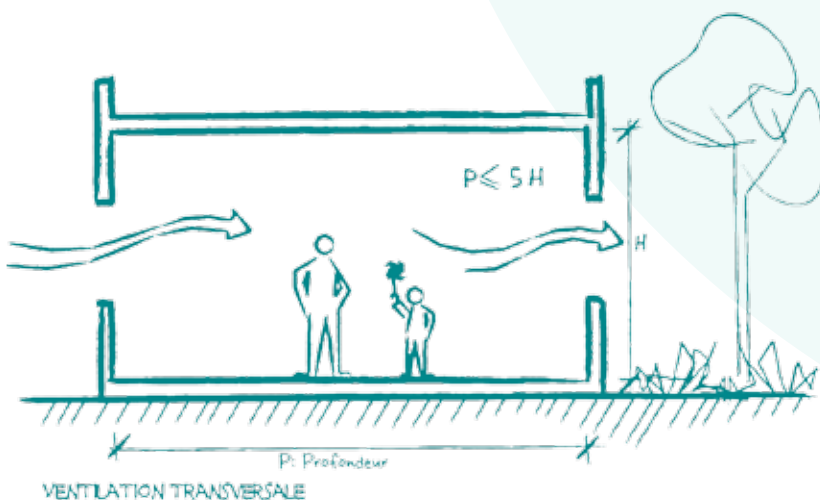


Figure 3 : Ventilation mono-exposée ouverture double – source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

Cette hauteur peut être atteinte en utilisant par exemple des grilles d'entrée et de sortie d'air, placées de part et d'autre de la hauteur de la fenêtre. En augmentant cette hauteur,

on augmente le différentiel de pression entre l'ouverture haute et la basse. Une attention particulière doit être portée au placement de l'entrée d'air pour éviter les courants d'air froid en hiver. Il est possible de placer l'entrée d'air derrière un radiateur, ce qui a l'avantage de réchauffer directement l'air entrant. Cependant, il peut y avoir certains cas pour lesquels cela pose problème :

- > A la mi-saison, les apports internes et solaires peuvent être suffisants pour couper le chauffage. Dans ce cas, il peut toujours y avoir un risque de gêne par courant d'air.
- > Si les effets du vent sont importants et que la façade se trouve en dépression sous le vent, l'entrée d'air peut se transformer en sortie d'air (phénomène d'inversion des débits), dans ce cas, le radiateur chauffe l'extérieur !

On peut imaginer un dispositif permettant une limitation forte du débit, au strict minimum requis pour le renouvellement d'air, par exemple avec l'utilisation d'un cache amovible venant fermer l'ouverture.

Pour prédire le débit de renouvellement d'air obtenu par deux ouvrants, un en partie haute, un en partie basse, séparés par une hauteur H , en conditions de tirage thermique (vent nul, pièce plus chaude que l'extérieur), on peut utiliser la formule :

$$Q[m^3/h] = 520 \times A \times (H \times \Delta T)^{1/2}$$

Avec :

A = surface du plus petit ouvrant [m^2] et H = différence de hauteur entre les deux ouvrants [m].

ΔT = différence de température entre l'air de la pièce et l'air extérieur [$^{\circ}C$].

En présence de grilles, le débit dans la formule ci-dessus doit être minoré par le coefficient de perte de charge de ces grilles.

Ventilation transversale

La ventilation transversale correspond au cas où l'air entre par une façade du bâtiment et ressort par une façade différente, généralement du côté opposé. C'est par exemple le cas pour un appar-

tement traversant. La ventilation naturelle est alors essentiellement due à la force du vent, dans le cas d'ouvertures simples comme des fenêtres. Des systèmes particuliers que nous verrons plus loin permettent de renforcer l'effet du vent par l'utilisation du tirage thermique. Comme l'air circulant se charge en polluants et se réchauffe, **la règle est de se limiter à une profondeur inférieure à 5 fois la hauteur sous plafond (15 m environ)**. Il faut garder cette règle géométrique à l'esprit, pour plusieurs raisons. La première est que le différentiel de pression entre l'entrée et la sortie d'air est certes plus important que pour le cas de la ventilation mono-exposée, mais reste faible, et une profondeur trop grande augmentera la perte de charge et diminuera donc le débit de ventilation. De plus, une trop grande profondeur fera que les occupants du côté de la sortie d'air n'auront pas un air « neuf » mais un air déjà vicié, la qualité de l'air intérieur sera donc mauvaise. Le bâtiment ne doit donc pas être trop profond.

La ventilation transversale concerne des bâtiments assez linéaires, ou bien qui disposent d'une cour intérieure.

L'architecture du bâtiment doit être pensée pour favoriser les différentiels de pression dus au vent entre les façades où la ventilation transversale doit avoir lieu. Le recours à cette ventilation, et à la ventilation naturelle en général, nécessite ainsi une conception et une réflexion très en amont sur l'architecture et l'agencement du bâtiment. Les modalités d'occupation doivent être anticipées par les concepteurs, en prévoyant notamment différents modes de fonctionnement de la ventilation naturelle. La ventilation transversale peut être entravée par la fermeture occasionnelle des entrées ou sorties d'air (dans le cas de fenêtres par exemple) par les occupants, ou bien si des cloisons toute hauteur sont mises en place et coupent le cheminement de l'air initialement prévu. Dans ce cas, il faut intégrer des dispositifs facilitant le passage de l'air, tels que des grilles de transfert.

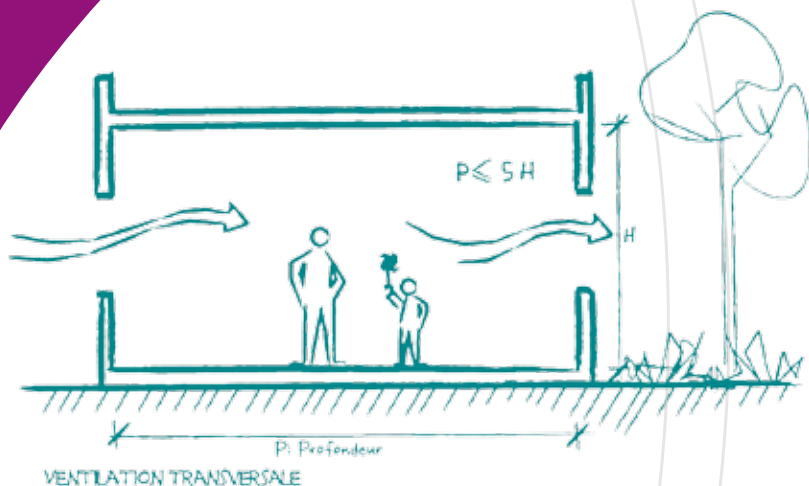


Figure 4 : Ventilation transversale – source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

De même, il faut faire les calculs dans les cas où la ventilation repasse en mode mono-exposé. Le dimensionnement des ouvrants plus particulièrement devra être fait en tenant compte des deux modes, transversal et mono-exposé.

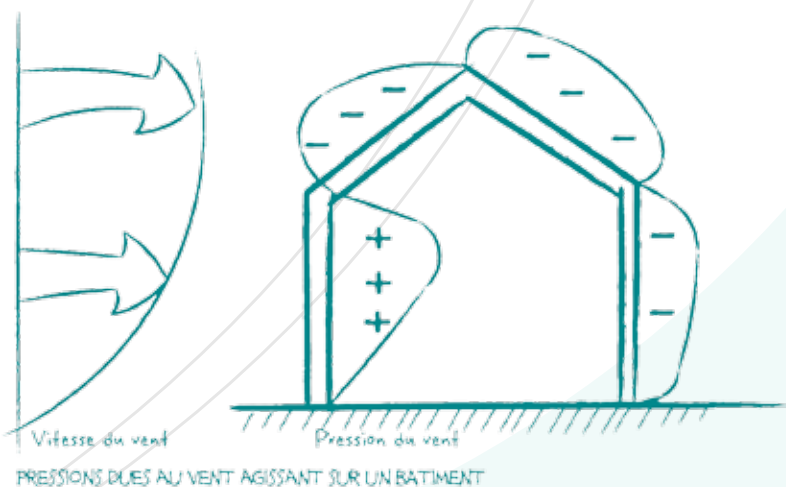


Figure 5 : Exemple de pressions dues au vent agissant sur un bâtiment. Source : "Natural ventilation in non domestic buildings". Guide CIBSE, 2005.

Comme le vent est le moteur de la ventilation transversale, les obstacles en amont comme la végétation et les bâtiments sont à prendre en compte, de même la hauteur des locaux à ventiler est un facteur important car les pressions exercées par le vent augmentent avec l'altitude par rapport au sol.

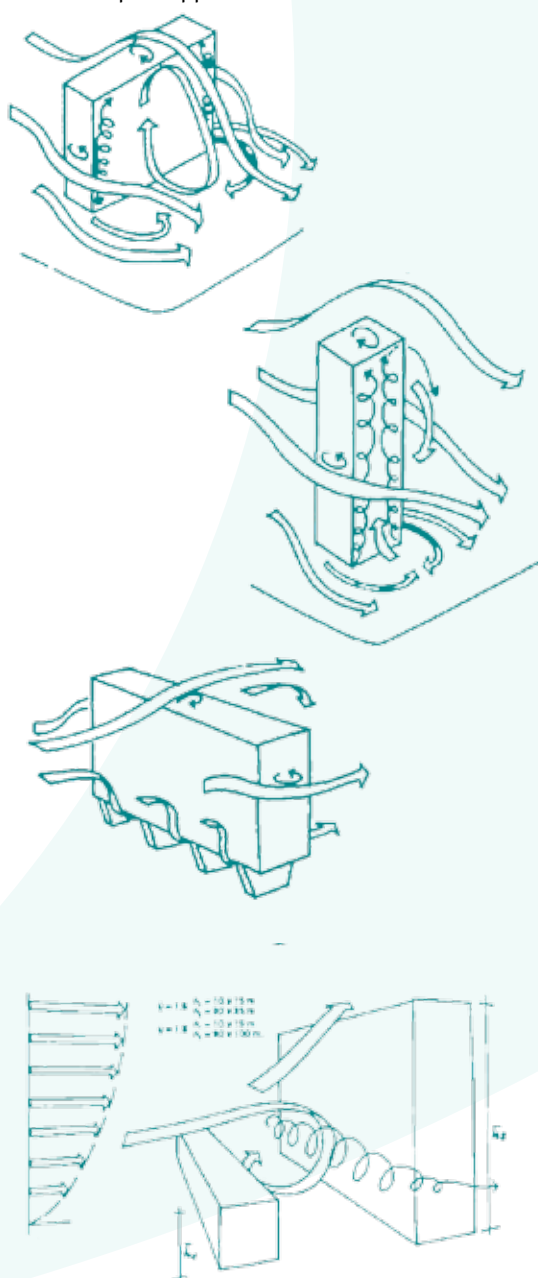


Figure 6 : Exemple d'écoulements du vent autour de bâtiments. Source Guide CSTB « Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti ».

Capteur de vent et variantes

Les fenêtres sont le moyen le plus couramment utilisé pour la ventilation transversale. C'est une manière basique qui a fait ses preuves. D'autres approches plus sophistiquées peuvent être employées avec succès. Les capteurs de vent sont des dispositifs utilisés traditionnellement en Iran. Ils sont également appelés badgir. C'est une sorte de cheminée montée en toit qui capture le vent à grande hauteur, où la vitesse du vent, et donc la pression dynamique du vent, est généralement plus élevée. Le différentiel de pression étant alors plus important, le débit de ventilation s'en trouve augmenté. Il faut tout de même prêter attention au tirage thermique qui peut jouer contre cet effet, et donc l'inverser si la vitesse du vent est faible. Il peut être intéressant d'utiliser des dispositifs permettant de fermer les ouvrants en sortie ou en entrée d'air. Il est également possible d'étudier l'utilisation du dispositif en tirage thermique lorsqu'il n'y a pas de vent. Par contre dans cette situation il faut que les entrées d'air (qui sont les sorties d'air en utilisation en capteur à vent comme il est indiqué sur le schéma suivant) ne donnent pas sur une source de pollution (rue par exemple) ce qui est souvent le cas, puisque le capteur de vent est essentiellement utilisé pour capter de l'air en altitude loin de toute source de pollution.



Figure 7 : Exemples de capteurs de vent.
Source : doc. Natvent.

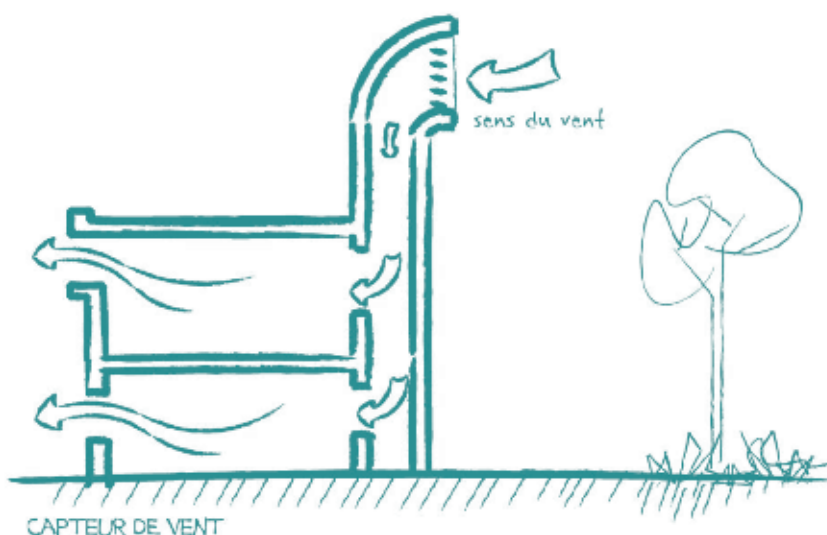


Figure 8 : Capteur de vent.

Le capteur de vent est un dispositif traditionnel. Des versions modernisées existent, qui ne rentrent pas dans le contexte d'une ventilation transversale. Le ventilateur monté en toit est une petite cheminée compartimentée qui capte le vent à 360°. Le compartiment faisant face au vent fait office d'entrée d'air, tandis que le compartiment opposé fait office de sortie d'air. Le côté au vent est en surpression et le côté sous le vent est en dépression, le différentiel ainsi créé va entraîner un mouvement d'air permettant l'établissement de la ventilation naturelle. Notons également l'existence d'un dispositif combinant le ventilateur de toit avec un puits de lumière. Il permet d'éclairer naturellement les zones qui ne disposeraient pas autrement de lumière, et présente les mêmes avantages que le dispositif précédent.

Il est également possible de ventiler par le sol, en captant l'air neuf d'un côté du bâtiment où il n'y a pas de sources de pollutions, puis en acheminant l'air ainsi capté dans des pièces qui donnent sur une façade polluée ou fermée.

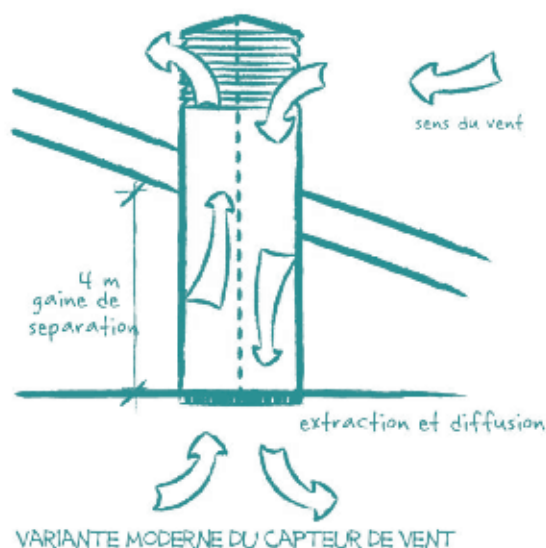


Figure 9 : Variante moderne du capteur de vent – source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

Ce dispositif astucieux doit être étudié avec précaution, les chutes de pression dans les conduits d'approvisionnement sous le plancher devant être limitées au minimum pour garder une bonne efficacité de la ventilation.

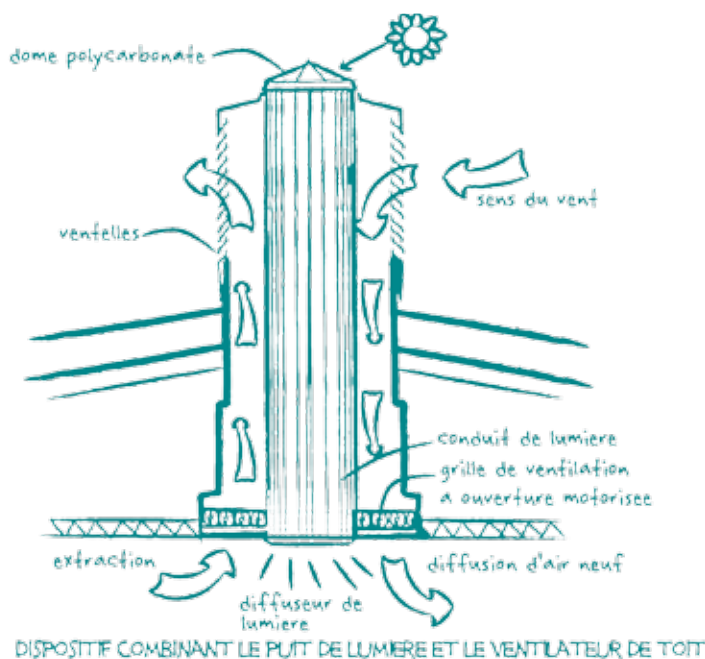


Figure 10 : Dispositif combinant le puits de lumière et le ventilateur de toit.

Source : société Monodraught www.monodraught.com

Ventilation par cheminées

C'est une ventilation qui repose sur l'effet de tirage thermique, et qui peut être assistée par le vent si la sortie est conçue pour être toujours dans des zones de pression négative. La ventilation se fait dans l'espace ciblé, puis est extraite le long de conduits verticaux. C'est un cas de ventilation transversale, donc la règle de **moins de 5 fois la hauteur sous plafond pour la longueur de la zone ventilée** s'applique ici aussi. Il est possible d'avoir de l'air entrant d'un côté puis sortant de l'autre, ou bien d'avoir de l'air rentrant des deux côtés et s'échappant par le milieu (atrium par exemple). Les sorties devront être à une hauteur au moins égale à la moitié d'un étage au dessus du dernier étage ventilé, pour éviter qu'il ne faille faire des ouvertures trop grandes pour obtenir un débit suffisant.

Le point essentiel à respecter est que l'air dans la cheminée soit plus chaud que l'air ambiant. Les cheminées solaires sont une bonne solution à cette problématique.

Le bon fonctionnement de la ventilation par cheminée implique que la température de l'air dans la cheminée soit la plus chaude possible, et cela sur la plus grande hauteur possible. Dans le but de maximiser cette température, on peut utiliser des éléments vitrés pour augmenter les apports. Idéalement, il faut qu'une grande hauteur reçoive des apports solaires, pour augmenter au maximum l'effet de tirage thermique, en faisant attention à l'ombrage potentiel des autres bâtiments ou des arbres sur le vitrage de basse altitude. La conception doit aussi prendre en compte le fonctionnement en hiver, où il faut que les pertes thermiques restent limitées, c'est-à-dire plus faibles que les apports solaires, afin de garder un sens du flux positif. Ainsi, l'emploi d'isolant et de vitrage à faible perte thermique peuvent être requis.

Ainsi, si l'isolation et la maximisation des apports solaires n'est pas faite correctement en hiver, si la paroi de la cheminée est trop froide, il est possible que des courants d'air descendants viennent contrer les courants d'air ascendants.

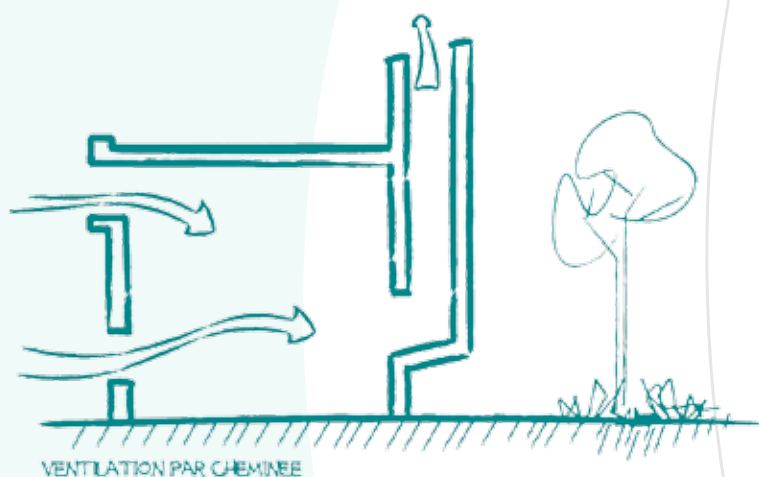


Figure 11 : Ventilation par cheminée. Source : « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

Pour maximiser les apports solaires, il est préférable de placer la cheminée du côté du bâtiment qui est le plus ensoleillé, de cette manière l'entrée d'air sera du côté ombragé, renforçant l'effet de rafraîchissement en été. Dans le cas de jour très chaud, on peut toujours placer des ventilateurs dans les cheminées pour augmenter le tirage en prenant garde à ce qu'ils ne gênent pas le flux lorsqu'ils ne sont pas en fonctionnement.

Le vent, contrairement au cas du capteur de vent et du ventilateur monté en toit, peut jouer un rôle négatif ici, si la sortie d'air est située dans une zone de surpression. Il faut donc concevoir cette sortie pour qu'elle soit de préférence en permanence en zone de dépression. Si ce point n'est pas correctement pris en compte, la cheminée peut alors agir comme un capteur de vent, qui va contrer l'effet de tirage thermique.

Les cheminées n'ayant pas d'autres utilités que la ventilation, la seule contrainte de conception des conduits est la limitation des pertes de charge. Il est possible de concevoir le système de ventilation avec une seule cheminée de grand diamètre, mais également sous la forme de multiples petites cheminées autour du bâtiment. Enfin, il est intéressant, comme pour un cas classique de ventilation transversale, de capter l'air neuf sur une façade du

bâtiment où il n'y a ni bruit ni pollution, pour extraire l'air vicié d'un côté pollué et bruyant, telle une route.

De tels systèmes sont intéressants car ils fonctionnent sans aucune consommation énergétique. Par contre, ils pâtiennent d'une grande faiblesse : ils sont entièrement soumis aux conditions climatiques par essence aléatoires. Pour pallier à cet inconvénient, il peut être intéressant de compléter le tirage thermique par deux familles de dispositifs :

- > des dispositifs permettant d'assister le tirage thermique quand celui-ci est insuffisant, notamment en été. Parmi les dispositifs passifs remplissant cette fonction, on peut citer les cheminées solaires et toutes les façons d'utiliser le vent : aérateurs statiques, venturis...
- > des dispositifs permettant de contrôler et réduire les débits quand ceux-ci sont trop forts, comme ce peut être le cas en hiver. Cette fonction peut être simplement réalisée en entrée par des bouches autoréglables ou hygroréglables adaptées à la ventilation naturelle et en sortie par un registre actionné manuellement ou asservi à une mesure de vitesse d'air.



Figure 12 : Exemple de bouches pour la ventilation naturelle. Source : doc. Renson.

On parle alors de ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAC) et on arrive à des systèmes qui ont les mêmes performances aérauliques et énergétiques que les ventilations mécaniques simple flux auto-réglables.

La ventilation hybride est un système de ventilation naturelle assistée mécaniquement afin de compenser le manque de tirage thermique pour atteindre les débits de ventilation nécessaires. Son mécanisme s'ajuste aux flux naturels et permet de minimiser la consommation d'énergie sans réduire les débits d'extraction. Ainsi le système Navair produit par Astato a obtenu le titre V (agrément pour la RT 2005). Selon Astato, le système Navair permet une économie de 38 % sur la consommation d'une ventilation mécanique.

La modulation est gérée par un automate qui a pour données d'entrée la vitesse du vent via un anémomètre et la température extérieure via une sonde de température. La programmation permet de déterminer le degré d'assistance à mettre en œuvre en fonction des conditions météorologiques afin d'extraire les débits désirés. Lorsque les conditions de tirage naturel sont suffisantes, l'assistance est nulle et le système correspond à une ventilation naturelle classique.

En cas de manque de tirage, l'assistance consiste à injecter de l'air à haute vitesse dans le conduit avec un mouvement ascendant créant, par un phénomène d'induction, une dépression supplémentaire dans le conduit.

Ce système équipe un quartier de 225 logements conçu à Dunkerque par l'agence de Nicolas Michelin, mais n'a pas encore reçu d'avis technique pour les constructions neuves. Il peut en revanche être utilisé en réhabilitation.

Ventilation par atrium

L'atrium permet de remplir de nombreuses fonctions, en amenant de la lumière naturelle notamment. Il joue également un rôle dans la ventilation naturelle, car il agit comme une cheminée solaire géante. De plus, **l'intérêt de l'atrium est que le volume de bâtiment que**

l'on peut ventiler naturellement est doublé par rapport au cas précédent de la cheminée placée sur un côté, puisque l'entrée d'air se fait des deux côtés du bâtiment, tandis que l'extraction se fait au milieu (effet équivalent à mettre une rangée de cheminées au centre du bâtiment).

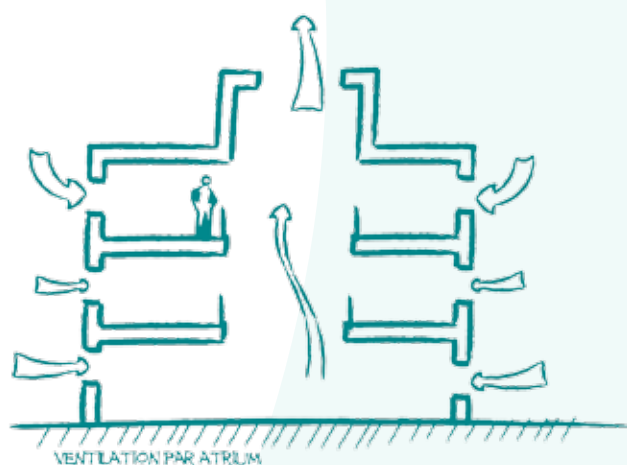


Figure 13 : Ventilation par atrium.

> Exemple de bureaux ventilés à travers un atrium / l'office National de la Statistique à Neuchâtel (Suisse). Architecte : Agence BAUART



Atrium central.



Sorties d'air en partie haute.



Dans les bureaux l'air entre par les impostes.



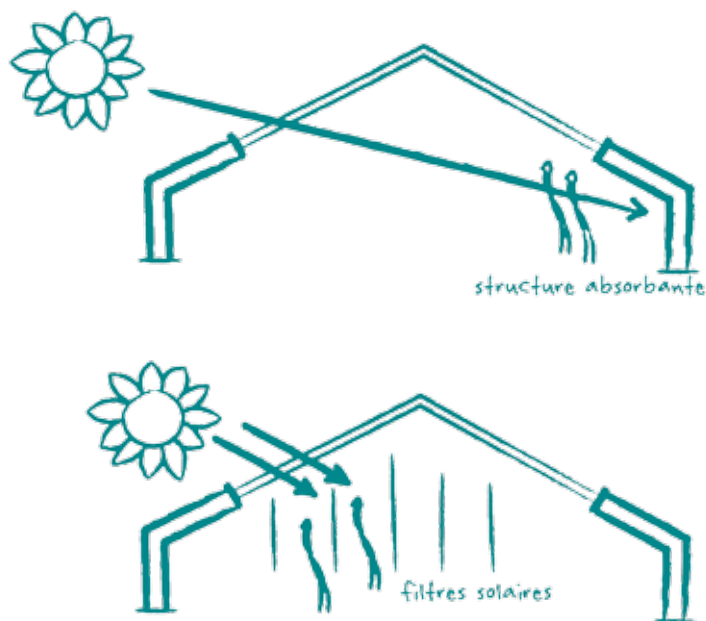
Un volet (en blanc) pilotable par l'occupant du bureau laisse passer l'air de la façade à l'atrium.

L'atrium montré en exemple ci-dessus est adapté aux réglementations suisses. Les règles françaises concernant les atriums sont plus restrictives et imposent des dispositifs coupe-feu qui peuvent interdire de telles solutions.

La stratification de l'air sur la hauteur de l'atrium est et doit être très importante, afin que le tirage thermique soit maximal. Il est très probable que les températures dans les niveaux supérieurs de l'atrium soient inconfortables pour les occupants. Cela est le cas si l'atrium est ouvert sur les étages, ou bien s'il permet la circulation entre des étages. Diverses possibilités permettent de contourner ce problème. Dans certains cas, il faudra envisager de couper les étages supérieurs de l'atrium, et d'envisager un système de ventilation indépendant. Il est également possible d'incorporer des éléments dans la partie supérieure de l'atrium.

Ces éléments auront pour rôle d'absorber les rayonnements solaires en hauteur. Ils vont alors se réchauffer et diffuser la chaleur autour d'eux, donc en altitude. Les éléments absorbants peuvent être constitués :

- > Des éléments de la structure (parois), qui joueront le rôle de masse thermique. Il faut alors intégrer des protections solaires permettant de limiter l'éclairement zénithal.
- > Des cloisons ou volets (baffle solaire, volet) qui agissent en tant que dispositifs d'ombrages, empêchant les apports solaires directs à travers l'atrium vers les espaces occupés. Les cloisons peuvent être arrangées de manière à bloquer le rayonnement solaire direct, et ainsi éviter l'éblouissement, tout en permettant une vue du ciel et un éclairage par diffusion de la lumière. Cette stratégie est doublement efficace, car elle concentre les apports thermiques en hauteur, tout en les limitant en partie basse.



STRUCTURES ABSORBANTES DANS UN ATRIUM

Figure 14 : Structures absorbantes dans un atrium - source « Natural ventilation in non domestic buildings ». Guide CIBSE, 2005.

La hauteur de l'atrium doit être la plus élevée possible, car le débit généré pour la ventilation naturelle est fonction du produit hauteur x gradient de température. Le gradient de température étant variable et difficilement maîtrisable, il faut donc jouer sur le facteur de la hauteur de l'atrium. La prise en compte du vent répond aux mêmes problématiques que pour les cheminées de ventilation. Si les sorties d'air sont mal disposées, une grande surpression limitera les débits voire les inversera. Dans ce cas, il est possible de :

- > Concevoir la sortie d'air de manière à ce que la pression induite par le vent favorise la ventilation pour toute direction de vent.
- > Installer plusieurs sorties d'air contrôlées, actionnées automatiquement, de sorte qu'il y en ait en permanence une qui soit sous le vent. La sortie d'air sous le vent sera ouverte tandis que les autres se fermeront automatiquement.

Il est possible d'adapter une solution de ventilation naturelle assistée mécaniquement dans le cas de l'atrium, comme pour le cas des cheminées. En équipant les sorties d'air de ventilateurs extracteurs, il est possible de forcer la ventilation les jours où le débit naturel n'est pas suffisant, tels que les jours de grande chaleur. Un tel dispositif doit cependant être adapté à la réglementation relative à l'extraction des fumées. Enfin, les règles d'isolation s'appliquent ici tout comme pour les cheminées, notamment solaires. Il ne faut pas que les déperditions thermiques soient plus fortes que les apports solaires en hiver, et il faut pour cela utiliser un vitrage performant thermiquement, et qui laisse passer la lumière.

Ventilation par façade double peau (FDP)

(source : Ventilating facades – Ashrae Journal avril 2009)

Ce choix de conception est judicieux lorsqu'il s'agit de répondre à un certain nombre de contraintes, tels qu'un grand pourcentage de vitrage, pas de dispositifs extérieurs d'ombrage, ou bien lorsque les matériaux de façade nécessitent d'être protégés des éléments.

Le principe permet en théorie d'apporter une bonne luminosité aux locaux sans compromettre les performances thermiques du bâtiment.

D'une manière générale, on considère qu'il n'est jamais bon du point de vue de la thermique d'été d'avoir une grande façade entièrement vitrée ou presque, même en double peau. Le choix d'une grande surface vitrée n'étant pas toujours discutable, l'option façade double peau est alors la meilleure alternative. Toutes choses égales par ailleurs (surface vitrée notamment), la façade double peau est la solution la plus performante.

Une FDP est le plus souvent constituée de deux parois en verre avec des protections solaires entre les deux. La cavité constituée entre les deux unités vitrées est ventilée afin d'extraire les gains solaires et d'éviter qu'ils ne réchauffent l'intérieur du bâtiment. C'est notamment ce phénomène qui rend la façade double peau plus performante qu'une simple façade, fut-elle entièrement en triple vitrage.

> Exemple de façade double peau : le lycée Schumann à Charenton (94), Architecte : Epicuria, mandataire ; A.A.F. Malisan, associé ; S. Brindel-Beth, architecte qualité environnementale.



Au Lycée Robert Schuman à Charenton (94), des doubles peaux permettent d'éclairer les locaux de façon satisfaisante sans être gêné par le bruit des trains (au nord-est) ou de l'autoroute (au sud).

L'intérêt thermique de cette solution est valorisé. En hiver, par -5°C , l'air intérieur de la double peau est à $+16^{\circ}\text{C}$: ces façades ne sont pratiquement pas déperditives.



Tous les 2 étages, une paroi coupe feu recoupe l'espace compris entre les deux parois de verre. Un clapet coupe-feu permet le passage de l'air. Il se ferme automatiquement en cas de détection d'incendie.



La façade sud, qui longe l'autoroute, est protégée du soleil par des protections extérieures fixes en terre cuite.

Il est possible de circuler entre les deux peaux à chaque étage pour l'entretien.

A l'extérieur, les verres sont auto-lavables. En cas de nécessité, verres et protections solaires peuvent être nettoyés au jet d'eau.

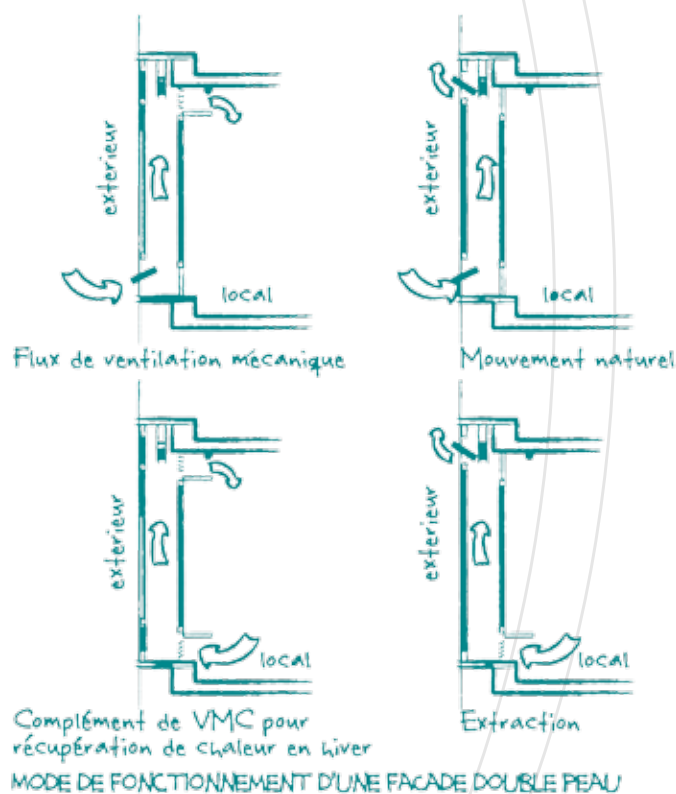


Figure 15 : Différents modes de fonctionnement d'une façade double peau. Source : « Ventilating Facades », Ashrae journal, Avril 2009.

Nous allons détailler les paramètres à prendre en compte, qui ont une influence particulière sur les performances d'une FDP.

Hauteur de la cavité : elle peut être haute d'un seul étage, de plusieurs, voire de toute la hauteur du bâtiment. Une grande hauteur permet d'améliorer l'effet de tirage thermique, en revanche, cela peut conduire à des températures très élevées en haut de la cavité pour un flux ascendant et donc cela appelle aux mêmes précautions qu'en haut d'un atrium comme mentionnées dans le paragraphe précédent.

Profondeur de la cavité : elle est déterminée par des paramètres tels que l'aspect esthétique, le type de protection solaire, l'accès à la cavité pour le nettoyage, ainsi qu'en fonction de la stratégie choisie et des débits voulus.

Largeur de la cavité : des séparations latérales sont bénéfiques pour la ventilation, en stabilisant le flux d'air. Stabiliser le flux d'air permet

d'éviter la création de points chauds, à cause de disparités dans les débits de ventilation. Cela évite également une transmission non désirée des sons dans le cas où les fenêtres d'open spaces adjacents sont ouvertes.

Ventilation de la cavité : les préoccupations liées à la ventilation sont les mêmes que dans les autres configurations. Il faut définir le débit minimum permettant de limiter les surchauffes, tout en ayant la température des parois vitrées intérieures aussi proches que possible de la température intérieure pour le confort des occupants proches des parois. Dans le cas de ventilation mécanique, des débits trop élevés aboutiraient à un surdimensionnement du système. Dans le cas de ventilation naturelle, il faut bien prendre en compte les conditions locales d'humidité, de poussière et de pollution. Il s'agit de pondérer le coût des ventilateurs (investissement et consommations électriques) avec le surcoût d'une plus grande maintenance dans le cas de ventilation naturelle. La FDP peut être utilisée pour extraire l'air chaud vers l'extérieur. Dans le cas d'une ventilation mécanique, il est possible d'utiliser la FDP pour la récupération de chaleur en hiver. Enfin, il faut varier les débits en fonction des heures de la journée, et en fonction de l'exposition de la façade. Une façade exposée doit être plus ventilée.

Sélection du vitrage : ce choix dépend entre autre du mode de ventilation choisi. Si la façade est ventilée avec l'air extérieur, le vitrage intérieur sera du vitrage isolant, tandis que l'extérieur sera simple. En revanche, si la façade est ventilée avec l'air intérieur, la configuration sera inversée.

Les facteurs environnementaux à prendre en compte sont les mêmes que dans les autres types de ventilation. Il faut bien évidemment étudier minutieusement le climat local, les vents dominants, les niveaux d'ensoleillement, le site immédiat aux alentours du bâtiment, etc.

Avantages potentiels d'une façade double peau :

> réduction des équipements de chauffage, ventilation, climatisation ;

- > si les charges sont diminuées suffisamment, et que des dispositifs efficaces de refroidissement et de distribution de l'air sont mis en place, il est possible de réduire la hauteur de chaque étage. Cela peut ainsi permettre de réduire le coût du bâtiment, ou bien pour une même hauteur d'implanter plus d'étages. (exemple de la Pearl River Tower à Guangzhou, où chaque étage a été réduit de 0,3 m, ce qui a permis de rajouter 5 étages au final.) ;
- > économies d'énergie, par baisse des besoins de froid, et d'éclairage artificiel ;
- > confort thermique plus élevé des occupants proches des façades ;
- > isolation sonore augmentée due aux deux panneaux de verre.

Risques associés à la façade double peau :

- > certains problèmes peuvent survenir si la conception de la FDP n'est pas effectuée correctement ;
- > une mauvaise conception peut aboutir à des gains thermiques excessifs, si les débits de ventilation sont trop faibles. Cela peut aussi aboutir à un mauvais confort lumineux, si les protections solaires sont baissées en permanence ;
- > du bruit, des odeurs, de la fumée de feu peuvent être transportés à travers la cavité s'il y a des connections horizontales et verticales entre les segments de la façade ;
- > suivant les climats, il faut faire particulièrement attention à la condensation qui peut se former sur les surfaces de la FDP ;
- > la maintenance est très importante, car la poussière drainée dans la cavité, couplée à l'humidité, peut salir fortement la FDP. Il est donc important de bien réfléchir aux accès pour la maintenance. Ces accès devront eux-mêmes être bien scellés pour éviter les infiltrations.

Les problèmes relevés ci-dessus soulignent bien l'importance d'une bonne détermination des paramètres donnés précédemment. Le choix de la FDP doit donc se faire précau-

tionneusement, de mauvaises études pouvant aboutir à une consommation plus élevée, voire dans le pire des cas à l'inconfort des usagers.

Ventilation par puits canadiens

La ventilation par puits canadien peut fonctionner naturellement ou à l'aide d'un tirage par ventilateur.

Dans tous les cas l'air transite par de longs conduits qui passent dans la terre. Ceci permet de tempérer l'air par échange avec la terre : en hiver, l'air froid est réchauffé et en été l'air chaud est rafraîchi. Le système est basé sur le simple constat que la température de la terre est plus ou moins constante à partir d'une certaine profondeur. A deux mètres environ, elle se maintient autour de 15°C pendant l'été et de 5°C pendant l'hiver.

Cette solution convient aussi bien aux logements qu'aux bâtiments tertiaires. Elle est justifiée :

- > en zone sud, pour rafraîchir les locaux et, en ce cas, il faudrait plutôt la qualifier de puits provençal ;
- > en zone de bruit, lorsqu'il faut assurer le confort d'été sans pouvoir ouvrir les fenêtres ou des orifices spécifiques placés en façade ;
- > lorsqu'on veut éviter une installation double flux.

En hiver, une installation double flux avec un récupérateur très performant (rendement d'au moins 80 %) conduira à de plus faibles déperditions qu'un puits canadien.

Il est recommandé :

- > de limiter le diamètre des tuyaux à 30 cm pour s'assurer d'un bon échange ;
- > d'utiliser des tuyaux d'un seul tenant et d'au moins 30 m de long ;

- > de les poser sur de la terre d'alluvions ou, à défaut, sur des sablons pour avoir une terre qui les enveloppe bien et qui soit conductrice ;
- > de les recouvrir de terre et non d'un bâtiment, de façon à ce que la chaleur solaire vienne bien recharger la terre qui les recouvre ;
- > de prendre l'air, si possible, à au moins 1,30 m du sol (recommandation d'Uniclimate) ;
- > de prévoir un dispositif qui permette à d'éventuels condensats d'être évacués dès leur formation.

Au Lycée Robert Schuman de Charenton, les salles de classes donnent sur une cour fermée qui les protège du bruit de l'autoroute A4 et des voies ferrées. Néanmoins, le niveau de bruit résultant ne permet pas d'assurer les cours fenêtres ouvertes lorsqu'il fait chaud. Un puits canadien de 22 000 m³/h permet d'envoyer dans les classes de l'air rafraîchi : cela a permis d'éviter l'installation d'une production de froid.



Les tuyaux sont posés, d'un seul tenant entre deux chambres enterrées.

En hiver, un échangeur à roue de très bon rendement permet de récupérer la chaleur de l'air extrait et de la transférer à l'air neuf. Ce dispositif permet de ne pas avoir à chauffer l'air entrant dans les locaux. En mi-saison, cet échange est bi-passé dès qu'il n'y a plus besoin de réchauffer l'air entrant.

Lorsqu'il fait plus chaud, l'air neuf passe par le puits canadien qui a été installé sous la terre de la cour : il est rafraîchi par échange avec la terre en passant par 52 tuyaux de 35 m de long disposés selon des lits en quinconce dans

la terre. La terre du terrain a été analysée. D'origine alluvionnaire, elle était particulièrement favorable à l'échange. Elle a été remplacée autour des tuyaux lors de la pose de ceux-ci.



Les tuyaux sont posés sous la cour. Ils sont enfouis dans la terre trouvée sur le terrain, celle-ci étant particulièrement favorable à l'échange.

En hiver, lorsque l'air neuf soufflé dans les locaux ne transite pas par le puits canadien, l'air qui transite par le puits canadien est envoyé dans la façade double peau : dans ce cas, l'échange avec la terre réchauffe l'air et l'espace tampon que forme la double peau monte en température : les déperditions entre cet espace et les circulations deviennent très faibles.

L'air est pris sous des bancs. Il est tiré dans une vaste chambre de répartition, puis à travers les tuyaux. Il aboutit à une nouvelle chambre de répartition et est dirigé vers les centrales d'air. Il est alors filtré et envoyé dans les différentes salles de classes.



Pour améliorer la connaissance du fonctionnement de ce puits et plus généralement des puits canadiens de grande taille, un système de mesures a été installé.

Ces mesures ont permis de confirmer les calculs réalisés lors des études. Par -5°C extérieur, l'air sort des tuyaux à $+4^{\circ}\text{C}$ et est envoyé dans la double peau qui se maintenait à 16°C .



Les puits canadiens individuels destinés aux logements peuvent maintenant être réalisés à l'aide de systèmes en kit.

Dans ces derniers, l'entrée d'air du puits canadien possède un système de filtration et est conçue pour éviter d'aspirer de la poussière, des sources de pollution (route, compost...), pour éviter que des animaux (rongeurs, moustiques...) ou les feuilles mortes n'y pénètrent.

Les tuyaux sont enterrés à une profondeur de l'ordre de 1,5 m à 2 m en moyenne : cela dépend du « pouvoir calorifique » du terrain,



Puits canadien en kit pour maison individuelle

du niveau hors-gel dans le terrain, du diamètre des tuyaux choisis (15 à 20 cm) et de la longueur mise en œuvre de 25 à 50 m.

Les tuyaux sont posés avec une pente de 2 % dans le sens de l'aspiration (vers la maison) pour l'évacuation des condensats. Le PE-HD (polyéthylène haute densité) est le matériau le plus utilisé. Certains sont traités pour limiter le développement d'éventuelles bactéries dans les tuyaux. Moins onéreux, le PVC utilisé pour l'assainissement convient mais il peut dégager des vapeurs nocives lorsqu'il est soumis à des températures élevées ($> 30^{\circ}\text{C}$). Les tuyaux d'un seul tenant sont recommandés. A défaut, les systèmes de raccords entre tuyaux avec des joints caoutchouc à lèvres sont recommandés plutôt que le collage (risque de rupture lors du remblai, dégagement de vapeurs nocives due aux colles).

Le puits canadien peut fonctionner naturellement. En logement, il est souvent équipé d'un ventilateur extracteur de faible puissance qui accélère la circulation de l'air dans l'échangeur géothermique et le ventile ensuite dans les pièces de la maison. L'air intérieur pollué est extrait par les bouches d'extraction individuelles ou par celles de la ventilation mécanique contrôlée (VMC). Le raccordement à une VMC simple ou double flux est plus efficace. Avec une VMC double flux, l'économie de chauffage est un peu plus élevée.



Ventilateur puits canadien

Solutions techniques qui relèvent de la ventilation mécanique en tertiaire

Nous allons passer en revue les configurations les plus courantes pour les immeubles de bureaux, et plus généralement pour les bâtiments tertiaires. **Il faut savoir qu'il existe un grand nombre de types de ventilation mécanique, qui peuvent assurer le prétraitement de l'air (filtration, préchauffage, refroidissement, déshumidification, humidification, etc.) mais par souci de simplification nous allons nous en tenir aux configurations les plus souvent rencontrées.**

Les zones de bureaux sont très souvent articulées autour de circulations, qui permettent l'accès aux bureaux ainsi qu'aux sanitaires. De fait, on rencontre très souvent une orientation commune à la ventilation découlant de cet agencement. L'air neuf est introduit au niveau des bureaux, dans les zones occupées par les travailleurs, là où le besoin d'air propre est le plus important. L'air est extrait au niveau des zones « sales », qui correspondent aux sanitaires. La circulation d'air se fait au moyen de grilles à travers les cloisons. L'air pur est ainsi distribué aux locaux, tandis que l'air vicié est extrait au niveau des sanitaires.

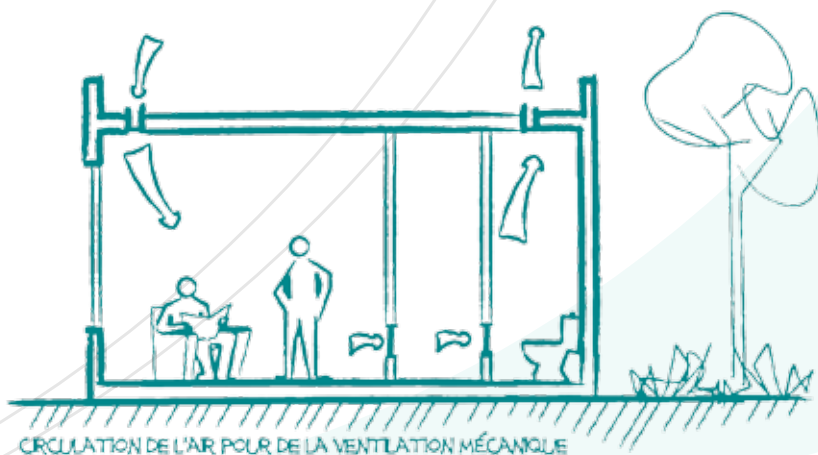


Figure 16 : Circulation de l'air pour de la ventilation mécanique dans les bureaux.

Notons que le principe est le même que pour la ventilation naturelle, c'est-à-dire qu'il faut faire circuler l'air neuf de la zone la plus propre vers la zone la plus polluée.

Ventilation simple flux avec extraction sanitaire

La ventilation simple flux avec extraction sanitaire est utilisable lorsque les conditions environnementales extérieures sont bonnes.

En effet, il ne faut pas de sources de pollution ni de bruit. Typiquement, un axe routier très encombré sera éliminatoire dans ce cas. Si la pollution est limitée mais que le bruit peut être gênant, il faut étudier la possibilité d'installer des grilles à atténuation de bruit.

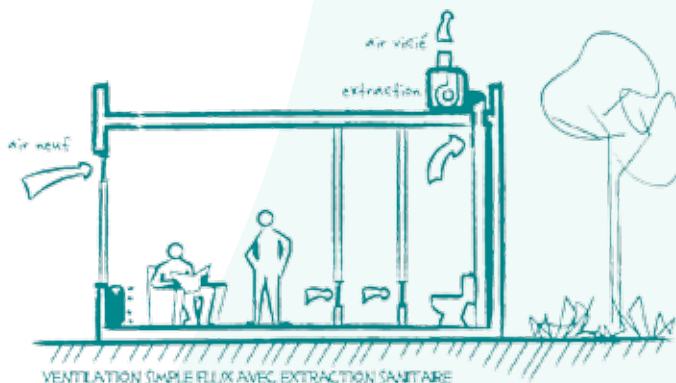


Figure 17 : Ventilation simple flux avec extraction sanitaire dans un immeuble tertiaire.

L'air neuf sera alors introduit en façade dans les bureaux, au moyen de grilles autoréglables, dans les menuiseries ou la maçonnerie. L'air vicié est extrait dans les sanitaires, au moyen d'un ventilateur d'extraction. Mettre les sanitaires en légère dépression permet d'éviter que les mauvaises odeurs s'échappent dans les circulations voire dans les bureaux.



Figure 18 : Grille verticale intégrée dans la menuiserie.
Source : energieplus-lesite.be



Figure 19 : Grille intégrée entre le vitrage et la menuiserie. Source : energieplus-lesite.be

Les transferts d'air se font soit par l'intermédiaire de grilles, soit en détalonnant les portes, ou bien en utilisant des cloisons qui ne soient pas toute hauteur. Attention dans ce cas à l'isolation acoustique entre locaux.

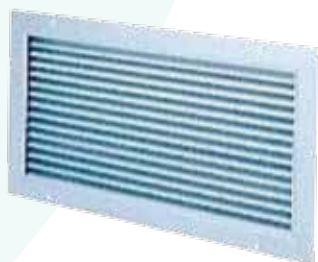


Figure 20 : Grille de transfert d'air. Source : energieplus-lesite.be

Bien souvent, les circuits d'extraction, composés des conduits et des ventilateurs, desservent plusieurs étages. Ainsi, la partie verticale du réseau emprunte les gaines techniques verticales, et permet l'évacuation de l'ensemble de l'air vicié de plusieurs étages, tandis qu'à chaque niveau, un réseau horizontal dessert plusieurs sanitaires, ce réseau horizontal étant lui-même relié au réseau vertical. Les conduits horizontaux passent eux généralement dans les faux plafonds. Mais étant donné l'absence de conduit de distribution vers chaque bureau, la place accordée aux faux plafonds dans les bureaux est très faible.

L'influence du vent peut être non négligeable en grande hauteur, c'est pourquoi il est préférable de réserver ce type de solution à des immeubles de moyenne hauteur.

Ventilation double flux avec extraction sanitaire

Le système de ventilation double flux avec extraction sanitaire offre la plus grande maîtrise des débits, et permet de s'assurer de l'approvisionnement en air neuf et de l'évacuation de l'air vicié dans les sanitaires. Dans le cas de ce système, la pulsion et l'extraction se font mécaniquement.

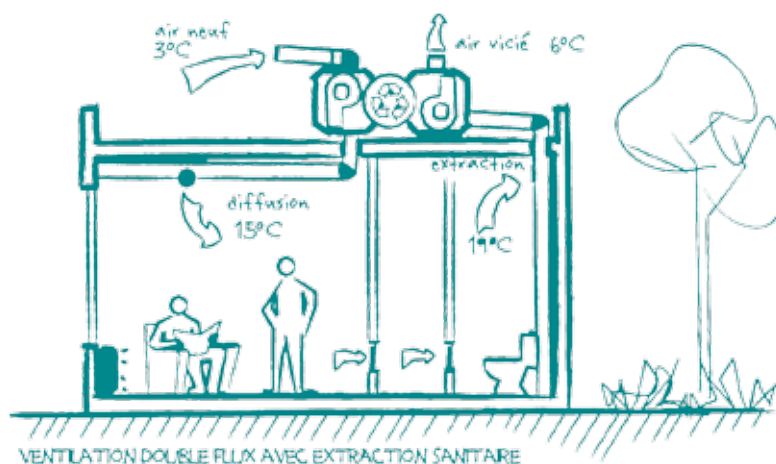


Figure 21 : Ventilation double flux avec extraction sanitaire.

C'est un système très couramment utilisé en milieu urbain pour les bureaux, car il est peu dépendant des conditions extérieures, telles que la pollution et le bruit. Contrairement au cas précédent, la distribution de l'air neuf se fait ici par le biais de conduits qui sont placés dans les faux plafonds des zones de circulation. L'air neuf est diffusé dans chaque bureau par le biais de une ou plusieurs bouches, qui peuvent être murales dans la retombée des faux plafonds de la circulation ou bien en plafond si il y a un faux plafond dans le local ventilé.

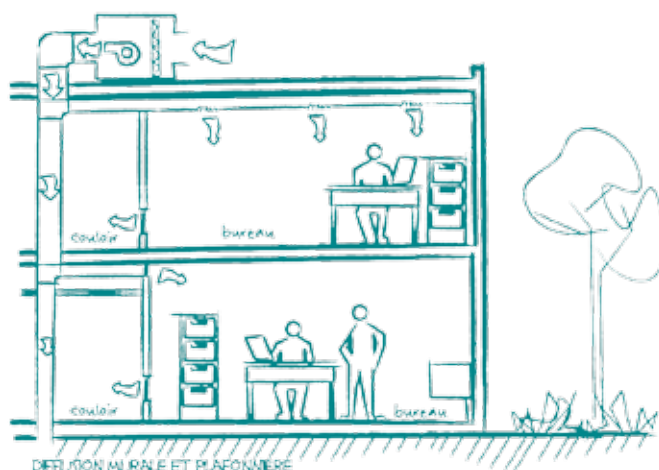


Figure 22 : Diffusion murale et plafonnrière

Le reste est identique au simple flux, l'extraction et le transfert se feront de la même manière. Le choix du double flux dépend de nombreux paramètres, par exemple si l'on souhaite avoir une garantie sur la répartition correcte des flux d'air, être indépendant des conditions extérieures (bruit et sources locales de pollution), ou prétraiter l'air neuf. Enfin, dans le cadre d'économies d'énergie, le choix d'une ventilation double flux permet d'adjoindre un récupérateur de chaleur, qui va récupérer la chaleur de l'air extrait vicié pour réchauffer l'air neuf (voir figure 21).

Parmi les avantages de ce système, la filtration de l'air neuf n'est pas le moindre aussi bien d'un point de vue acoustique que pour la qualité de l'air intérieur. Néanmoins **il faut garder à l'esprit que l'entretien et le changement des filtres entre 2 et 3 fois par an est une condition indispensable à cette qualité d'air**. Faute de quoi une ventilation double flux avec des filtres encrassés peut très bien faire l'inverse de ce que l'on attendait d'elle.

VMC thermodynamique

La VMC simple ou double flux thermodynamique consiste à récupérer l'énergie présente dans l'air extrait par un système de pompe à chaleur. Ce système permet d'atteindre de très faibles niveaux de consommation énergétique due au renouvellement d'air avec des rende-

ments supérieurs aux systèmes d'échangeur double flux classiques. L'énergie récupérée par la PAC peut être réinjectée dans le système de chauffage ou d'eau chaude sanitaire.

Les VMC simple flux thermodynamiques sont avantageuses pour les rénovations performantes lorsqu'il n'y a pas de possibilité d'installer de système double flux. Leur entretien est aussi plus simple que ce dernier (pas de filtre à changer, ni de gaine à nettoyer).

Équilibrage de l'amenée d'air neuf et de l'évacuation de l'air vicié

Dans les bâtiments de type tertiaire (immeubles de bureaux, écoles, etc.), de nombreux locaux sont dits à pollution non spécifique, en opposition aux sanitaires, cuisines, etc. Leur nombre est généralement bien supérieur au nombre de sanitaires. Dans ce cas, le débit d'air neuf à introduire dans le bâtiment sera plus important que le débit d'air réglementaire pour l'extraction des sanitaires. **Il faut dans la mesure du possible équilibrer les débits, tout en gardant à l'esprit que laisser un léger surplus d'air en insufflation permet d'éviter des entrées d'air parasites.**

Malgré tout, il ne faut pas surdimensionner de manière excessive les extractions sanitaires, sous peine de créer des courants d'air inconfortables dans ces derniers. Il est possible de recourir à quelques astuces pour pallier à ces inconvénients. On peut ainsi disposer des évacuations d'air complémentaires dans les circulations ou dans des locaux annexes, tels que des locaux pour le ménage.

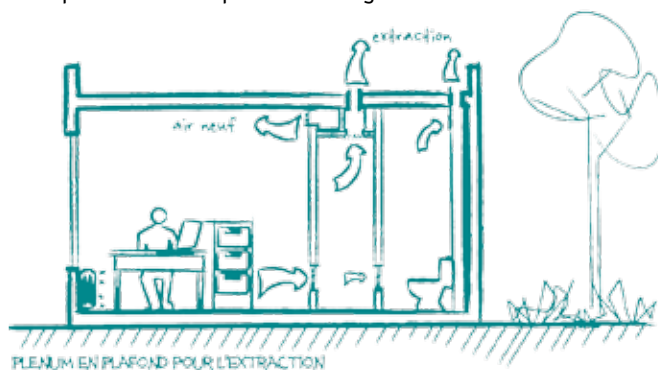


Figure 23 : Plénum en plafond pour l'extraction.

Il est également possible d'équiper avec des systèmes spécifiques certains locaux qui ont des occupations fortes avec des sources de pollution spécifiques, tels qu'une salle de réunion. Dans ce cas, la pollution est évacuée directement à la source, ce qui permet de réduire les débits d'extraction des sanitaires.



Figure 24 : Système spécifique de ventilation pour des locaux particuliers.

Ces locaux peuvent être évidemment desservis par un système simple flux ou double flux en fonction des besoins et des contraintes spécifiques.

Dans le cas de la rénovation

Il n'est pas toujours possible, dans le cas de la rénovation, d'équilibrer amenées et évacuations d'air. Pour faciliter la mise en œuvre dans ce cas, on peut miser sur l'inétanchéité partielle du bâtiment pour équilibrer les débits. Ainsi, avec une pulsion dans chaque local, et une extraction dans chaque sanitaire, le bâtiment en légère surpression évacuera l'air en excès par exfiltration. Cette façon de faire n'est pas non plus idéale, car elle ne donne pas un très grand contrôle sur la circulation de l'air, et les infiltrations sont difficilement prévisibles et ne peuvent être contrôlées. Le critère suivant permet de fixer sommairement le rapport entre débit de pulsion et d'extraction :

$$(\text{débit de pulsion} - \text{débit d'extraction}) < (0,5 \times \text{volume du bâtiment}/h)$$

0,5 vol/h correspond au taux d'infiltration pour un bâtiment avec une mauvaise étanchéité.

L'excès d'air pulsé peut ainsi être évacué par les défauts d'étanchéité. Dans le cas d'un bâtiment plus étanche, on peut très bien changer le paramètre, si l'on dispose d'un ordre de grandeur des infiltrations.

Ventilation mécanique en résidentiel

Les mêmes techniques de ventilation mécanique peuvent être mises en œuvre en résidentiel. On retrouve les 2 familles de ventilation mécanique contrôlée :

> **la VMC simple flux.** L'air entre dans les pièces principales (chambres, séjour) par des bouches autoréglables (qui s'ouvrent plus ou moins sous l'effet du vent pour contrer celui-ci) en façade et est extrait mécaniquement (ventilateur en extraction) par des bouches d'extraction dans les pièces humides (cuisine, salle de bains, WC). Puis il est conduit vers l'extérieur par un réseau de gaines. La ventilation simple flux hygro-réglable est une variante de plus en plus retenue dans les logements. L'air suit le même circuit mais les bouches d'extraction, et dans certains systèmes les bouches d'entrée d'air, sont équipées d'un dispositif « hygro-réglable » qui asservit les débits à la vapeur d'eau contenue dans l'air : plus l'air est humide, plus le débit est fort. L'humidité de l'air intérieur est alors considérée comme un bon indicateur de la pollution de l'air du logement (présence des occupants, cuisine, salle de bains...) ;

> **la VMC double flux avec récupérateur de chaleur.** L'extraction s'effectue par le même dispositif qu'en VMC simple flux. Par contre l'air entrant est soufflé dans les pièces principales à travers un deuxième réseau de gaines activé par un deuxième ventilateur, en soufflage. Entre les deux flux d'air entrant et sortant, un échangeur de chaleur permet de transférer sur l'air entrant la chaleur accumulée dans l'air extrait.

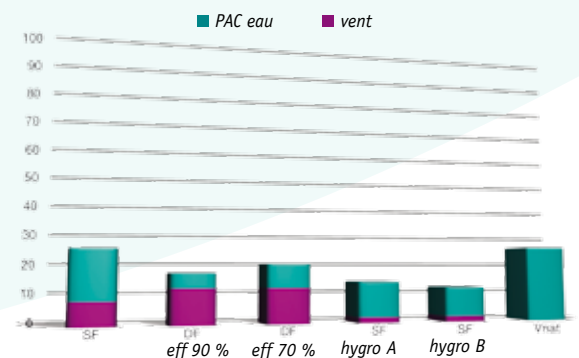
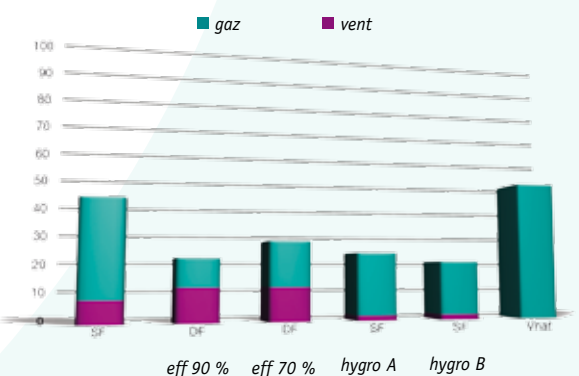
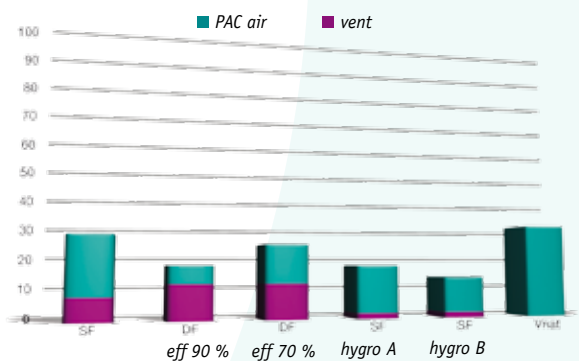
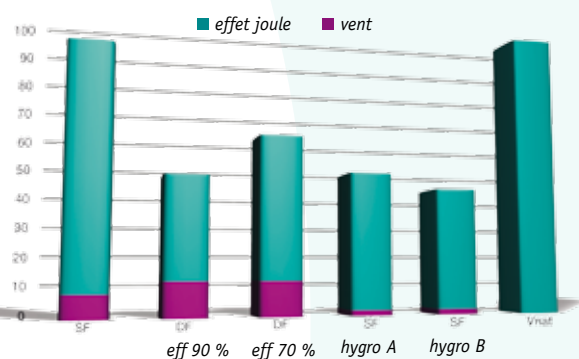
Du point de vue énergétique,

> la VMC simple flux « perd » la chaleur de l'air extrait et oblige à chauffer l'air neuf entrant. Cette perte est moins importante en VMC hygro-réglable car, du fait de la forte réduction des débits liés à l'asservissement à l'humidité de l'air, la quantité de chaleur à fournir à l'air entrant, ou perdue sur l'air sortant, est beaucoup plus faible.

> La VMC double flux assure, par la récupération sur l'air « perdu », le chauffage de l'air neuf entrant. La grande efficacité des échangeurs actuels fait que plus de 80 % de la chaleur perdue est récupérée. Par contre, la VMC double flux consomme plus de deux fois plus d'énergie électrique pour les ventilateurs (deux ventilateurs au lieu d'un et le ventilateur de soufflage doit être plus puissant pour compenser les pertes de charge liées à la filtration de l'air neuf). Le double flux est donc très intéressant dans le nord et le centre de la France où, du fait d'une saison de chauffe plus longue et plus rigoureuse, il y a beaucoup de chaleur à récupérer, beaucoup plus que ce que consomme le ventilateur supplémentaire. Dans le midi, les consommations des ventilateurs, qui sont les mêmes à Nice qu'à Lille (ils fonctionnent toute l'année) deviennent prohibitives par rapport au peu d'énergie récupérée.

Bien évidemment il convient de comparer les solutions de ventilation en réalisant un bilan global (chauffage + consommations des ventilateurs) en énergie primaire et en impacts environnementaux.

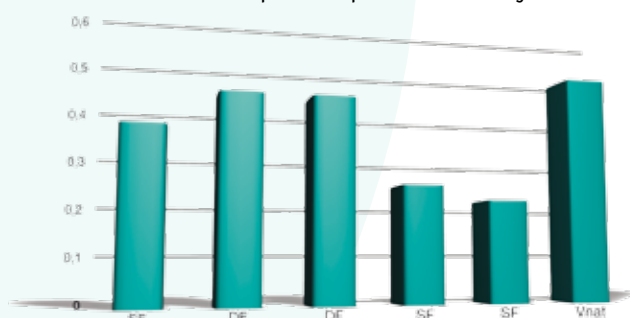
Ainsi au niveau des consommations énergétiques l'impact de la ventilation dépend essentiellement de l'appareil de chauffage (chaudière gaz, PAC Air, Effet joule...) comme le montrent les graphiques ci-contre correspondant à des simulations réalisées pour la région parisienne, qui indiquent en violet la consommation en énergie primaire de chauffage pour compenser les déperditions par le système de ventilation et les infiltrations correspondantes ($I_4=1,2 \text{ m}^3/\text{h}/\text{m}^2$) (unité kWhEP/ m^2SHON , météo région parisienne).



SF : Simple flux / DF : Double flux

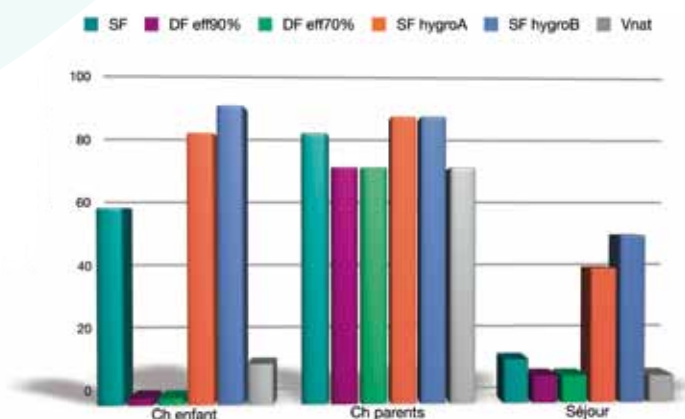
Du point de vue de la qualité de l'air, les VMC double flux et simple flux autoréglables sont assujetties aux arrêtés du 24 mars 82 et du 28 octobre 83 qui déterminent des taux de renouvellement d'air hygiéniques dans les logements compris entre 0,40 et 0,50 volumes/heure. La ventilation hygroréglable bénéficie d'un mode de calcul énergétiquement très avantageux, qui permet de réduire ces débits autour de 0,25 à 0,30 volume/heure pour l'hygro A et 0,2 à 0,25 pour l'hygro B du fait de la faible ventilation en période d'inoccupation.

Le graphique ci-dessous montre le renouvellement d'air par le système de ventilation et les infiltrations respectives pour différents systèmes.



Renouvellement d'air et infiltration, en vol/h, pour différents systèmes de ventilation. Etude Alto Ingénierie réalisée pour des logements

D'autre part avec les systèmes de ventilation par extraction (simple flux, hygro, naturelle), les flux d'air à l'intérieur des logements sont plus sensibles au vent et aux comportements des occupants, notamment en ce qui concerne l'ouverture des portes intérieures. Ces effets parasites s'ajoutent aux



Concentration CO_2 : Fréquences de dépassement de 1300_PPM (seuil de confinement toléré)

débits plus faibles de ces systèmes et il en résulte une forte différence au niveau de la qualité de l'air.

Un constat général, aucun système conçu selon les règles actuelles ne permet d'assurer la qualité de l'air dans la chambre parentale car ils sont dimensionnés pour une chambre occupée par une personne.

Comme il convient, aujourd'hui, de ne pas négliger la qualité de l'air dans la recherche du bon compromis entre qualité de l'air et économie d'énergie, la ventilation hygroréglable, par la réduction des débits qu'elle induit, n'est probablement pas la bonne solution, au moins en zone froide. Dans les conditions climatiques du nord et du centre de la France, seule la ventilation double flux permet de concilier les deux objectifs : maintenir un débit de renouvellement d'air suffisant tout en maîtrisant les consommations d'énergie par la récupération de chaleur.

L'occupant a une forte influence sur la qualité de l'air intérieur de son logement, notamment à cause de l'incidence de l'ouverture des portes intérieures sur les débits et la qualité de l'air. Ce point est par ailleurs confirmé par les récentes études de terrain et l'on peut s'interroger sur l'impact des modifications de revêtements de sol, de pose de tapis et autres actions des occupants pouvant fortement influencer la ventilation de leur logement à leur insu. À ce titre la ventilation double flux est la moins sensible des solutions. Reste à savoir si ce dispositif n'est pas pire lorsque la maintenance des filtres n'est pas régulièrement réalisée (nettoyage des filtres tous les 6 mois au minimum, gestion des filtres à pollens et changement des filtres tous les 2 ans). Sans vouloir faire de procès d'intention, croire que la majorité des bâtiments d'habitation ont un service de maintenance adapté à ces exigences reste assez utopique. Mais la question est de savoir s'il faut continuer à installer des équipements globalement inefficaces pour la ventilation des chambres où nous passons un tiers de notre vie, ou insister sur la nécessité d'assurer la maintenance que requièrent les bâtiments d'aujourd'hui.



Modalités de conception, de mise en œuvre, chantier et exploitation/maintenance

Les études sur l'état des systèmes de ventilation montrent clairement que les équipements ne remplissent par le cahier des charges initial, que ce soit au niveau des débits avec seulement une installation sur deux conforme aux débits exigés, ou au niveau du bruit des équipements. Les causes sont multiples : conception des équipements, installation, maintenance, modification par l'utilisateur...

En phase conception

La relation entre l'architecte et les autres lots avec le Bureau d'Études Techniques Fluides est primordiale, il s'agit de définir le plus tôt possible le système retenu, et de planifier l'innervation du bâtiment qui devrait servir de squelette à la conception, ceci afin de rendre le réseau le plus simple possible, c'est-à-dire avec le moins d'accidents de parcours et le plus court possible. L'impact sur le coût d'investissement et les consommations des ventilateurs étant nettement proportionnel à sa complexité et à la longueur du tracé, cela permet de faire des économies.

En phase chantier

Le respect des règles d'hygiène est indispensable : bouchonnage des gaines, nettoyage des réseaux avant la mise en route. De même le respect des installations de ventilation par les autres lots est primordial, notamment au niveau des gaines flexibles qui sont souvent déplacées, pliées, percées par des entreprises intervenant après le lot CVC (chauffage, ventilation, climatisation). Les locaux techniques dans lesquels sont disposées les centrales de traitement d'air doivent avoir la place suffisante pour que les opérations de maintenance puissent être exécutées facilement, notamment le changement des filtres. Les gaines de ventilation doivent être partout visitables et facilement nettoyables.



En phase exploitation

Le suivi des installations, le nettoyage, la maintenance sont indispensables pour maintenir le service attendu par l'installation de la ventilation. Il est en particulier essentiel de changer les filtres régulièrement car des filtres colmatés non seulement ne remplissent plus leur office mais encore génèrent une surconsommation électrique des ventilateurs.



Impact économique du système de ventilation

L'impact économique du système de ventilation est important, et il faut considérer l'impact sur l'investissement et sur l'exploitation, qui sont deux choses distinctes. Il faut ainsi tenir compte du coût prévu de l'exploitation, des performances espérées, et des coûts d'étude.

Pour l'investissement en termes d'équipement, plus le système sera mécanisé et plus l'investissement sera important. Ainsi, un système de ventilation naturelle ne nécessite pas de ventilateurs, tandis qu'un système simple flux oui, et encore plus pour un double flux. En revanche, les frais d'études pour un système de ventilation naturelle peuvent se révéler importants, car il nécessite des simulations poussées et une étude approfondie pour en garantir un bon fonctionnement.

Les frais de climatisation peuvent être plus faibles avec l'utilisation intelligente de la ventilation naturelle. L'utilisation de la ventilation nocturne en est un bon exemple. Elle permet de refroidir le bâtiment durant l'été, la nuit lorsque les températures extérieures chutent, et sont plus faibles que les températures intérieures. Cela permet d'éviter un usage excessif de la climatisation, si une masse thermique est présente à l'intérieur du bâtiment.

Les frais de chauffage peuvent être réduits dans le cas de l'utilisation de la ventilation mécanique double flux, si un récupérateur de chaleur est présent. Il permet de récupérer, lorsqu'il est performant, jusqu'à 90 % de la chaleur de l'air vicié, économisant du chauffage en conséquence. Le système double flux permet la gestion automatique des débits de ventilation local par local, en agissant au niveau des bouches de pulsion (il est possible d'avoir une régulation automatique si les heures d'occupation sont connues, ou bien un système de sondes de CO₂). Cette maîtrise est

difficile à obtenir dans le cas de la ventilation naturelle ou bien de la ventilation simple flux, car les amenées d'air naturelles sont difficilement contrôlables.

Les frais d'exploitation de la ventilation naturelle sont faibles, car il n'y a que la maintenance à effectuer, et éventuellement la consommation des actionneurs dans le cas d'un système automatisé d'ouverture des fenêtres. En ce qui concerne les frais d'exploitation d'un système mécanique, ils seront également plus importants si le système est à double flux plutôt qu'à simple flux. Pour situer la surconsommation électrique d'un système de ventilation entièrement mécanique par rapport à un système de ventilation entièrement naturel, on peut citer les chiffres de consommation des ventilateurs couramment rencontrés dans la littérature : pour un système de ventilation double flux, la puissance électrique absorbée par les ventilateurs dans leurs conditions nominales de fonctionnement est de l'ordre de :

0,25 W (installation performante) à 0,75 W (installation médiocre) par m³/h d'air transporté dont une partie se retrouvera sous forme de chaleur dans l'air pulsé.

Par exemple, pour assurer un apport d'air neuf de 6 000 m³/h pendant 2 500 h/an, un système de ventilation mécanique consommera en électricité entre 3750 kWh/an et 11250 kWh/an.



Notons également que des installations pilotes de ventilation naturelle avec récupération de chaleur sur l'air extrait ont été réalisées dans le cas du projet de recherche « NatVent » (pour plus de détails : « NatVent, Overcoming barriers to natural », P. Wouters, J. Demeester, CSTC).

Les enjeux économiques liés à la qualité de l'air intérieur résultent essentiellement des dépenses de santé, des soins, mais aussi des problèmes d'absentéisme professionnel ou scolaire, de la concentration et de la réduction des performances (liée à un excès de CO₂ dans un local par exemple).

Les premières études ont été menées aux Etats-Unis par W. Fisk et A. Rosenfeld, du laboratoire Lawrence-Berkeley. Elles montrent que l'amélioration de certains paramètres de ventilation réduirait le nombre d'épisodes infectieux de 9 à 20 %. Ainsi aux Etats-Unis, 16 à 347 millions de cas de gripes et de rhumes pourraient être

évités par an ; une économie annuelle de 6 à 14 milliards de dollars en résulterait.

En France, en seulement 20 ans, le nombre d'asthmatiques a doublé et l'asthme devient un problème majeur de santé publique. Le coût de son traitement dépasse en France ceux de la tuberculose et du sida réunis. Une réduction de 8 à 25 % des cas d'asthme et d'allergie permettrait une économie de 100 à 500 millions d'euros. La diminution des maladies respiratoires a été estimée à 1 à 2 milliards d'euros et réduire de 20 à 50 % les cas de syndrome du bâtiment malsain permettrait une économie de 1,2 à 4,5 milliards d'euros. Au total les économies de santé attendues par la gestion de la qualité de l'air intérieur sont estimées entre 2,3 et 7 milliards d'euros, selon une étude effectuée par l'Arene (fiche technique « Construction durable : les bénéfices économiques »).



*Grilles de ventilation en partie basse des circulations
Lycée Maryse Bastié à Limoges*



Quelques exemples concrets de mise en œuvre

Ventilation naturelle par ouverture de fenêtres : pôle Accueil-formation de l'Ineris

Au pôle accueil-formation de l'INERIS, des volets coulissants munis de ventelles assurant une protection contre la pluie ont été mis en place dans les bureaux pour assurer une ventilation naturelle de rafraîchissement en dehors de la saison de chauffe. Pendant l'hiver les bureaux sont ventilés par une ventilation mécanique double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Pendant la saison chaude, les occupants, avant de quitter leur bureau, ouvrent la fenêtre coulissante et font coulisser le volet devant la fenêtre ouverte.

L'air frais pénètre à travers les ventelles et rafraîchit le bureau jusqu'au lendemain matin. Ce système, dimensionné comme indiqué au paragraphe ventilation naturelle ouverture unique en façade, a permis d'éviter tout recours à la climatisation dans les bureaux. Par contre, la manœuvre des volets coulissants a été parfois jugée difficile par les usagers. Il est important que le système de ventilation naturelle, lorsqu'il n'est pas automatisé, soit très facilement manœuvrable par les usagers et ne se grippe pas avec le temps.



Bureaux du pôle accueil-formation de l'INERIS - Maître d'ouvrage : INERIS - Maître d'œuvre : ARVAL - BE HQE : TERA0

Ventilation naturelle par grilles en façade et ouvrants en partie haute : lycée Maryse Bastié

Au lycée Maryse Bastié à Limoges, les classes du bâtiment d'enseignement général sont exposées au nord. La façade sud est occupée par l'espace de circulation, sur deux niveaux. Ainsi, les apports solaires contribuent à chauffer le bâtiment en hiver sans gêner les occupants. Pour éviter toute surchauffe en été, des dispositifs de ventilation naturelle ont été mis en place dans cet espace de circulation. Ils consistent en des volets coulissants munis de grilles, situés en partie basse et en partie haute. La manœuvre est réalisée manuellement deux fois par an, en début et en fin de saison chaude. Ce système, dimensionné comme indiqué au paragraphe ventilation naturelle – deux ouvertures en façade, donne pleinement satisfaction. Aucune surchauffe n'a été constatée dans la circulation, pourtant entièrement vitrée. La façade sud est partiellement protégée par un auvent et dispose d'un double vitrage à faible facteur solaire (0,42).



Grilles de ventilation en partie basse des circulations – Lycée Maryse Bastié - Maître d'ouvrage : Conseil régional du Limousin - Maître d'œuvre : ATELIER 4 - BE HQE : TERAQ.

Ventilation naturelle assistée et contrôlée par cheminée et tourelles à vent : lycée Jean-Jaurès

Le lycée Jean Jaurès à Saint Clément de Rivière dans l'Hérault (anciennement lycée du Pic Saint Loup) a été livré en 2005 et a fait l'objet de près de 4 années de suivi.

Le système de ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAC) mis en œuvre repose sur les principes suivant :

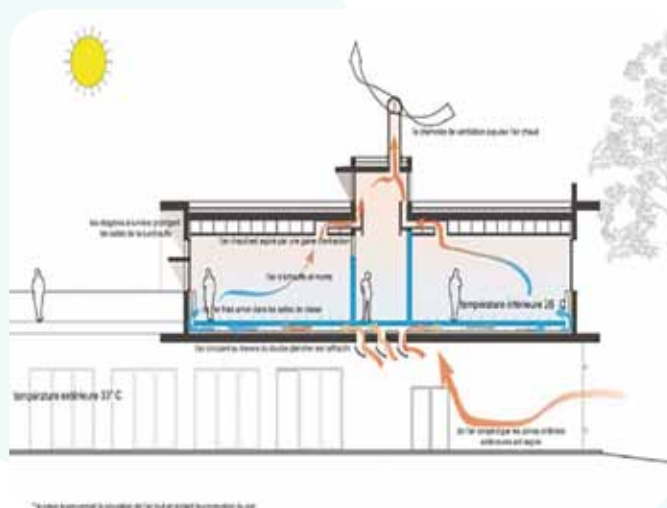
> **l'air neuf pénètre dans un plénum** en sous-face de plancher bas qui assure l'égalisation des pressions entre façades exposées ou non exposées au vent. Puis l'air pénètre dans les classes par des bouches dans le plancher, derrière les radiateurs.

> **il passe de la salle de classe à la circulation** par une bouche de transfert acoustique

> **dans la circulation l'air de plusieurs salles de classe est extrait** par 4 tourelles munies d'un accélérateur à vent et d'un registre de contrôle.

Un automate programmable gère la fermeture des tourelles en fonction de la vitesse d'air dans les conduits.

Les mesures effectuées comme le ressenti des utilisateurs montrent qu'il n'y a pas d'insuffisance de renouvellement d'air, ce qui est logique dans une zone très ventée. Par contre, de grandes difficultés sont apparues dans la régulation, du fait de la programmation et de la fiabilité des automates. C'est, nous semble-t-il le point critique du système, en tous cas celui qui a mis le plus de temps à être réglé.



Cheminées de ventilation naturelle au lycée Jean Jaurès - Architecte : Pierre TOURRE.

Principe de ventilation au lycée Jean Jaurès (document Tribu) - Maître d'ouvrage : Région Languedoc Roussillon - Maître d'œuvre : Pierre TOURRE - BE HQE : TRIBU.

Ventilation naturelle assistée : logements du quartier Delzieux à Saint-Nazaire

Maîtres d'ouvrage : CISN Atlantique et SILENE

Maître d'œuvre : Atelier Philippe Madec

BE HQE : TRIBU

Le système de ventilation naturelle assistée et contrôlée (VNAC) mis en place sur les logements du Square Delzieux à Saint-Nazaire permet d'assurer les débits de ventilation réglementaires de l'arrêté du 24 mars 1982 pendant la quasi-totalité de l'année tout en réduisant de manière conséquente les consommations électriques liées à la ventilation, puisque le système ne comporte pas de ventilateurs. Les seules consommations électriques restantes sont celles des registres motorisés, dont la consommation électrique est estimée à moins de 1,25 kWh/m².an.

La VNAC a été développée sur ces logements, site venté proche de l'océan, dans le but de :

- > **profiter de l'énergie renouvelable éolienne** fortement présente à Saint-Nazaire pour assurer la ventilation des logements et ainsi réduire les consommations électriques liées à la ventilation des logements,
- > **assurer une bonne qualité de l'air** en assurant les débits de ventilation réglementaires tout au long de l'année, débits de base et débits de pointe,
- > **tout en assurant la limitation des débits en hiver** (aux stricts débits minimum réglementaires) grâce à une régulation performante indépendante par logement,
- > **et en permettant des débits plus importants** en été pour assurer un complément de confort thermique.

Le système complet est composé :

- > **d'entrées d'air autoréglables** spécifiques à la ventilation naturelle (fonctionnant sous de faibles différences de pression),

- > **de bouches d'extraction** dans chaque pièce humide,
- > **de conduits d'extraction** dans les pièces humides,
- > **d'un conduit principal d'extraction** par logement sur lequel sont raccordés les conduits d'extraction secondaires des pièces humides,
- > **d'un système de régulation** des débits par logement (1 registre et 1 capteur par conduit gérés par 1 automate de régulation),
- > **d'une tourelle à vent raccordée** à plusieurs conduits principaux d'extraction donc desservant plusieurs logements.

L'air neuf est introduit dans le logement par les entrées d'air situées dans les pièces principales (chambres et séjour) et est extrait dans les pièces humides (cuisine, salle de bain et WC). L'air vicié est rejeté à l'extérieur par des conduits débouchant en toiture associés aux tourelles à vent.

Sur l'ensemble de l'opération (95 logements), 19 tourelles sont installées, chaque tourelle étant raccordée à environ 5 logements.

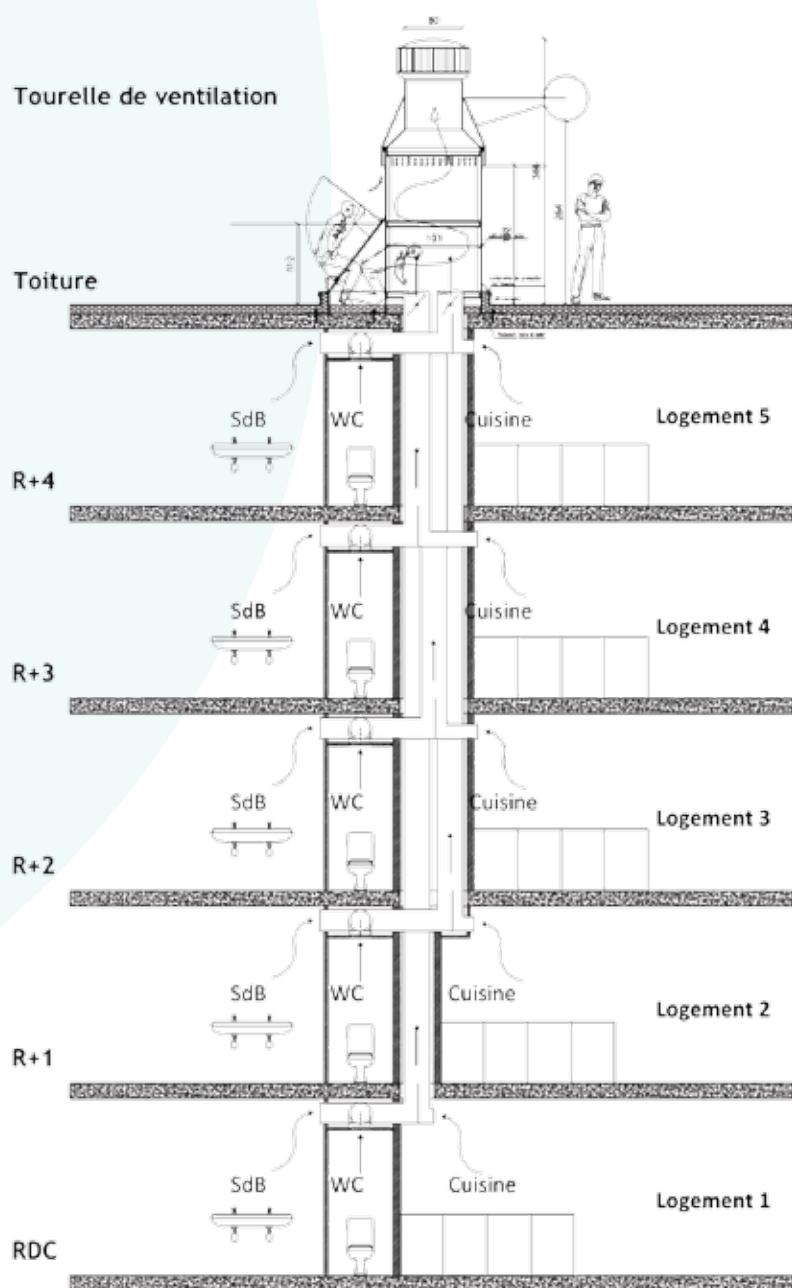
Le système a été pensé et conçu exactement comme un système de ventilation simple flux autoréglable, avec une spécificité dans le dimensionnement des entrées d'air, des détalonnages de portes et des conduits, liée au fonctionnement à faible différence de pression en ventilation naturelle.

Le système proposé permet également de respecter les isolements acoustiques réglementaires des façades (DnAT de 30 à 35 dB suivant les façades).

Coupe générale du système de VNAC

Les entrées d'air ne sont pas représentées sur cette coupe, il s'agit ici de montrer principalement la conception du réseau d'extraction.

Un logement est localisé par niveau possédant son propre conduit d'extraction indépendant des autres logements.



Entrées d'air

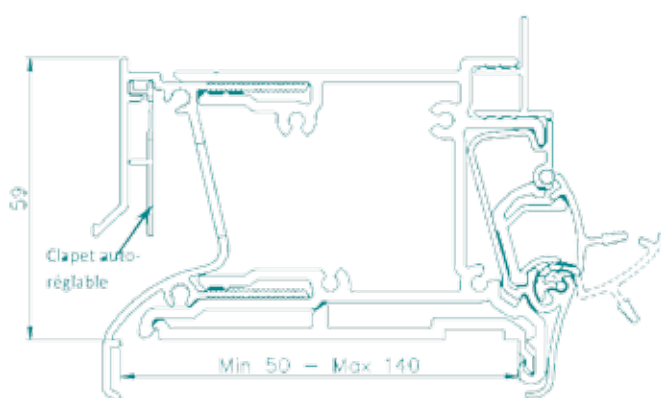
Les entrées d'air sont assurées par des entrées d'air spécifiques à la ventilation naturelle car elles doivent répondre aux contraintes de débits sous des faibles différences de pression.

Certaines entrées d'air sont assurées par des entrées d'air acoustiques.

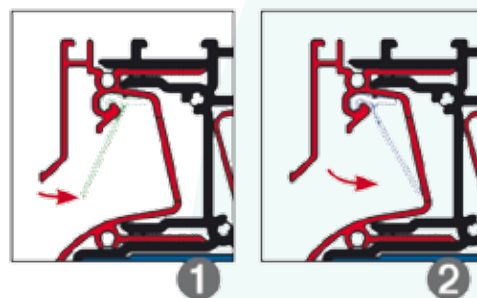
Toutes les entrées d'air sont assurées par des entrées d'air de type INVISIVENT de chez RENSON (Belgique).



Entrée d'air invisivent - Source : doc Renson.



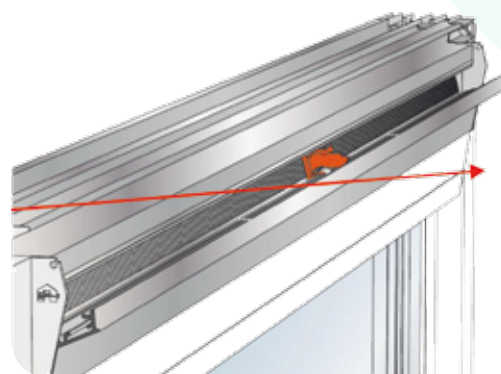
Les entrées d'air sont auto-réglables. Le passage d'air est régulé automatiquement par un clapet auto-réglable à deux composants, fixé au niveau de l'ouverture d'amenée au moyen d'une suspension antivibrations brevetée. Le clapet réagit automatiquement aux différences de pression et au vent, il ne peut pas être manipulé par l'utilisateur et ne nécessite aucun entretien.



1. Le clapet auto-réglable bascule en cas de légère pression du vent.

2. Le clapet auto-réglable plie en cas de pression plus forte du vent.

Les entrées d'air sont non obturables. Habituellement le passage de l'air dans les entrées d'air INVISIVENT de chez RENSON peut être réglé manuellement par la manipulation d'un profil intérieur en aluminium possédant plusieurs positions d'ouverture (réglementation Belge). Afin d'assurer une ventilation en continu conformément à la réglementation française, ce profil est bloqué en position maximale ouverte par le fabricant (grâce à un « clip d'ouverture permanente » qui place l'aérateur en position d'ouverture maximale). Les entrées d'air sont donc livrées sur le chantier et mises en œuvre dans les logements sans possibilité de fermeture par l'occupant par la suite.



Emplacement :

Les entrées d'air de ventilation naturelle sont positionnées au-dessus des menuiseries dans les chambres et les séjours.

Il est prévu une entrée d'air par chambre et plusieurs entrées d'air par séjour (1 à 4 généralement) suivant les caractéristiques

des entrées d'air choisies (débit et niveau acoustique) et des types (largeur) et nombre de baies disponibles dans le séjour.

Transfert d'air dans le logement

Le balayage de l'air des pièces principales vers les pièces humides est assuré par le détalonnage des portes :

Localisation	Chambre	Séjour	Sdb / wc	Cuisine			
				T2	T3	T4	T5
Détalonnage	1 cm	2 cm	1 cm	2 cm			2,5 cm

Bouches d'extraction

L'extraction s'effectue par des bouches d'extraction situées dans chaque pièce humide : cuisine, salle de bains, WC et salle d'eau.

Les bouches d'extraction dans les pièces humides sont constituées de simples grilles, de type TMM 200 (VIM, France Air...).

La section des bouches d'extraction dans chaque pièce humide correspond à la section du conduit secondaire s'y rattachant, soit 30 cm² environ.



Conduits d'extraction

Chaque logement possède son propre conduit principal d'extraction.

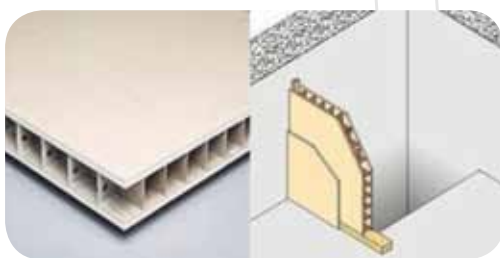
Chaque bouche d'extraction dans chaque pièce humide est reliée au conduit principal d'extraction par un conduit spécifique positionné en soffite ou/et faux-plafond dans le logement.

Le diamètre du conduit principal est de 36 cm de diamètre (1000 cm² par logement). Le diamètre des conduits secondaires reliant les pièces humides est de 20 cm (section de 350 cm²).

Les conduits sont en tôle d'acier galvanisé, agrafés en spirale et conformes à la NF P 50-401.



L'individualité des conduits par logement (indépendance de chaque logement) ainsi que leur matériau composant M0 assure le respect de la sécurité incendie.



Les conduits principaux d'extraction sont regroupés dans une gaine technique verticale réalisée en plaques de plâtre sur ossature métallique ou en plaques de plâtre sur réseau alvéolaire bénéficiant d'un Atec type Placopan.

La cloison est CF1/2h et recoupée à chaque niveau pour assurer la sécurité incendie. Les conduits sont raccordés à une tourelle en toiture.

Un système « anti-refoulement d'air » est mis en œuvre en partie basse de chaque conduit pour éviter tout risque de transfert d'air direct entre les pièces d'un même logement (entre la salle de bains et la cuisine par exemple). Ce système est réalisé par une plaque séparatrice de 1 m de haut en partie basse du conduit principal. D'un côté de la plaque est raccordé

le conduit de la cuisine et de l'autre côté sont raccordés les conduits SdB et WC. Rappelons qu'il n'y a aucune combustion de gaz dans les logements, tous les appareils de cuisson sont électriques.

Équilibrage des débits extraits

L'équilibrage des débits se fait par le dimensionnement des conduits. D'après les simulations dynamiques, le réseau reste équilibré la majeure partie de l'année, la répartition des débits extraits entre pièces humides reste la même.

La répartition des débits extraits par logement est d'environ 50 % des débits extraits en cuisine, 25 % dans la salle de bains et 25 % dans les WC.

Tourelles

Principe :

Il s'agit de réaliser un ensemble recueillant les sorties des conduits individuels de ventilation naturelle des logements (environ 5 conduits par tourelle). L'ensemble doit servir d'embase à une tourelle à vent (1) (type HURRICANE H800 de EDMONDS) située à son sommet, permettant d'augmenter les débits extraits sous

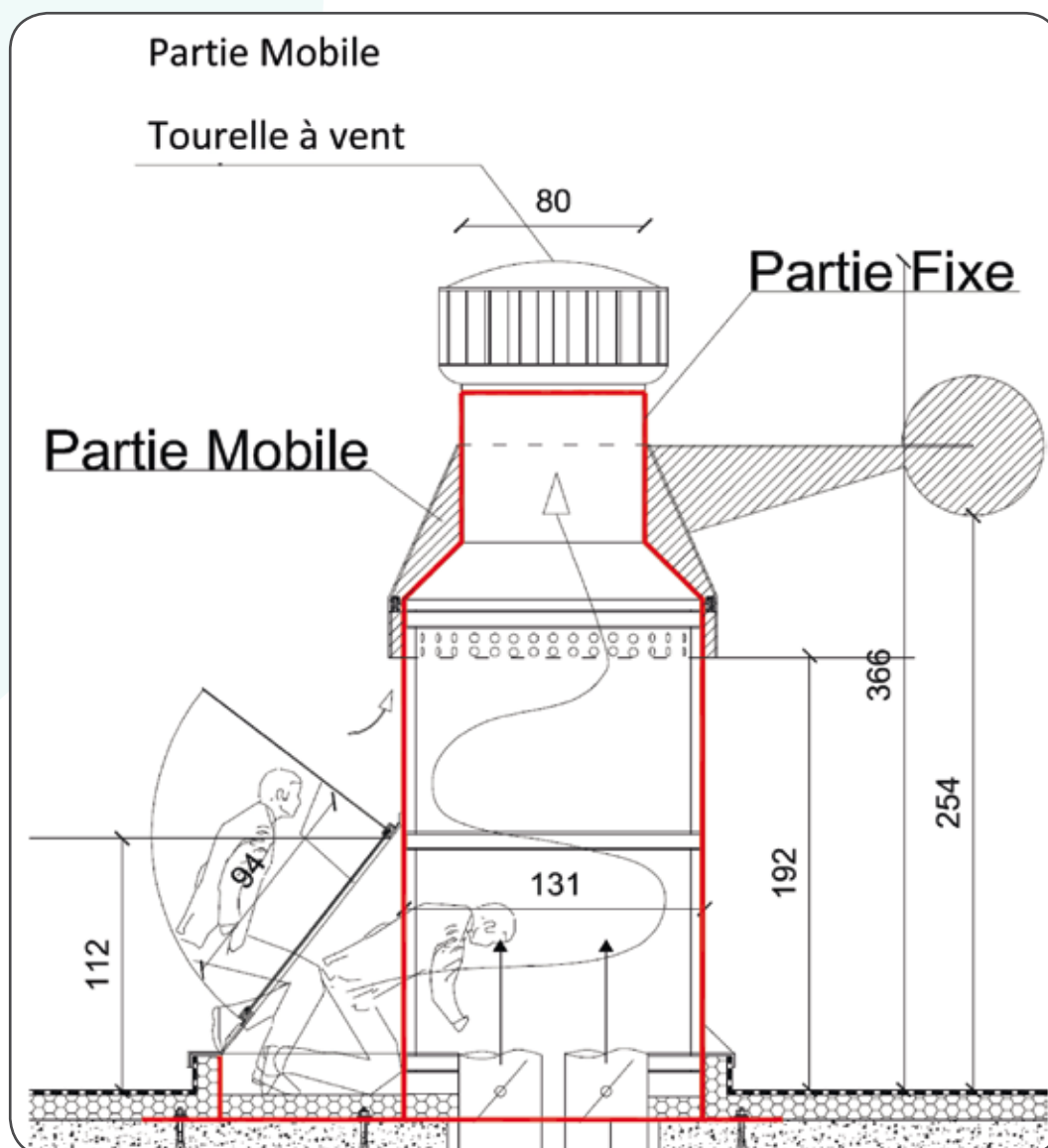


l'action du vent qui fait alors tourner la tourelle à vent. Les tourelles sont donc composées d'une partie fixe ancrée dans la dalle béton et de deux parties mobiles (1) et (2).

Une partie mobile « girouette » (2), munie d'un orifice destiné à introduire de l'air supplémentaire dans la tourelle, est positionnée entre le fût fixe et la tourelle à vent (mobilité par rapport au fût fixe assurée par un système de roulements à billes). Le but de la girouette est d'orienter l'orifice face au vent pour créer une surpression améliorant le tirage. Le fût

fixe est percé sur tout son périmètre au niveau de l'orifice afin de faire pénétrer cet air supplémentaire. Ces ouvrants permettent aussi de laisser un passage d'air libre lorsque la tourelle à vent extrait un débit trop élevé et que les registres des conduits sont clos (compensation de débits).

Pour encore augmenter le tirage thermique, un vitrage (3) est ajouté en pied de tourelle afin d'augmenter ponctuellement la température à la sortie des conduits d'extraction et donc favoriser le tirage, sorte de « cheminée solaire ».



Régulation

Le principe premier de ce procédé de VNAC est : « un conduit = un logement », ceci afin de pouvoir réguler au mieux les débits dans chaque logement et ainsi pouvoir en hiver, en période de chauffage, limiter les débits aux stricts débits réglementaires.

C'est pourquoi est prévu dans ce procédé de VNAC une régulation fine des débits dans chaque logement grâce à un ensemble composé de :

- > un registre motorisé par conduit
- > un capteur de pression/vitesse par conduit
- > un automate de régulation pour minimum 2 logements
- > un potentiomètre dans la cuisine (débit de base / débit de pointe / débit d'été)

Principe de fonctionnement de la régulation :

Le principe de cette régulation consiste à mesurer le débit unitairement grâce à un capteur de pression ou capteur de vitesse situé dans chaque conduit. Ce type de capteur permet de mesurer le débit dans chaque conduit, et particulièrement dans le cas d'une ventilation naturelle, où la pression statique dans les réseaux est faible. Cette valeur est transmise à un régulateur muni d'une horloge

interne qui, à son tour, traduit l'information vers un registre motorisé proportionnel dédié à chaque logement, qui rétablit les débits désirés (base/pointe/été). En parallèle à ce système, l'utilisateur peut intervenir sur le débit de manière à bénéficier d'une surventilation des pièces (passage du débit de base au débit de pointe, ou au débit de confort d'été) grâce à un potentiomètre situé dans la cuisine.

En saison de chauffe : les occupants règlent, grâce à l'interrupteur situé en cuisine, l'ouverture du conduit d'extraction de leur logement, soit en débit de base, soit en débit de pointe. Le passage en débit de pointe est temporisé (1/2h). Le passage en mode « surventilation d'été » n'est pas possible en hiver.

Hors saison de chauffe : les occupants peuvent passer en mode « confort d'été » en ouvrant en grand le registre de leur conduit par l'intermédiaire de l'interrupteur situé en cuisine. Quand le mode « confort d'été » est enclenché, la seule régulation se fait sur la vitesse d'air dans le conduit qui ne doit pas dépasser 3 m/s pour des raisons acoustiques (au-delà de cette vitesse, cela peut « siffler » dans les conduits)

Ce mode est automatiquement coupé dès le redémarrage de la saison de chauffe pour repasser en mode régulé débit de base/débit de pointe uniquement.

Résultats des simulations dynamiques

Les débits d'extraction sont conformes à l'arrêté du 24 mars 1982.

	Débits hygiéniques à extraire (arrêté 24 mars 1982)				
	T2	T3	T4	T5	T6
Qbase	60 m ³ /h	75 m ³ /h	90 m ³ /h	105 m ³ /h	120 m ³ /h
Qpointe	120 m ³ /h	150 m ³ /h	180 m ³ /h	210 m ³ /h	240 m ³ /h
Qmini cuisine	30 m ³ /h	45 m ³ /h	45 m ³ /h	45 m ³ /h	45 m ³ /h

Les résultats des simulations montrent que le système de VNAC permet d'atteindre largement les débits réglementaires.

Débits de base

La VNAC mise en place permet d'assurer les débits de base sur la totalité de la période de chauffe (hiver), fenêtres fermées. Les débits de base sont également atteints sur la quasi-totalité de la période estivale (hors période de chauffe) sauf quelques heures représentant 0,3 % de l'été, ce qui n'est pas rédhibitoire puisqu'en été les fenêtres peuvent être ouvertes pour assurer le complément de débit sans créer de consommations de chauffage supplémentaires.

Débits de pointe

La VNAC mise en place permet d'assurer les débits de pointe réglementaires sur la quasi-totalité de la période de chauffe (hiver), fenêtres fermées (seulement 3 à 4 % du temps où les débits de pointe ne sont pas atteints en hiver). Notons que, pendant la saison de chauffe, il n'y a aucun jour pendant lequel les débits de pointes ne sont pas atteints à un moment ou à un autre de la journée.

La période pendant laquelle les débits de pointe ne sont pas assurés est inférieure à 5 % du temps sur l'ensemble de l'année. En été, les fenêtres peuvent être ouvertes pour assurer le complément de débit de pointe sans créer des surconsommations de chauffage.

Ventilation par atrium : agence de l'eau à Rouen

Les éléments du système de ventilation naturelle

Quatre dispositifs ont été mis en œuvre dans le bâtiment de l'agence de l'eau pour réaliser la ventilation naturelle de ce dernier :

- > des ouvrants à tous les niveaux en façades nord et sud,
- > des exutoires en partie haute de l'atrium,
- > des entrées d'air acoustiques dans les menuiseries des bureaux,
- > des grilles transferts acoustiques dans les cloisons bureaux/atrium.



Atrium central de l'agence de l'eau.



Bâtiment de l'Agence de l'eau - Maître d'ouvrage : Agence de l'Eau de Rouen - Maître d'œuvre : ANMA - BE Fluides : ALTO Ingénierie.

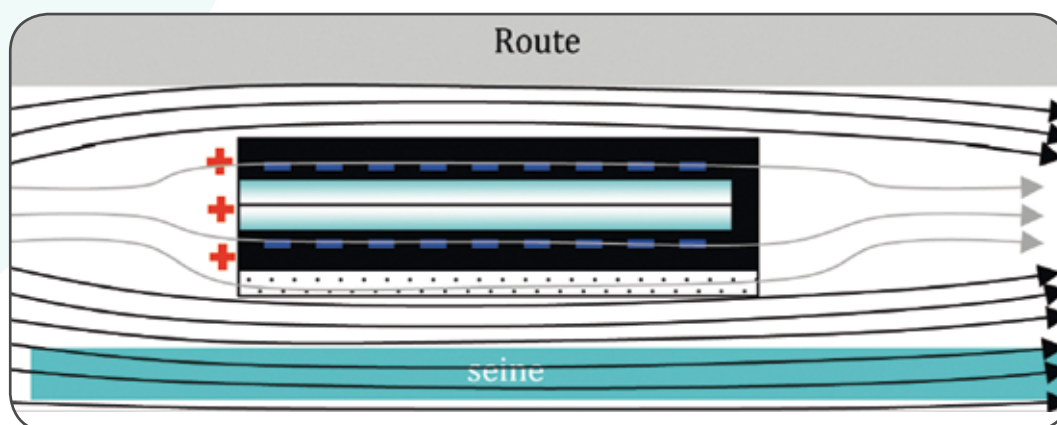
Les moteurs de la ventilation naturelle

Ici la proximité de la Seine qui canalise le vent et l'orientation imposée du bâtiment ne permettait pas d'utiliser la ventilation traversante mais était propice à l'aspiration de l'air intérieur par la dépression créée en façade. En effet le vent crée une dépression au niveau de la toiture que l'on utilise pour aspirer l'air de l'atrium lorsque l'on ouvre les exutoires de la verrière.

D'autre part lorsque la température intérieure est supérieure à la température extérieure le tirage thermique ainsi créé participe également à la ventilation du bâtiment dès lors que les exutoires de la verrière sont ouverts. Ce phénomène est d'autant plus important que la différence de température intérieure/extérieure est importante et que la surface des

ouvertures est importante. Ainsi nous avons tout intérêt à ouvrir largement la nuit pour bénéficier d'un fort taux de ventilation. Cela permet de rafraîchir la structure du bâtiment dont l'inertie absorbe pendant la journée une partie des apports thermiques internes dus aux équipements et aux occupants ainsi que les apports solaires.

L'inertie ne pouvant combattre la totalité de ces apports, la ventilation naturelle est également mise en œuvre au cours de la journée pour en évacuer une partie. La proximité de la route ne permet pas d'ouvrir coté nord à cause du bruit. Coté sud des entrées d'air sont également installées pour permettre à l'air de rentrer sans créer de courant d'air trop froid à la mi-saison et l'été lorsque les matinées sont fraîches.

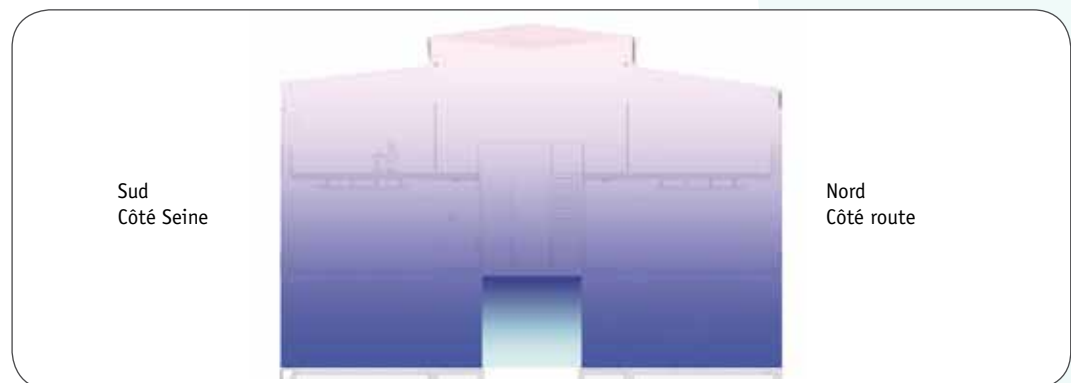


Ainsi plusieurs scénarios de ventilation naturelle sont mis en œuvre suivant les températures intérieures/extérieures et l'heure de la journée, en voici le détail :

Mode 1

La ventilation naturelle est arrêtée dans les cas suivants :

- > Pendant toute la saison de chauffe (24 h/24)
- > N'importe quand si le vent souffle ou qu'il pleut.
- > Hors saison de chauffe pendant la journée de 9 h à 19 h si $T_i < 25^\circ\text{C}$
- La ventilation naturelle n'est pas mise en œuvre, la température de confort est atteinte dans l'ensemble des locaux, la stratification thermique est faible.

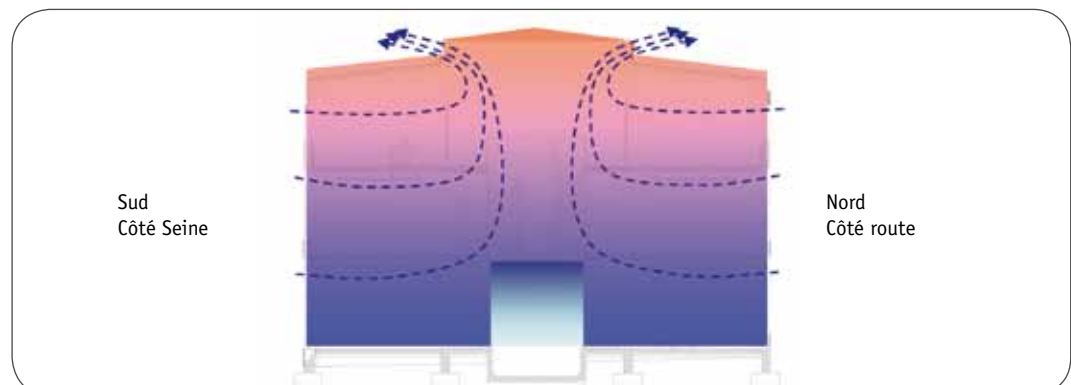


Mode 2

La ventilation naturelle est en vitesse réduite dans le cas suivant :

Pendant la journée de 9 h à 19 h si $25^\circ\text{C} \leq T_i < 27^\circ\text{C}$ et $T_{ext} < 18^\circ\text{C}$

- La température intérieure nécessite de ventiler mais la température extérieure est trop froide pour ouvrir les baies de ventilation situées dans les bureaux sud, on ouvre les exutoires de la verrière. La ventilation naturelle est mise en œuvre en vitesse réduite sans risque de créer des courants d'air, la stratification thermique est moyenne.

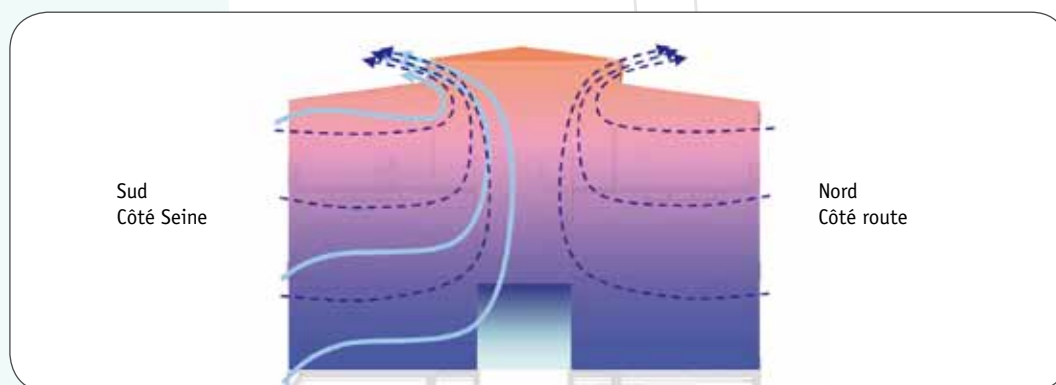


Mode 3

La ventilation naturelle est en vitesse moyenne dans le cas suivant :

Pendant la journée de 9 h à 19 h si $25^{\circ}\text{C} \leq T_i < 27^{\circ}\text{C}$ et $T_{\text{ext}} \geq 18^{\circ}\text{C}$

→ La température intérieure nécessite de ventiler et la température extérieure permet d'ouvrir les baies de ventilation situées dans les bureaux sud, on ouvre donc les exutoires de la verrière et les baies sud. La ventilation naturelle est mise en œuvre en vitesse moyenne, l'écoulement de l'air est alors plus rapide dans les bureaux sud augmentant ainsi la sensation de rafraîchissement dans ces derniers. La stratification thermique est moyenne.

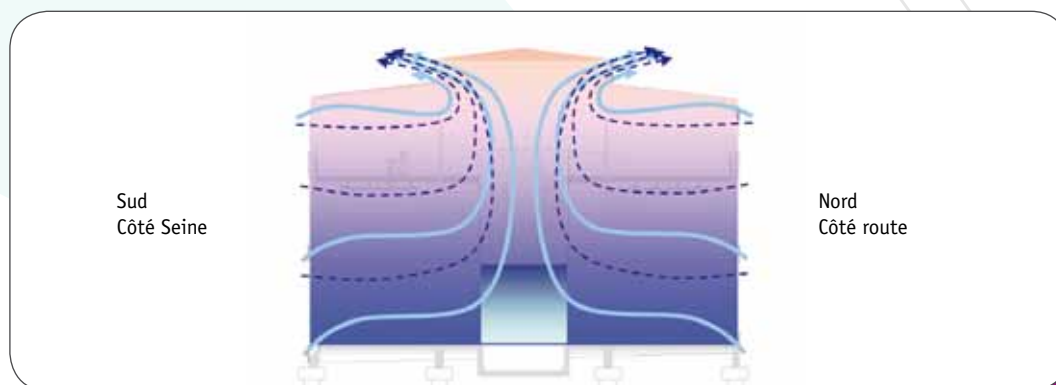


Mode 4

La ventilation naturelle est en vitesse maximum dans le cas suivant :

Pendant la nuit de 19 h à 7 h si $17^{\circ}\text{C} \leq T_i$

→ La nuit nous profitons que le potentiel de rafraîchissement est maximum pour refroidir la structure. La ventilation naturelle est mise en œuvre en vitesse maximum, La stratification thermique est faible.





CONCLUSION

La ventilation judicieuse des bâtiments répond à divers enjeux à la fois énergétiques, de confort, de santé des occupants mais aussi de mise en œuvre technique, de conception architecturale et de maintenance.

L'intégration de ces enjeux divers requiert de plus en plus de compétences, qui ne se limitent pas à la seule fourniture d'équipements techniques plus ou moins sophistiqués.

Les questions de maintenance liées au non respect des débits hygiéniques réglementaires mais aussi à l'inconfort acoustique ou aux consommations énergétiques excessives exigent un dialogue renouvelé entre spécialistes. A cette fin, l'expertise en amont portée par les maîtres d'œuvre ou les assistants à la maîtrise d'ouvrage tels que ceux représentés au sein de l'ICEB, est essentielle, en lien avec les artisans et les entreprises spécialisées, pour permettre une bonne intégration du système de ventilation dans le projet architectural global de rénovation ou de construction neuve.

Les perspectives pour demain sont donc clairement, à travers cette recherche de bonne ventilation, de contribuer à la qualité de l'air intérieur, à la santé des occupants tout en améliorant le confort des ambiances et en assurant la pérennité du bâti.

Les solutions de ventilation naturelle décrites dans ce guide réinterrogent la notion d'utilisateur acteur de son propre bien-être. Au-delà du rôle de l'utilisateur se pose la question du modèle d'architecture ou de conception bioclimatique que l'on souhaite apporter aux bâtiments d'aujourd'hui.

Bibliographie

- > <http://www.habiter-autrement.org/12.energies/contributions-12/Ventilation-naturelle-analyse-solutions.pdf>
- > http://www.nather.fr/pdf/PDF_AVIS_TECH_ET_CETIAT/reglt_ventil_tertiaire.pdf
- > Double-skin façades: Integrated Planning, par E. Esterle, R. D. Lieb, M. Lutz et W. Hausler. Prestel, 2001
- > Voir aussi le site www.best-facade.com qui est riche de renseignements sur ce sujet.
- > Ventilating Façades, Ashrae Journal, avril 2009
- > http://www.energieplus-lesite.be/energieplus/page_10801.htm#exploitation
- > Natural ventilation in non-domestic buildings. Guide CIBSE AM10, 2005
- > Plusieurs guides sont disponibles en téléchargement sur le site internet du Centre Techniques des Industries Aérauliques et Thermiques (CETIAT), notamment :
 - Un guide pratique de 2004 illustrant comment prendre en compte « la qualité de l'air dans les installations aérauliques ».
 - Concernant les établissements d'enseignement, un guide de conception intitulé « ventilation performante dans les écoles » de 2001.
 - Un guide pratique pour « améliorer les performances de la ventilation dans l'existant » de mars 2007
 - Un guide sur les puits canadiens/provençaux
- > Bâtir éthique et responsable, S. Déoux. Editions du Moniteur, avril 2007
- > Qualité de l'air intérieur : synthèse et analyse prospective de travaux réalisés dans le cadre du GPQA, F. Allard, A.L. Tiffonnet, M. Abadie, P. Blondeau. Techniques de l'ingénieur, 2004
- > Inventaires des données françaises sur la qualité de l'air intérieur, L. Mosqueron, V. Nedellec. Observatoire de la Qualité de l'Air Intérieur, 2001 et 2004
- > Pour une excellente appréhension des phénomènes d'écoulement du vent en milieu bâti, à l'extérieur, ce guide est indispensable :
Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti, J. Gandemer, CSTB Nantes, A. Guyot, architecte. Documentation française, décembre 1976
- > Un guide publié par la Fédération Française des Tuiles et Briques (FFTB) et le GIE Briques de France traite abondamment du sujet des moisissures :
« La Qualité de l'air intérieur » – Contributions croisées.

ARENE Île-de-France

Expert et référent de la Région francilienne pour le développement durable, l'Agence régionale de l'environnement et des nouvelles énergies (ARENE) accompagne les collectivités locales et les acteurs régionaux dans leurs démarches. En associant expertises, réseaux et outils, elle fait le lien entre la mission prospective, analyse stratégique et la mise en œuvre de solutions concrètes.

ICEB

L'Institut pour la conception environnementale du bâti (ICEB), est une association regroupant aujourd'hui une cinquantaine de professionnels de l'architecture, du bâtiment, de l'urbanisme, de la santé et de l'environnement qui, au quotidien, déploient sur le terrain leur expertise de la démarche environnementale, au service de l'usager et de son environnement.



• Ventilation naturelle et mécanique •



111, rue Molière - 94200 Ivry Sur Seine
Tél : 01 45 15 51 11 - Fax : 01 05 62 73 03
www.asso-iceb.org



94 bis, avenue de Suffren - 75015 Paris
Tél. : 01 53 85 61 75 - Fax : 01 40 65 90 41
www.arenidf.org