

VENTILATION POUR LE CONFORT D'ETE

Pourquoi ventiler ?

La ventilation consiste à renouveler l'air d'une pièce ou d'un bâtiment.

- Elle agit directement sur la température de l'air, puisqu'on remplace un volume d'air à la température T_{int} par un volume d'air équivalent à la température T_{ext} .
- Elle agit indirectement, donc plus lentement, sur les températures de surface des parois, car ces dernières peuvent se refroidir ou se réchauffer par convection au contact d'un air plus froid ou plus chaud.

Le confort thermique d'une personne dans des conditions intérieures, sédentaires et « normales » dépend pour moitié de la température de l'air et pour moitié de la température des différentes parois en regard. L'effet de la ventilation sur le confort n'est donc pas aussi direct qu'il n'y paraît. Baisser la température de l'air de 2°C ne baisse la température de confort que de 1°C tant que les parois restent à la même température.

Il est vrai que l'effet de la ventilation sur le confort est plus important lorsque la vitesse de l'air autour de la personne est plus grande. C'est l'intérêt des courants d'air en été. La sensation thermique à 28°C avec un air à $0,6\text{ m/s}$ est équivalente à 27°C avec un air à $0,2\text{ m/s}$. Néanmoins cette stratégie a ses limites en ambiance intérieure lorsque l'on recherche un air calme...

En définitive, il est intéressant de ventiler un bâtiment pour le rafraîchir chaque fois que la température extérieure T_{ext} est inférieure à la température intérieure T_{int} ...

... d'où l'on peut conclure que la ventilation n'est pas un moyen universel pour rétablir le confort.

En effet, si on considère qu'une température intérieure de 27°C est le seuil de l'inconfort thermique en air calme avec une humidité moyenne, la ventilation est contre-productive dès que la température extérieure dépasse cette valeur, c'est-à-dire assez souvent finalement en été. En pratique, on peut ventiler le bâtiment même lorsque T_{ext} est supérieur à 27°C , cela permet d'agir sur la température intérieure, mais sans toutefois rétablir complètement le confort.

Combien ventiler ?

La ventilation est d'autant plus efficace que l'écart de température entre intérieur et extérieur est grand.

Un calcul en régime permanent montre qu'il faut une ventilation de l'ordre de 30 vol/h pour maintenir la température intérieure 2°C au dessus de la température extérieure lorsque les apports thermiques sont de 60 W/m^2 . C'est un renouvellement d'air très important qu'on ne peut obtenir que toutes fenêtres grandes ouvertes et avec du vent ! Inaccessible en pratique.



De fait, un rafraîchissement significatif peut être obtenu avec des débits largement plus faibles : de l'ordre de 2 vol/h dans un très grand volume (atrium, halle...), de l'ordre de 4 à 6 vol/h dans des espaces intermédiaires (classe, restaurant..), et de 4 à 8 vol/h dans des pièces ou des logements.

C'est l'effet du rafraîchissement de la masse du bâtiment par l'air neuf. La ventilation pour le confort d'été est donc d'autant plus efficace que la masse du bâtiment est importante. Et seule une approche thermique **dynamique** peut rendre compte de l'effet de la ventilation sur la température intérieure.

L'inertie thermique est complémentaire de la ventilation, et indispensable pour que celle-ci soit efficace.

Mais encore faut-il rafraîchir cette masse ! Il faut pour cela réunir trois conditions :

1. Un écart de température élevé entre T_{int} et T_{ext} . Le potentiel de la ventilation nocturne est plus important quand les nuits sont fraîches. C'est le cas des climats continentaux, par opposition aux climats maritimes. Le climat méditerranéen se caractérise également par des amplitudes thermiques importantes entre le jour et la nuit, exploitables pour la ventilation.
2. Une surface d'échange importante entre l'air et la masse à rafraîchir. Il vaut mieux plusieurs murs moyennement épais qu'un seul mur très épais.
3. Une vitesse d'air élevée au contact des masses. C'est difficile en pratique, mais il faut au moins permettre à l'air de lécher les parois. C'est l'intérêt des structures creuses dans lesquelles l'air peut circuler, ou plus simplement des faux plafonds « ouverts » au dessus desquels l'air peut circuler par ventilation mécanique ou naturelle, et qui permettent aux dalles d'étages de participer aux échanges thermiques.

Comment ventiler ?

Il y a deux grandes voies : la ventilation mécanique, et la ventilation naturelle.

La ventilation mécanique :

On va chercher à exploiter la ventilation mécanique en priorité lorsque les dispositifs prévus pour la ventilation hygiénique ou le traitement de l'air en hiver sont compatibles avec, ou adaptables facilement à la mise en œuvre d'une stratégie de ventilation pour le confort d'été.

En général, les débits d'air nécessaires en hiver sont très inférieurs à ceux nécessaires en été. C'est le cas par exemple des logements : La ventilation hygiénique ne représente que 0,5 vol/h, contre 4 à 8 vol/h souhaitables en été à certaines périodes.

Dans de tels cas, une installation mécanique spécifique doit être prévue pour la ventilation d'été. Elle représente un surcoût d'investissement, d'où l'intérêt de s'appuyer alors sur la ventilation naturelle.

La ventilation mécanique pour le confort d'été est à étudier préférentiellement dans les locaux où les besoins d'air hygiénique représentent au moins 2 vol/h, ou bien lorsque un traitement d'air est mis en place (surfaces commerciales, salles de fêtes...). Réciproquement, la volonté d'exploiter la ventilation pour le confort d'été peut influencer sur le choix du système de chauffage, de type aéraulique plutôt que radiatif...



Il y a 4 grands types de ventilation mécanique :

La ventilation simple flux par extraction. Un seul ventilateur extrait l'air des différentes pièces d'un bâtiment, l'apport d'air neuf étant assuré par des entrées d'air en façade. Les entrées d'air et les bouches d'extraction sont conçues pour laisser passer un débit « contrôlé », c'est-à-dire indépendant des différences de pression amont et aval. Il est donc très difficile de forcer le débit avec ce type d'installation. Il faudrait prévoir des entrées d'air et des bouches d'extraction spécifiques pour l'été, et adapter les réseaux aérauliques, car la puissance électrique absorbée par un ventilateur augmente avec le cube du débit d'air circulant ! En pratique, ce type de ventilation n'est clairement pas adapté au traitement du confort d'été, sauf dans de faibles variations de débit.

La ventilation simple flux par insufflation. Il n'y a toujours qu'un seul ventilateur, mais il pousse l'air hygiénique dans les différentes zones à traiter. Cet air est rejeté à l'extérieur par des bouches ou des volets de surpression. Ce type de ventilation présente les mêmes défauts que le précédent, à savoir la difficulté de faire varier le débit dans de grandes proportions. Néanmoins, dans les cas où le débit hygiénique requis est élevé, un rafraîchissement en été est possible, en particulier la nuit. L'intérêt de la ventilation par insufflation est alors, d'une part de pouvoir insuffler un débit d'air important dans les pièces sans inconfort en hiver, grâce au préchauffage possible, et d'autre part de pouvoir raccorder en amont un puit provençal ou un autre dispositif passif de rafraîchissement (brumisation...).

La ventilation double flux. Le système comprend deux circuits aérauliques et deux ventilateurs, un pour le soufflage, l'autre pour l'extraction. Ce système est d'autant plus intéressant en hiver que les débits d'air demandés sont grands. Il permet le préchauffage de l'air neuf, et la récupération de chaleur sur l'air extrait. En été, il permet le raccordement en amont de dispositifs passifs de rafraîchissement. Le débit peut être augmenté dans une certaine proportion, en particulier la nuit dans les bâtiments tertiaires quand l'acoustique n'est pas un problème, mais il faut être vigilant sur les difficultés d'équilibrage des réseaux lorsque les pressions sont faibles. Par ailleurs, on doit prévoir un système de bypass de la récupération sur l'air extrait pour le fonctionnement estival.

Le traitement d'air par centrale à mélange air neuf / air repris. Ce système assure le chauffage, la ventilation, voire le rafraîchissement de grands volumes « monozones » : salle des fêtes, gymnase, restaurant, commerces... Le débit de soufflage est en général supérieur au débit d'air hygiénique. Il est défini par les besoins thermiques, et la nécessité de diffuser confortablement l'air dans l'espace. Le débit d'air neuf est ajusté aux besoins en agissant sur des volets de mélange. On a donc un grand potentiel de rafraîchissement par ventilation en été. Il suffit d'ouvrir en grand les volets de mélange air neuf / air repris aux périodes favorables. C'est ce qu'on appelle la fonction « free-cooling », gérée par la régulation propre à ce type de systèmes. Attention, en demi saison, le free-cooling est limité par l'inconfort associé à l'introduction d'un air trop frais. Il arrive souvent qu'on ne puisse pas exploiter à fond le potentiel de rafraîchissement de l'air extérieur, à cause de problèmes de diffusion d'air. Il est utile de prévoir des plénums de diffusion qui permettent à l'air de se tempérer avant introduction dans la zone à traiter, ainsi que des bouches de diffusion à très forte induction pour mélanger l'air soufflé avant qu'il ne pénètre dans la zone d'occupation.



La ventilation naturelle :

La ventilation naturelle correspond au déplacement de l'air résultant de différences de pression. Il y a deux grands « moteurs » de la ventilation naturelle :

Le vent : Une façade exposée au vent est en surpression. A l'inverse, une dépression est créée sur les façades sous le vent. Si des ouvertures sont créées sur les faces opposées d'un bâtiment, un renouvellement d'air proportionnel au carré de la vitesse du vent se produit. Différentes formules empiriques existent pour estimer le débit d'air induit en fonction de la vitesse du vent et de la taille et de la position des ouvertures. Citons en quelques unes, qui ont l'avantage d'être simples... :

Ventilation à travers une seule fenêtre : $Q_v = 0,025 S V$
où S = surface ouvrante, et V la vitesse du vent

Ventilation traversante : $Q_v = C_d S V \sqrt{\Delta C_p}$ où
S est défini par la relation $1/S^2 = 1/S_1^2 + 1/S_2^2$, et $\Delta C_p = C_{p1} - C_{p2}$
avec S1 : surface ouvrante au vent, S2 : surface ouvrante sous le vent, et C_{p1} et C_{p2} les coefficients de pression au vent et sous le vent. ($C_p = (p - p_0) / \sqrt{(1/2 \rho V^2)}$). En pratique ΔC_p varie de 0,4 à 0,8 en fonction de la position relative des ouvertures et de l'angle d'incidence du vent par rapport à la façade.
 C_d est le coefficient de décharge de l'ouverture, coefficient théoriquement égal à 1, et en pratique compris entre 0,5 et 1. On prend $C_d = 0,65$ en absence de données plus précises.

En pratique, ces formules ne sont pas très utiles car de toutes façons on ne connaît pas la vitesse du vent au niveau des ouvertures, éminemment variable et aléatoire. Il vaut mieux être prudent dans les estimations. L'idéal est d'obtenir le confort sans ouverture de fenêtre. Dans le cas contraire, on peut prendre en compte de 2 à 4 vol/h lorsque la ventilation est traversante (ouvertures sur des façades opposées), un peu moins en cas d'ouverture sur des façades perpendiculaires, et encore moins si les ouvertures ne sont que sur une façade, 1 à 2 vol/h maxi, à condition que le ratio d'ouverture des baies soit au moins de 30%.

Le tirage thermique : La dépression qui génère les mouvements d'air est créée par la différence de masse volumique de l'air plus ou moins chaud. « L'air chaud a tendance à monter ». Si on prévoit des ouvertures en partie basse pour introduire d'air extérieur dans un espace à rafraîchir, et des ouvertures en partie haute pour laisser l'air s'échapper, il se produit un renouvellement d'air par effet de cheminée.

Le débit d'air induit est proportionnel à la taille des ouvertures, et à la racine carrée de la hauteur de la cheminée et de la différence de température de l'air entre les points bas et hauts.

$$Q_v = C_d S \sqrt{[2 (T_{int} - T_{ext}) g H / T]}$$

où $T = 273 + (T_{int} + T_{ext}) / 2$ (en Kelvin), $g = 9,81$, et H la différence de hauteur entre les entrées et les sorties d'air. C_d et S ont les mêmes définitions que précédemment.



En pratique, il faut se donner des hypothèses prudentes sur le gradient thermique (0,2 à 0,5 K/m maxi), et dimensionner les ouvertures pour que la vitesse moyenne de l'air dans la section libre soit de 1 m/s environ, pas plus.

On obtient assez facilement des renouvellements d'air de 2 vol/h dans des grands volumes. Comme dans le cas de la ventilation traversante, il faut être prudent dans ses estimations et chercher à obtenir le confort avec un débit de ventilation naturelle aussi faible que possible.

Des études de cas

Rappelons tout d'abord que la ventilation pour le confort d'été est la plus efficace la nuit (quand elle est fraîche) dans des bâtiments inertes.

Le jour, elle peut s'envisager en demi saison seulement, à condition de gérer les inconforts éventuels liés aux entrées d'air.

Logements :

Les besoins d'air hygiéniques dans les logements sont de 0,5 vol/h environ. Même en double flux, la ventilation mécanique sera insuffisante pour apporter le confort. J'ai personnellement de très gros doutes sur l'efficacité d'un puits canadien dans ce type d'application compte tenu de la faiblesse des débits hygiéniques. Il faudrait surdimensionner les réseaux aérauliques, pour une efficacité limitée aux journées les plus chaudes de l'année.

La ventilation par tirage thermique pourrait s'envisager avec la création de logements ouverts sur des patios ou des trémies de ventilation. Cela pose malheureusement de très grandes difficultés pratiques, règles de sécurité incendie, acoustique, diffusion d'odeurs ou d'air pollué... A éviter malgré l'intérêt que cela représente.

Il reste la ventilation traversante qui doit être privilégiée. Donc, des ouvertures sur des façades opposées. De préférence la zone jour sous deux expositions, car sinon la ventilation nocturne n'est efficace que portes des chambres ouvertes, ce qui n'est pas idéal pour l'intimité. Il faut aussi que les ouvertures soient très larges, donc privilégier les baies coulissantes ou les ouvertures à la française, et avoir préféré les protections solaires qui permettent la ventilation : persiennes plutôt que volets roulants.

Salles de classe :

Les besoins d'air hygiénique d'une classe représentent 500 à 600 m³/h, de 3 à 4 vol/h. Ce n'est pas possible de faire entrer ce débit par les façades de façon confortable en hiver, ce qui pénalise la ventilation mécanique simple flux par extraction. Si celle-ci est néanmoins retenue, des ouvertures complémentaires de ventilation naturelle pour l'hygiène et le confort d'été doivent être prévues, au moins de 2m² libre par façade en cas de ventilation traversante, et le maximum possible (50% d'ouverture libre) si la classe est en simple exposition. On peut créer une ventilation traversante entre des ouvertures en façade et des ouvertures dans des sheds ou lanterneaux de second jour. Celles-ci doivent être maintenues ouvertes la nuit et en inoccupation, sans risque de pluie ni de vandalisme. L'intrusion peut être gérée par des capteurs volumétriques.

Les débits de ventilation réglementaire sont suffisants pour qu'une ventilation mécanique dimensionnée en conséquence apporte un confort d'été, en marche nocturne pendant les périodes chaudes. C'est très intéressant lorsqu'on ne souhaite pas ouvrir les fenêtres (problèmes de bruit par exemple). Deux moyens sont possibles : la ventilation par insufflation, avec une modulation des débits selon les besoins pour économiser l'énergie, ou le double flux qui permet une



récupération sur l'air extrait au détriment d'une consommation électrique accrue. Dans les deux cas, un puits canadien peut s'envisager en complément. Son intérêt est d'apporter une inertie « artificielle » à un bâtiment qui en serait dépourvu, en transférant la fraîcheur du sol emmagasinée la nuit vers les classes le jour. Mais il faut penser à « recharger » le puits canadien avec un air plus frais la nuit, car sinon ses performances finiraient par se dégrader...

Gymnase :

Lorsque le gymnase n'est pas prévu avec spectateurs, il est assez superflu de prévoir une ventilation mécanique de la salle d'activité, compte tenu de sa faible densité d'occupation rapportée au volume. Les infiltrations naturelles sont suffisantes. Pour diminuer des surchauffes en été qui seraient dues à des apports solaires mal maîtrisés, une ventilation naturelle par ouvertures zénithales peut s'envisager, compte tenu des hauteurs libres. Il faut cependant prévoir des ouvertures en partie basse, et s'assurer que les courants d'air ne soient pas gênants. Donc des dispositifs de régulation et de contrôle manuel sont indispensables.

Une solution possible pour diffuser l'air frais de façon confortable est la diffusion par déplacement. On prévoit des grilles d'entrée d'air au niveau du sol, raccordées sur l'extérieur avec des conduits d'aspiration naturelle enterrés. C'est une variante du puits canadien, avec un fonctionnement par ventilation naturelle, l'objectif n'étant pas tant de rafraîchir l'air que de le faire pénétrer sans inconfort dans l'espace à traiter.

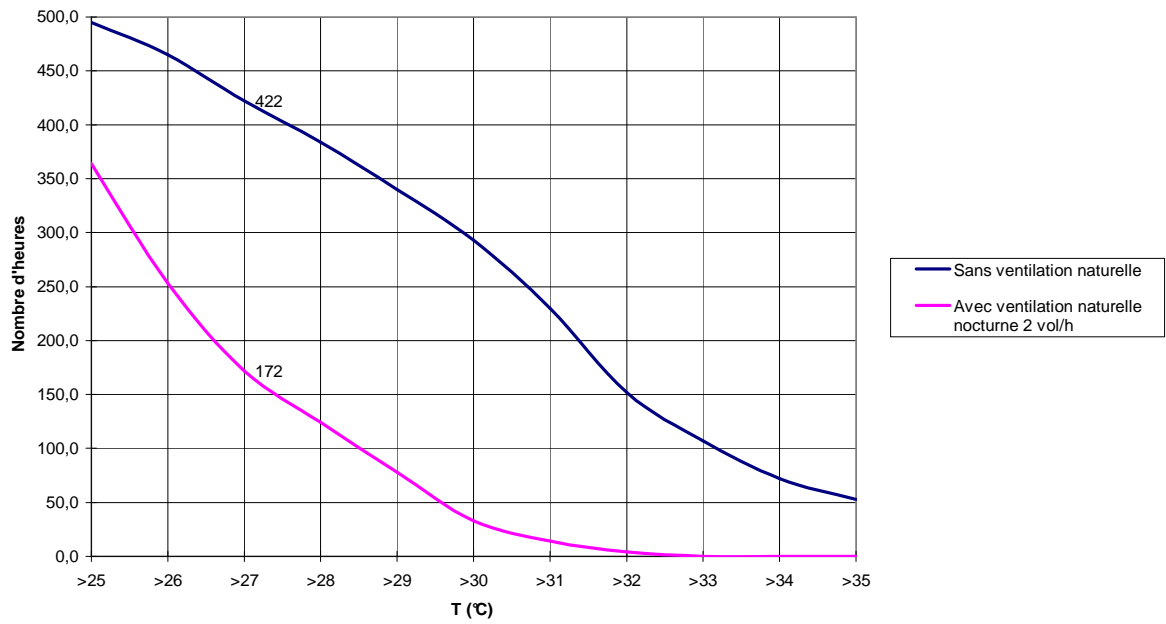
L'évaluation du confort d'été par simulation thermique dynamique

Comme dit plus haut, compte tenu des phénomènes mis en jeu, c'est vraiment la simulation thermique dynamique qui peut définir les débits nécessaires le jour et la nuit pour optimiser le confort en été dans chaque cas particulier.

L'analyse statistique des dépassements de température de confort est utile pour comparer entre elles plusieurs situations. Il est intéressant d'observer sur les figures ci-dessous qu'une même stratégie de ventilation nocturne dans une salle de classe donne des améliorations très différentes, exprimées en diminution du nombre d'heures au dessus de 27°C, suivant le point de départ, plus ou moins « inconfortable » où l'on se situe : ventiler la nuit à 2 vol/h diminue le nombre d'heures au dessus de 27°C de 60% ou de 80% suivant que les températures maximales atteintes sont de 33°C ou de 30°C. Il est donc vain de relier directement débit de ventilation et taux d'inconfort. C'est la somme de toutes les actions pour limiter les surchauffes qui donnent la meilleure efficacité.



Salle de classe sans protection solaire



Salle de classe avec protection solaire

