

Colloque AFME, Sophia Antipolis, Sept. 1989  
**APPRECIATION DE L'EFFICACITE  
DES SYSTEMES DE VENTILATION**

*Dominique Bienfait, CSTB, Marne-la-Vallée*

**RESUME**

L'efficacité d'un système de ventilation peut être définie comme l'aptitude à réaliser le meilleur compromis entre la qualité de l'air intérieur et les déperditions par renouvellement d'air.

Dans le cas d'un bâtiment comportant plusieurs pièces, on peut distinguer deux aspects complémentaires :

- *à l'intérieur d'une pièce donnée*, l'efficacité de la ventilation dépend essentiellement des caractéristiques et de la position des bouches d'entrée d'air ou d'extraction : il s'agit d'un problème de diffusion d'air,
- *dans un bâtiment comportant plusieurs pièces*, l'efficacité de la ventilation est fonction de la répartition des débits d'air en fonction du temps et selon les pièces : il s'agit d'un problème de distribution d'air et d'équation des débits.

Dans la présente communication, on s'intéresse à ce deuxième aspect : on propose, en s'intéressant au cas des logements une méthode d'appréciation de l'efficacité basée sur l'exploitation d'un code de calcul. Cette méthode permet de classer l'ensemble des principes de ventilation (par exemple ventilation naturelle, double flux,...) selon leur efficacité.

**ABSTRACT**

Ventilation efficiency may be defined as the capability of a given ventilation system to achieve the best balance between indoor air quality and energy conservation requirements :

- *inside a room*, ventilation efficiency is depending on air diffusion, which is mainly governed by air terminal devices and characteristics,
- *in a partitionned building*, ventilation efficiency is depending on air flowrates distribution, i.e. : air change values in each room as a function of time.

This second aspect is addressed in the present paper : a method based on a multizone model simulation results is derived ; this proposed method makes it possible to quantify the efficiency of the different ventilation systems in dwellings.

## **1 - PREAMBULE.**

Un des problèmes de la ventilation des logements tient à l'absence de formulation générale des exigences à satisfaire en matière de qualité de l'air, c'est-à-dire de concentration en polluants et d'humidité de l'air ambiant :

Dans les règlements de construction (en France, l'arrêté du 24 mars 1982 relatif à l'aération des logements), les exigences en matière de qualité de l'air sont souvent formulées en terme de débit minimal de renouvellement d'air à assurer (en permanence, ou en moyenne) dans les différentes pièces. Cette démarche permet, en s'appuyant sur un jeu de normes, de règles de mise en oeuvre et de conception, et de procédures de contrôle, de justifier du respect de la réglementation ; elle présente en contrepartie deux inconvénients :

- elle constitue d'une certaine façon un frein à l'évolution des techniques car elle rend malaisé le développement de solutions innovantes et réglementairement non conformes (rappelons que la ventilation hygroréglable n'a pu voir le jour que grâce à une modification de l'arrêté sur l'aération des logements du 24 mars 1982) ;
- les exigences en matière de renouvellement de l'air étant insuffisamment explicitées, on ne dispose pas des bases sur lesquelles fonder l'amélioration de la conception et du dimensionnement des systèmes.

On comprend donc que le développement de systèmes nouveaux, tels que, pour citer quelques exemples, les systèmes hygroréglables, les entrées d'air avec clapet de non retour ou encore les systèmes de ventilation naturelle avec régulation des débits, doit s'appuyer sur la définition d'exigences en matière de qualité de l'air permettant de quantifier les performances des systèmes.

Dans la pratique, l'appréciation du niveau de performances (c'est-à-dire des déperditions par renouvellement d'air et de la qualité de l'air) ne peut s'effectuer que par un calcul intégrant notamment les caractéristiques aérauliques des composants de ventilation mis en oeuvre. Dans ce qui suit, nous présentons successivement des propositions concernant :

- les modalités d'expression des performances,
- les modalités de calcul permettant d'apprécier le niveau de performance des installations.

## **2 - MODALITES D'EXPRESSION DES PERFORMANCES.**

### **2.1 - Présentation.**

Un système de ventilation est d'autant plus efficace qu'il assure le meilleur compromis entre les déperditions énergétiques par renouvellement d'air et la qualité de l'air intérieur.

Un moyen commode de quantifier l'efficacité d'un système de ventilation consiste à définir une exigence minimale en matière de qualité de l'air et à dimensionner les systèmes considérés de façon à ce que cette exigence soit atteinte. Il est alors possible, pour ce dimensionnement, de calculer les déperditions énergétiques ; les systèmes les plus efficaces seront ceux qui présentent les déperditions énergétiques les plus faibles.

Ce principe de quantification de l'efficacité des systèmes étant posé, nous allons dans les paragraphes qui suivent en expliciter la formulation.

## 2.2 - Analyse - Nécessité d'une approche probabiliste.

### 2.2.1 - PREAMBULE.

L'appréciation de la satisfaction aux exigences en matière de qualité de l'air ne peut s'effectuer que s'il est possible de quantifier au moyen d'indicateurs le niveau de qualité de l'air. Le problème est de nature différente selon que l'on s'intéresse respectivement aux risques de condensation ou à la concentration en polluants pour lesquels on propose deux indicateurs appelés : "*fréquence de condensation*" (cf § 2.3.2) et "*débit fictif équivalent*" (cf § 2.3.1).

### 2.2.2 - NECESSITE D'UNE APPROCHE PROBABILISTE.

Avant de développer ce qu'on entend par ces indicateurs, il est nécessaire de mener une réflexion sur la dispersion des paramètres gouvernant le renouvellement d'air à l'intérieur des locaux. On sait en effet qu'un même système de ventilation donnera des performances très différentes selon la nature de la construction et de l'environnement (conditions météorologiques et conditions d'occupation).

On est donc placé devant l'alternative suivante :

- soit apprécier le comportement d'un système de ventilation en considérant des hypothèses (conditions de chauffage, production de vapeur par les occupants, répartition des défauts d'étanchéité de l'enveloppe,...) conventionnelles et représentatives de la moyenne des situations,
- soit considérer un panel de situations représentatives de la variabilité de ces paramètres et évaluer, pour chacune des situations ainsi considérées, le niveau de qualité de l'air.

Cette deuxième approche qui peut être qualifiée de probabiliste permet de mieux rendre compte des situations possibles, ainsi que nous allons l'illustrer par les deux exemples suivants :

1er exemple : répartition des défauts d'étanchéité.

On sait que, dans les constructions actuelles, les défauts d'étanchéité jouent un rôle important. C'est ainsi que, selon les nombreuses mesures effectuées, les défauts d'étanchéité en maison individuelle correspondent à des passages d'air en moyenne plus importants que les entrées d'air spécifiques.

Si on s'intéresse à présent au dimensionnement optimal des entrées d'air, on peut considérer deux cas extrêmes :

1er cas : les défauts d'étanchéité de l'enveloppe sont uniformément répartis :

Dans ce cas, la présence d'entrée d'air ne permet pas d'assurer une meilleure répartition des débits d'air selon les pièces ; si l'on tient compte par ailleurs de ce que le débits d'air transversal est d'autant plus important que la perméabilité à l'air est plus forte, on voit immédiatement que l'optimum, en terme de rapport *qualité de l'air/déperditions par renouvellement d'air* est atteint lorsqu'il n'y a pas d'entrées d'air spécifiques.

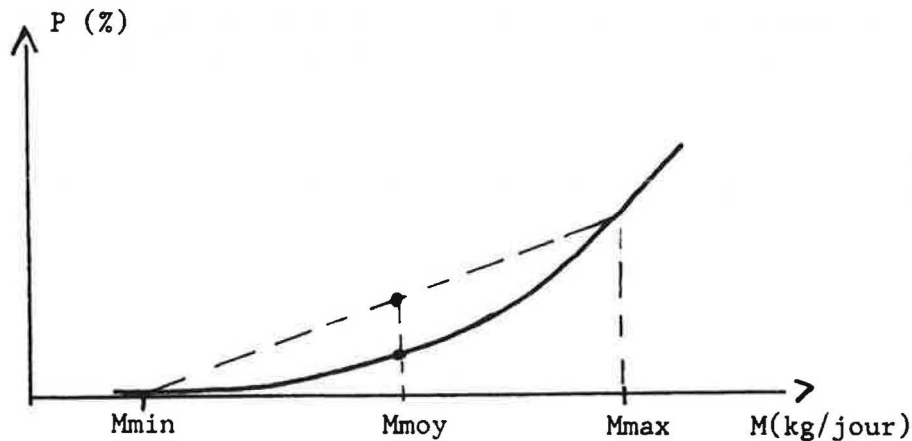
**2nd cas** : les défauts d'étanchéité sont concentrés dans certaines pièces, les autres étant étanches à l'air.

Dans ce cas, le dimensionnement optimum ne peut être nul car alors le taux de renouvellement d'air dans les pièces étanches à l'air serait nul, ce qui conduirait à des concentrations en polluant à la limite infinies et à des probabilités de condensation elles-mêmes importantes : le dimensionnement optimum des entrées d'air est d'autant plus important que les défauts d'étanchéité sont plus importants et mal répartis.

**2ème exemple** : prise en compte de la variabilité des productions d'humidité.

On sait que, selon les conditions d'occupation des locaux, la production d'humidité peut varier de façon importante : les valeurs indiquées dans la littérature varient entre 4 et 15 kg d'eau par jour et par logement.

Dans la première hypothèse (4 kg/jour), la probabilité qu'un système de ventilation donné puisse donner lieu à des condensations entraînant des désordres dans le bâti est faible ou nulle. Dans le second cas, elle est naturellement plus importante, ce qui est illustré par la figure 1.



**Figure 1** : probabilité P de désordres en fonction de la production journalière d'humidité dans un logement, pour un système de ventilation donné.

On peut observer que la loi  $P(M)$  n'est pas linéaire mais forcément concave car, en deçà d'une certaine valeur  $M$ , la probabilité est nulle. On voit immédiatement que la probabilité  $P$ , calculée pour une valeur moyenne  $M_{moy}$  de la production d'humidité, tend à sous-estimer le risque de désordres dû à la condensation.

### 2.3 - Indicateurs de qualité de l'air.

Nous avons proposé que le niveau d'exigence soit quantifié en s'appuyant sur une approche de type probabiliste. Pour cela il convient, en vue de l'utilisation de codes de calcul des mouvements d'air (voir §3), de définir des indicateurs correspondant, l'un à la concentration en polluants, l'autre au risque de condensations.

Nous examinerons successivement chacun de ces deux points en intégrant l'aspect énergétique :

### 2.3.1. - CONCENTRATION EN POLLUANT ET DEPERDITIONS THERMIQUES : NOTIONS DE DEBIT FICTIF EQUIVALENT ET DE DEBIT DEPERDITIF.

#### 2.3.1.1 - Considérations générales.

On sait que les occupants ne réagissent pas de façon linéaire à des expositions différentes à un même polluant. Un exemple en est donné par le monoxyde de carbone pour lequel on peut, suivant la démarche proposée par Roland FAUCONNIER (réf. 8) distinguer :

- une valeur dite à risques limités VRL en deça de laquelle il n'y a pas d'effet perceptible sur la santé des occupants,
- une valeur dite à risques importants VRI qui correspond à de graves effets sur la santé (intoxications aiguës dans le cas du monoxyde de carbone).

Il est proposé, selon cette démarche, de définir un indicateur de qualité de l'air égal à 0 lorsque la concentration est inférieure ou égale à VRL, égal à 1 lorsqu'elle est supérieure ou égale à VRI et variant de façon linéaire entre ces deux valeurs. Toutefois, lorsqu'on s'intéresse à l'efficacité d'un système de ventilation, cette approche se heurte à plusieurs difficultés :

- a) les lois dose-effet qui permettraient de déterminer VRI et VRL sont généralement mal connues. C'est ainsi, pour citer le cas du radon (risque induit : cancer du poumon) que les données épidémiologiques ne permettent actuellement même pas de dire si la loi dose-effet est d'allure linéaire concave ou convexe ; de plus les différentes estimations du niveau de risque varient dans des rapports très importants.
- b) les polluants qu'il convient de prendre en considération (oxydes de carbone, oxydes d'azote, formaldéhydes, radon, émanation des matériaux de construction ou des produits d'entretien,...) sont nombreux et leur émission dépend à l'évidence du type de construction et d'occupation. On manque à peu près totalement de données sur les lois de probabilité.
- c) à chaque polluant correspond un indicateur de pollution. Si l'on souhaite agréger ces indicateurs de façon à obtenir une valeur unique, on voit que cela revient implicitement à retenir des hypothèses sur le poids respectif de chaque polluant du point de vue des conséquences sur la santé des occupants, ce qui est bien sûr très discutable :

A titre d'exemple, l'hypothèse simple consistant à prendre la moyenne arithmétique reviendrait à considérer que chaque polluant exerce le même effet sur la santé.

- d) On sait qu'il peut y avoir synergie entre certains polluants par exemple la fumée de tabac et le radon.

Pour toutes ces raisons, l'approche par polluant, qui serait, au demeurant, d'une grande complexité, nous semble mal adaptée à l'appréciation de la qualité des systèmes de ventilation, et nous proposons de lui substituer une approche plus simple fondée sur la notion de débit fictif équivalent :

### 2.3.1.2 - Polluant virtuel - Notion de débit fictif équivalent.

Compte-tenu des difficultés signalées plus haut la seule approche possible nous semble être de raisonner sur un polluant virtuel représentatif de l'ensemble des polluants présents dans le logement et de caractériser un système de ventilation par la quantité de polluant inhalé tout au long de l'année par les occupants, ce qui, notons le, revient à admettre la linéarité de la loi dose-effet.

Dans la pratique, il convient, pour effectuer les calculs, de se donner des scénarios concernant :

- la présence des occupants,
- le flux de polluant virtuel émis dans chaque pièce au cours du temps.

L'indicateur est dans ces conditions la quantité de polluant inhalée par l'ensemble des occupants sur toute la saison de chauffage. Il paraît toutefois préférable de raisonner en terme de débit fictif équivalent, c'est-à-dire, pour formuler les choses en termes simples, du débit supposé constant tout au long de l'année, qui, toutes choses égales par ailleurs, conduirait à la même quantité de polluant inhalé.

### 2.3.1.3 - Notion de débit déperditif Q<sub>d</sub>.

Le débit fictif équivalent permet de caractériser la qualité de l'air en moyenne spatiale et annuelle. On peut, de la même façon, caractériser les déperditions par renouvellement d'air en ayant recours à la notion de débit déperditif : Le débit déperditif Q<sub>d</sub> est le débit d'air, *supposé constant tout au long de l'année*, quittant le logement, qui conduirait aux mêmes déperditions par renouvellement d'air que les débits réels.

### 2.3.1.4 - Notion d'efficacité $\epsilon$

Un système de ventilation, considéré dans un environnement donné (conditions météorologiques, occupation,...), sera d'autant plus efficace que le débit déperditif Q<sub>d</sub> est faible et que le débit fictif équivalent Q<sub>fe</sub> est important. On peut alors rendre compte de l'efficacité du système par le rapport Q<sub>fe</sub>/Q<sub>d</sub>, noté  $\epsilon$ .

### 2.1.3.5 - Exemples.

Les notions de débit fictif équivalent, débit déperditif et efficacité sont explicitées plus loin. Pour fixer les idées nous donnons dès à présent deux exemples dans des cas simples :

#### 1er Exemple :

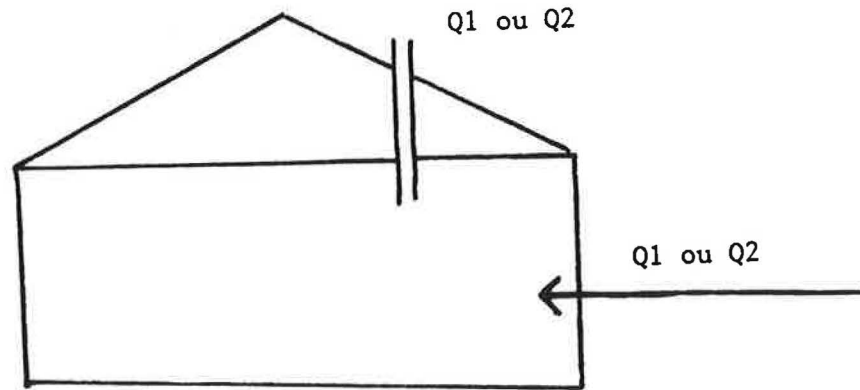
Si on considère une installation de ventilation (voir figure 2) dont le débit extrait ne peut prendre que deux valeurs Q<sub>1</sub> et Q<sub>2</sub>, chacune pendant la moitié du temps, on montre, sous certaines hypothèses (production de polluant constante, température extérieure constante,...), que le débit fictif équivalent Q<sub>fe</sub> est donné par :

$$Q_{fe} = \frac{2}{\frac{1}{Q_1} + \frac{1}{Q_2}} \quad (1)$$

Le débit déperditif est égal à la moyenne arithmétique entre Q<sub>1</sub> et Q<sub>2</sub> :

$$Q_d = \frac{Q_1 + Q_2}{2}$$

L'efficacité est donc égale à :



**Figure 2** : Cas d'un bâtiment comportant une seule pièce avec débit variable.

$$\mathcal{E} = \frac{Q1 \cdot Q2}{(Q1 + Q2)^2}$$

Autrement dit, le débit fictif équivalent est toujours inférieur à la moyenne arithmétique des débits  $Q1$  et  $Q2$  ; il n'est égal à cette moyenne que lorsque  $Q1$  et  $Q2$  sont égaux ; l'efficacité du système est alors égale à l'unité :

2ème Exemple :

Si on considère l'installation de ventilation représentée à la fig. 3, on peut sous certaines hypothèses (débits  $Q1$  et  $Q2$  constants, température extérieure constante, production de polluant constante et présence d'une personne en permanence dans chaque pièce) calculer les débits  $Q_{fe}$  et  $Q_d$  :

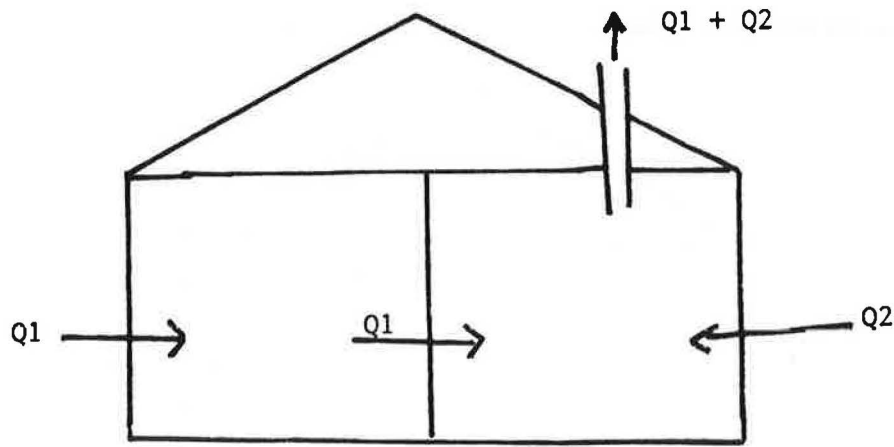
$$Q_{fe} = \frac{4}{\frac{1}{Q1} + \frac{2}{Q1 + Q2}}$$

$$Q_d = \frac{Q1 + Q2}{2}$$

$$\mathcal{E} = \frac{4}{\frac{Q1 + Q2}{Q1} + 2}$$

On peut alors montrer que la valeur maximale de l'efficacité ( $\mathcal{E} = 1,3$ ) est obtenue pour un débit  $Q2$  nul.

*Il nous paraît particulièrement intéressant d'observer que le schéma d'écoulement d'air ainsi obtenu correspond au principe de ventilation général retenu par la réglementation française (absence d'entrée d'air dans les pièces de service et ventilation du logement par balayage).*



**Figure 3** : Cas d'un bâtiment comportant deux pièces avec débits constants.

2.3.1.6 - *Formulation.*

2.3.1.6.1 - *Notations.*

$t$	(h)	Temps.
$P_i(t)$	(g/h)	Production de polluant à l'instant $t$ dans la pièce $i$ .
$P(t)$	(g/h)	Idem pour l'ensemble du logement.
$C_i(t)$	(g/m <sup>3</sup> )	Concentration en polluant à l'instant $t$ dans la pièce $i$ .
$n_i(t)$	(-)	Nombre de personnes présentes à l'instant $t$ dans la pièce $i$ .
$n(t)$	(-)	Idem pour l'ensemble du logement.
$k$	(m <sup>3</sup> /h)	Volume d'air inhalé en 1 heure par un occupant moyen.
$Q(t)$	(m <sup>3</sup> /h)	Débit total d'air neuf pénétrant dans le logement à l'instant $t$ .
$Da$	(W.h)	Déperditions par renouvellement d'air durant la période de chauffage.
$Q_d$	(m <sup>3</sup> /h)	Débit déperditif
$T_{ext}(t)$	(°C)	Température extérieure.
$T_i$	(°C)	Température intérieure du logement, supposée constante.
$Q_a$	(g)	Quantité de polluant inhalé par l'ensemble des occupants durant la saison de chauffage.
$Q_{fe}$	(m <sup>3</sup> /h)	Débit fictif équivalent.
$NH$	(-)	Nombre d'heures de la saison de chauffage.
$\epsilon$	(-)	Efficacité du système.



2.3.1.6.2 - Expression de  $Q_a$  et  $D_a$ .

$$Q_a = k \cdot \sum_i \int C_i(t) \cdot n_i(t) \cdot dt \quad (2)$$

$$D_a = 0,34 \cdot \int Q(t) \cdot (T_i - T_{ext}(t)) \cdot dt \quad (3)$$

(Dans ces expressions et les suivantes, l'intégrale est étendue à toute la saison de chauffage la somme à l'ensemble des pièces constitutives du logement).

2.3.1.6.3 - Expression du débit fictif équivalent  $Q_{fe}$ , du débit déperditif  $Q_d$  et de l'efficacité .

Les expressions ci-dessus permettent de calculer les déperditions d'énergie et la quantité de polluant inhalée durant la saison de chauffage par les occupants.

Il peut toutefois paraître plus commode et plus parlant d'exprimer ces grandeurs en ayant recours aux notions de débit fictif équivalent et débit déperditif :

• *Le débit fictif équivalent,  $Q_{fe}$ , est le débit d'air neuf qui, dans les conditions idéales suivantes :*

- débit extrait égal en permanence à  $Q_{fe}$ ,
- uniformité de la concentration en polluants, notée  $C(t)$  entre les différentes pièces, atteinte en admettant qu'il y a un brassage d'air parfait (portes intérieures ouvertes),
- la production de polluant  $P(t)$  varie de façon suffisamment lente devant le temps de séjour de l'air dans le logement ce qui permet d'écrire :  $C(t) = P(t) / Q_{fe}$ ,

donnerait lieu à la même quantité de polluant  $Q_a$  inhalée que le système de ventilation considéré.

Compte tenu de cette définition on obtient immédiatement l'expression de  $Q_{fe}$  :

$$Q_{fe} = \frac{\int P(t) \cdot n(t) \cdot dt}{\sum_i \int C_i(t) \cdot n_i(t) \cdot dt} \quad (4)$$

On peut noter que le débit  $Q_{fe}$  est d'une utilisation plus commode dans la mesure où il s'exprime en une unité " *parlante* " : le  $m^3/h$ , et où il ne fait intervenir ni le coefficient  $k$  ni la nature du polluant considéré,

• *Le débit déperditif est défini ci-dessus (§ 2.3.1.3). Il a pour expression :*

$$Q_d = \frac{\int Q(t) \cdot (T_i - T_{ext}(t)) \cdot dt}{\int (T_i - T_{ext}) \cdot dt}$$

. L'efficacité est égale au rapport des deux quantités :

$$\varepsilon = \frac{Q_{fe}}{Q_d}$$

### 2.3.1.7 - Exemple d'application.

Nous illustrons les possibilités d'utilisation de la démarche proposée en considérant le problème simple suivant :

**Problème :** Déterminer dans le cas d'un logement comportant une seule pièce habitable avec production de polluant et occupation constants, la caractéristique optimale d'un système d'extraction asservi à la température extérieure (on ne tient pas compte de la ventilation transversale en cas de vent).

**Analyse :** On note  $Q(\text{Text})$  la loi d'asservissement du débit extrait  $Q$  en fonction de la température extérieure et  $f(\text{Text})$  la densité de probabilité durant la saison de chauffage de la température extérieure.

Dans ces conditions les expressions de  $Q_{fe}$  et  $Da$  sont les suivantes :

$$Q_{fe} = \frac{1}{\int \frac{f(\text{Text})}{Q(\text{Text})} \cdot d \text{Text}} \quad (5)$$

$$Da = 0,34 \cdot NH \cdot \int Q(\text{Text}) \cdot (T_i - \text{Text}) \cdot f(\text{Text}) \cdot d \text{Text} \quad (6)$$

### Interprétation :

Suivant le principe proposé (cf § 2.1) le système de ventilation le plus efficace est celui, à qualité de l'air donnée, c'est-à-dire pour une valeur  $Q_{fe}$  donnée, conduit aux déperditions  $Da$  les plus faibles.

Le problème se ramène donc à la recherche de la fonction  $Q(\text{Text})$  permettant de minimiser l'expression (6) sous la contrainte (5) :

$$\int \frac{f(\text{Text})}{Q(\text{Text})} \cdot d \text{Text} = \frac{1}{Q_{fe}}$$

On voit donc que, pour une exigence donnée  $Q_{fe}$  en matière de qualité de l'air, la recherche de la stratégie optimale, c'est-à-dire de la loi donnant le débit extrait  $Q$  en fonction de la température extérieure  $\text{Text}$  se ramène à la résolution d'équations intégrales. La solution dépend de la loi retenue pour la densité de probabilité  $f(\text{Text})$  ; cette solution devra, dans le cas général, être cherchée par des méthodes numériques.

Toutefois, on peut sous certaines conditions obtenir une solution analytique : par exemple, si la température intérieure est supposée égale à 20°C en permanence, et la température extérieure à 0°C la moitié du temps et 10°C l'autre moitié, on peut montrer que l'efficacité optimale dans le cas d'un logement comportant une seule zone avec production de polluant constante, est obtenue lorsque le débit extrait pour  $\text{Text} = 10^\circ\text{C}$  est 1,414 fois plus important que celui pour  $\text{Text} = 0^\circ\text{C}$ .

### **2.3.2 - EVALUATION DE LA FREQUENCE DE CONDENSATIONS.**

Il existe peu de données permettant de relier la probabilité de désordres dus à la condensation au taux d'humidité de l'air à l'intérieur du logement. On propose alors d'évaluer le risque de désordres dus à la condensation en quantifiant la fraction du temps durant laquelle il y a condensation sur la face interne d'une paroi, supposée sans inertie thermique, donnant sur l'extérieur, et dont le coefficient de transmission thermique est pris égal à une valeur de référence, par exemple  $K : 3 \text{ W/m}^2\text{°C}$ .

La fréquence des condensations ne sera calculée que durant les périodes où la température de l'air extérieur est inférieure à la température intérieure diminuée de  $2^\circ\text{C}$  pour tenir compte des apports gratuits, soit  $17^\circ\text{C}$ . On peut en effet admettre que, dans le cas contraire, la température du logement est supérieure à la valeur de consigne  $19^\circ\text{C}$  ; le calcul ne peut alors plus s'effectuer correctement.

## **3 - MODALITES DE CALCUL.**

### **3.1 - Considérations générales.**

L'appréciation du niveau de performances ne peut, en pratique, s'effectuer que par l'utilisation d'un code de calcul permettant de quantifier sur toute la saison de chauffage les déperditions énergétiques par renouvellement d'air ainsi que le niveau de qualité d'air obtenu.

Ce code de calcul doit être établi en retenant certains hypothèses concernant les paramètres suivants :

- plan du logement,
- coefficients de pression du vent en façade,
- données météorologiques,
- défauts d'étanchéité à l'air du logement, et répartition de ces défauts d'étanchéité,
- scénario d'occupation du logement (production de vapeur d'eau),
- mouvements d'air entre pièces dus à l'ouverture des portes intérieures,
- température de consigne de chaque pièce,
- migrations d'humidité dans les matériaux,
- scénario d'ouverture des fenêtres et de fonctionnement de la ventilation à grande allure,
- production de polluants.

Ces hypothèses doivent donner, pour chacun de ces paramètres des valeurs de référence représentatives de la moyenne des situations et pour certains d'entre eux d'autres valeurs correspondant à des situations extrêmes. En effet, comme indiqué plus haut (cf § 2 ), l'approche de type probabiliste qui est retenue conduit à définir un certain nombre de cas représentatifs de la diversité des situations. Nous proposons, dans une première approche, d'envisager les sept cas suivants :

- 1<sup>er</sup> cas : Valeurs de référence pour tous les paramètres.
- 2<sup>ème</sup> cas : Valeurs de référence, sauf :  
 - fichiers météorologiques correspondant à une zone ventée,  
 - mauvaise répartition des défauts d'étanchéité.
- 3<sup>ème</sup> cas : Valeurs de référence, sauf :  
 - température de consigne : valeur minimale,  
 - portes intérieures fermées.
- 4<sup>ème</sup> cas : Valeurs de référence, sauf :  
 - production de vapeur d'eau élevée,  
 - portes intérieures fermées,  
 - mauvaise répartition des défauts d'étanchéité.
- 5<sup>ème</sup> cas : Valeurs de référence, sauf :  
 - faible valeur des migrations d'humidité,  
 - fichier météorologique correspondant à une zone ventée.
- 6<sup>ème</sup> cas : Valeurs de référence, sauf :  
 - fichier météorologique correspondant à une zone humide,  
 - production de vapeur d'eau élevée.
- 7<sup>ème</sup> cas : Valeurs de référence, sauf :  
 - portes intérieures fermées,  
 - forte valeur des défauts d'étanchéité.

### 3.2 - Calcul des indicateurs de qualité de l'air.

Pour chacun des sept cas considérés, on peut (cf § 2.3) déterminer à l'issue des calculs un débit fictif équivalent  $Q_{fe}$  et une fréquence de condensation  $f_c$ .

On propose, dans un premier temps de caractériser le système de ventilation par la moyenne arithmétique, notée  $Q_{fe}$  et  $f_c$ , de chacun de ces deux indicateurs, et, dans un second temps d'agréger ces indicateurs en un indicateur unique, noté  $I$ , pour lequel on propose l'expression :

$$I = \frac{2}{\frac{Q_{feo}}{Q_{fe}} + \frac{f_c}{f_{co}}}$$

où  $Q_{feo}$  et  $f_{co}$  sont les valeurs correspondant au système de référence défini plus loin (§ 3.3).

On notera que l'indicateur  $I$  est défini de façon à ce que sa valeur soit égale à l'unité pour le système de référence.

### 3.3 - Détermination des valeurs de référence.

On propose de déterminer les valeurs de référence  $Q_{feo}$  et  $f_{co}$  en considérant un système de ventilation de référence qui serait une ventilation mécanique double flux avec insufflation d'air dans les pièces principales (30 m<sup>3</sup>/h dans la première et 15 m<sup>3</sup>/h dans chacune des autres pièces) et extraction d'air dans les pièces de service.

## 4 - CONCLUSIONS.

### 4.1 - Synthèse.

L'efficacité d'un système de ventilation est son aptitude à assurer un certain niveau de qualité de l'air intérieur, avec des déperditions par renouvellement d'air aussi faibles que possible. Nous avons proposé une méthode de quantification de cette efficacité reposant sur l'exploitation d'un code de calcul des mouvements d'air et dont les grandes lignes sont les suivantes :

- 1° Définition d'un système de ventilation de référence (système double flux : cf § 3.3).
- 2° Définition d'un indicateur de qualité d'air,  $I$ , intégrant les probabilités de condensation et la concentration en polluants. Cet indicateur se détermine par utilisation d'un code de calcul tenant compte des caractéristiques du système de ventilation et en adoptant une approche statistique c'est-à-dire en considérant plusieurs situations différentes (cf § 3.1).

Pour l'appréciation de la concentration en polluants, on a considéré un polluant virtuel, ce qui permet, en ayant recours à la notion de débit fictif équivalent, (cf § 2.1.3), d'exprimer les résultats de façon indépendante de la nature du polluant.

- 3° Définition d'une exigence concernant les systèmes de ventilation.

Pour définir un seuil de qualité minimum des différents systèmes de ventilation, il suffit de se fixer une valeur minimale,  $I_0$ , de l'indicateur de qualité de l'air, par exemple  $I_0 = 0,5$ .

- 4° Dimensionnement des systèmes de ventilation.

Si on désire satisfaire l'exigence ci-dessus pour un système de ventilation donné, il suffit d'ajuster le dimensionnement du système pour que l'indicateur de qualité  $I$  prenne la valeur  $I_0$ .

On peut alors, par utilisation du même code de calcul, déterminer les déperditions par renouvellement d'air correspondant à ce dimensionnement.

Les stratégies de ventilation présentant la meilleure efficacité seront celles qui permettront d'atteindre la valeur  $I_0$  avec des déperditions par renouvellement d'air aussi faibles que possible.

### 4.2 - Conclusion générale.

La démarche proposée ci-dessus devrait permettre de quantifier selon un critère unique l'efficacité des différents principes de ventilation, quels qu'ils soient : mécanique, naturelle, hygroréglable,...

Il ne s'agit que d'une première proposition destinée à servir de support de discussion avec les professions et demandant à être précisée, notamment pour ce qui concerne les hypothèses de calcul et les différentes situations envisagées (§ 3.1).

