

N.T. 86.26

GESTION DE L' AIR

SYNTHESE DES TRAVAUX DES JOURNEES TECHNIQUES "VENTILATION ET RENOUVELLEMENT D' AIR"

VALBONNE 10 et 11 juin 1986

S. BECIRSPAHIC

juillet 1986

AVANT PROPOS

La gestion de l'air dans les locaux d'habitation ou à usage tertiaire ou industriel, constitue l'un des points clefs de la maîtrise de l'énergie dans le bâtiment. Les principaux thèmes qui se rattachent à la gestion de l'air sont :

- Le chauffage ou la climatisation aéraulique.
- La ventilation et le renouvellement d'air contrôlé ou non.

C'est sur ce deuxième point qu'un groupe de travail composé du CETE de Lyon, du CETIAT, du COSTIC, du CSTB et du LNE s'est constitué, dans le but de coordonner l'activité dans ce domaine. Pour permettre la mise en place d'un programme de travaux cohérent, une réunion a été organisée par l'AFME les 10 et 11 juin 1986 à VALBONNE.

Les exposés techniques destinés à dresser l'état de connaissances sur les principaux thèmes ont été présentés.

Les éléments du programme de recherche ont pu ensuite être établis. Les principales conclusions tirées de ces deux journées sont présentées dans ce document de synthèse.

1 - BESOINS DE VENTILATION

Le renouvellement d'air dans un bâtiment est indispensable pour le confort, l'hygiène et la sécurité des occupants et pour la conservation du bâti. L'homme avec son activité est une source importante de divers polluants : l'apport d'air neuf permet la dilution de ces polluants pour maintenir leur concentration au-dessous d'un niveau acceptable.

La connaissance des caractéristiques et du taux de production des principaux polluants représente un sujet important de recherche. Ce sont essentiellement la vapeur d'eau, les odeurs, les produits de combustion, la fumée du tabac, le formol-déhyde, le radon, les micro-organismes et les composés organiques. Certains de ces polluants peuvent être éliminés ou contrôlés par d'autres moyens, mais la ventilation reste la méthode principale la plus largement utilisée.



2 - TYPOLOGIE DES SYSTEMES DE VENTILATION

En France, les techniques de ventilation sont étroitement liées à la réglementation en vigueur. Il est ainsi possible de marquer quelques dates importantes

- en 1937 obligation d'installer une entrée d'air.
- en 1958 ventilation par pièces séparées.
- en 1969 extraction par pièces de service (naturelle ou VMC).
- en 1982 possibilité de modulation des débits.

Actuellement, on considère que 90% de logements collectifs sont équipés d'une ventilation mécanique. Trois types de ventilation mécanique contrôlée existent : traditionnelle, hygroréglable et double-flux. En ventilation naturelle il faut signaler l'importance des aspirateurs statiques.

De nombreux systèmes sont en étude ou en expérimentation :

- bouches hygroréglables ou clapet modérateur en ventilation naturelle pour les vents forts.
- fenêtres parieto-dynamiques.
- entrées d'air avec un clapet de non-retour.
- ventilation mixte.
- modulation par un paramètre autre que l'humidité (CO_2 , température extérieure, pression).

D'autres appareils largement utilisés ont une influence sur la ventilation et posent quelquefois des problèmes difficiles. Ce sont par exemple :

- aérateurs,
- cheminées à foyer ouvert,
- vides d'ordures,
- appareils à gaz non raccordés,
- appareils à gaz raccordés.

La qualification des composants des systèmes de ventilation comprend la détermination de plusieurs paramètres importants :

- caractéristiques de fonctionnement,
- uniformité de fabrication,
- vieillissement,
- résistance à l'encrassement.

En ce qui concerne les caractéristiques de fonctionnement, les moyens d'essais existent pour les entrées d'air, les bouches d'extraction, les ventilateurs en caisson et les ensembles simple flux pour les maisons individuelles. Les normes d'essais pour les conduits souples, les aspirateurs statiques et les ensembles double flux sont en préparation.

On constate toutefois que les normes ne sont pas suffisamment utilisées.

Plusieurs raisons expliquent ce phénomène : relative complexité de certaines méthodes et donc le coût élevé, manque d'obligation pour les constructeurs. On reproche également à certaines normes de ne pas fournir toutes les informations nécessaires (par exemple : pour les entrées d'air la caractéristique à débit inversé est indispensable pour les calculs mais sa détermination n'est pas prévue dans la norme).

La perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment est une caractéristique extrêmement importante. On ne peut le déterminer qu'expérimentalement sur le site et les résultats ne peuvent être présentés que sous une forme statistique. Les essais systématiques par la méthode de préssurisation sur un grand nombre de maisons ont montré l'existence de nombreux défauts d'étanchéité; ainsi on peut estimer que la perméabilité due aux défauts représente 67% du total pour une maison individuelle et 55% pour un logement en collectif.

Les améliorations techniques apportées depuis une vingtaine d'années dans le domaine de la ventilation sont indiscutables mais il semble qu'elles soient souvent très mal comprises par les usagers.

Les études sociologiques permettent de comprendre le comportement des occupants d'un logement; il paraît important de concevoir des systèmes en tenant compte de leurs souhaits conscients ou inconscients. Ainsi, la possibilité de contrôler un système, de pouvoir l'arrêter si l'on souhaite, est très importante. La fréquence des ouvertures des fenêtres, très mal connue actuellement, est un exemple des problèmes qui doivent être traités conjointement par des techniciens et par des sociologues.

3 - METHODES EXPERIMENTALES

3.1 BUTS RECHERCHES.

Deux caractéristiques distinctes d'un bâtiment peuvent être déterminées à l'aide de diverses méthodes expérimentales :

- perméabilité à l'air de l'enveloppe,
- taux de renouvellement d'air.

La perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment se détermine en mettant artificiellement l'immeuble en dépression ou en surpression et en mesurant par un moyen approprié le débit d'air échangé. Les différences de pressions utilisées sont habituellement suffisamment élevées pour que les moteurs normaux d'infiltration (effet du vent et tirage thermique) puissent être négligés. La perméabilité à l'air est donc une caractéristique de l'enveloppe, indépendante de l'emplacement de l'immeuble et des conditions météorologiques.

Le taux de renouvellement d'air se détermine à l'aide d'un gaz traceur dont on suit la variation de concentration dans les conditions réelles régnant au moment de mesures.

Les essais doivent être répétés sur une longue période avec des conditions météorologiques différentes pour permettre la détermination d'un taux de renouvellement d'air moyen.

3.2 DETERMINATION DE LA PERMEABILITE A L'AIR.

La détermination de la perméabilité à l'air de l'enveloppe d'un bâtiment par pressurisation ou dépressurisation est couramment utilisée dans le monde.

Les normes d'essai existent dans de nombreux pays (ASTM E779-81 aux Etats-Unis, SS 02 1551 en Suède, NS 8200 en Norvège, CS 149-6P au Canada etc...) La méthode est employée en France par le CSTB et le CETE.

Un ventilateur est installé sur une ouverture aménagée sur l'enveloppe du bâtiment (généralement à l'aide d'une fausse porte) et son débit est réglé de telle façon que la différence des pressions entre l'intérieur et l'extérieur atteigne une valeur voulue. Pour minimiser l'influence des conditions météorologiques cette différence est choisie entre 10 et 100 Pa ; généralement, pour maintenir la précision de mesures adéquate, on travaille entre 40 et 100 Pa.

La perméabilité à l'air est une caractéristique très utile pour l'évaluation de la qualité d'une construction ; l'étanchéité relative (par rapport aux autres bâtiments du même type) et les défauts de réalisation peuvent être fournis

Cependant il ne faut pas perdre de vue qu'il n'y a pas de moyen direct pour convertir la perméabilité au taux de renouvellement d'air. Cela provient essentiellement de deux raisons :

a) - les pressions ou dépressions utilisées sont très supérieures aux valeurs normales ; il est donc indispensable de faire des extrapolations vers les faibles valeurs de pression ce qui introduit des hypothèses nécessitant une validation expérimentale.

b) - les différences de pression générées par le vent ou par le tirage thermique ne sont pas uniformes sur toute l'enveloppe ; or avec la pressurisation on applique la même partout.

La méthode expérimentale, relativement simple à mettre en oeuvre et appliquée largement dans le monde, ne semble pas poser des problèmes. Cependant une uniformisation des prescriptions aussi bien pour la France que sur le plan international est nécessaire pour pouvoir établir des comparaisons fiables entre les caractéristiques de bâtiments obtenues par des expérimentateurs différents. Enfin l'extrapolation des courbes obtenues et l'utilisation de ces renseignements dans les modèles de calcul devraient être étudiés et si possible normalisés.

Dans le but d'éviter certains des problèmes indiqués des méthodes originales ont été mises au point, mais elles ne semblent pas encore donner la satisfaction espérée. Il s'agit essentiellement des méthodes acoustiques soit à infrason (variation du volume de l'immeuble à l'aide d'un gros piston avec des fréquences de l'ordre de 0,1 à 10 Hz) soit à haute fréquence (niveau du son détecté étant fonction de la perméabilité)

Autant la méthode en infra-son paraît à priori séduisante, autant il paraît difficile à plus haute fréquence de relier de manière bi-univoque, la perméabilité du logement et l'atténuation acoustique.

3.3 DETERMINATION DU TAUX DE RENOUVELLEMENT D'AIR.

Le taux de renouvellement d'air d'un bâtiment ne peut actuellement être déterminé qu'à l'aide d'un gaz traceur.

Ce principe général englobe une variété de méthodes utilisables, chacune présentant des avantages et des défauts. On distingue trois méthodes de base :

a) - Mesure de décroissance de concentration.

On injecte très rapidement un certain volume du gaz traceur, on mesure une concentration initiale et on suit la variation de la concentration dans le temps.

b) - Méthode à concentration constante.

On injecte en continu un débit de gaz traceur régulé de telle façon que la concentration dans le volume reste constante.

c) - Méthode à débit constant.

On injecte en continu un débit constant du gaz traceur et on mesure la variation de la concentration.

La méthode à concentration constante est la seule qui fournit une valeur instantanée du taux de renouvellement d'air ; or elle exige un équipement plus compliqué et des soins particuliers.

Les principales sources d'erreurs dans toutes les méthodes, se trouvent dans l'injection du gaz traceur, et le prélèvement d'échantillons pour l'analyse. Pour obtenir un mélange adéquat, on peut injecter le gaz en plusieurs endroits simultanément ou utiliser un ventilateur brasseur d'air. Toutefois d'après certains rapports, le taux de renouvellement d'air augmente lorsqu'on utilise les brasseurs. Le prélèvement présente un nombre important des sources d'erreurs possibles : la représentativité de l'échantillon, le défaut d'étanchéité de la ligne, la réaction du gaz avec divers composants, la diffusion et l'absorption du gaz, la sensibilité de l'analyseur à la variation de facteurs tels que pression, température, humidité etc..

Le choix du gaz et de l'analyseur apparaît donc très important.

Trois gaz traceurs sont le plus couramment utilisés : protoxyde d'azote, hexafluorure de soufre et hélium. Chacun présente un certain nombre d'avantages et de défauts.

La validation de la méthode expérimentale n'est pas facile car on ne peut pas faire un simple étalonnage. Le meilleur moyen est la comparaison des résultats obtenus en effectuant des essais simultanément avec des systèmes de mesure complètement indépendants.

Peu de travaux de ce type ont été publiés jusqu'à présent : certains phénomènes inquiétants ont été pourtant constatés.

Dans une étude on a trouvé, par exemple, un taux de renouvellement d'air systématiquement plus élevé avec le hexafluorure de soufre qu'avec les autres gaz. Il n'y a pas actuellement d'explication satisfaisante pour cet écart.

L'interprétation des résultats de mesure devient particulièrement difficile lorsqu'un bâtiment est divisé en plusieurs cellules interconnectées par des cloisons intermédiaires, ce qui est en fait la situation la plus courante.

Si l'on détermine le renouvellement d'air dans chaque pièce séparément, on ne fait pas distinction entre l'apport d'air frais extérieur et les déplacements de l'air entre les pièces.

Il semble que la méthode consistant à utiliser plusieurs traceurs et à fonctionner à concentration constante est particulièrement bien appropriée pour ce problème. Or, dans l'état actuel de technologie, cette méthode devient extrêmement lourde.

La recherche des méthodes plus simples s'effectue activement dans le monde. Ainsi en utilisant des hydrocarbures perfluorés (PFT), on peut prendre les échantillons à l'aide des collecteurs passifs pour l'analyse ultérieure en laboratoire.

Les gaz différents peuvent être employés simultanément. La méthode semble bien adaptée pour les mesures à long terme mais d'autres recherches sont nécessaires pour évaluer sa validité pour la détermination de renouvellement d'air dans les conditions réelles.

4 - MODELISATION ET SIMULATION.

La détermination complète de l'efficacité d'un système de ventilation peut s'effectuer expérimentalement sur le site même mais les moyens qui doivent être mis en oeuvre sont lourds. La variation imprévisible des conditions extérieures rend très difficile une évaluation comparative des procédés de ventilation.

La simulation des systèmes au sein de leur enveloppe à l'aide de modèles physiques permet un examen rapide de l'influence de nombreux paramètres.

Un des phénomènes les plus complexes à modéliser est le renouvellement d'air : or les techniques de calcul se sont rapidement développées ces dernières années et des progrès incontestables ont été réalisés. Cet extraordinaire développement rend presque caduc le classement suivant le type, souvent indiqué dans la littérature. On peut par exemple classer les modèles en quatre catégories

a) - Estimation basée sur l'expérience passée.

Il ne s'agit pas à proprement parler d'un modèle de calcul mais plutôt d'une sélection de valeurs toute faite à utiliser telle quelle. On présente des valeurs statistiques provenant des mesures sur un grand nombre de maisons d'un type donné et en climat donné.

b) - Modèles empiriques.

Pour un site donné, les mesures systématiques fournissent une quantité importante de données. Une corrélation peut alors être faite entre le taux de renouvellement d'air d'un côté et le vent et la différence des températures de l'autre. Or, actuellement ce type de corrélation a une utilisation limitée et insuffisamment validée.

c) - Modèles mathématiques traitant tout le bâtiment comme un volume unique.

Certains modèles très élaborés ont été développés ces dernières années. Leur défaut principal est cette supposition que tout le volume se trouve à la même pression. On ne peut donc les appliquer que dans certains cas.

d) - Modèles mathématiques traitant le bâtiment comme un volume multiple.

Ces modèles tiennent compte des résistances internes du bâtiment. Ils sont forcément très complexes et exigent une quantité importante d'informations concernant l'écoulement et les répartitions des pressions. Cette complexité rend souvent injustifiée leur utilisation dans les cas relativement simples. Or, ils permettent l'étude complète de leur utilité principale dans les problèmes de gestion de l'air (efficacité de ventilation, transport des particules ou des germes dans les hopitaux, distribution de fumée en cas d'incendie).

De nombreux modèles ont été mis au point dans le monde. En France, on peut identifier sept modèles de simulation comportant un calcul d'infiltration d'air.

a) - UTI - DR (R. Fauconnier).

C'est un modèle multi-zone qui peut être utilisé de manière autonome en régime permanent ou intégré dans deux programmes de simulation plus complexes en régime varié.

b) - E.D.F. (C. Nicolas).

C'est un modèle, appelé CLIM, simulant en régime transitoire la thermique d'un bâtiment découpé en modules.

c) - INSA - Lyon (A. Roldan - G. Achard)

C'est un modèle multi-zone intégré dans un ensemble plus complexe de simulation thermique du bâtiment.

d) - CSTB - Sophia - Antipolis (L. Bourdeau - R. Pelletret).

C'est un modèle multi-zone également intégré dans un ensemble plus complexe de simulation thermique du bâtiment.

e) - CSTB - Champs-sur-Marne (D. Bienfait - F. Lalba).

C'est un modèle spécialement développé pour l'évaluation de ventilation hygroréglable, mais un élargissement du domaine d'application est en cours.

f) - GDF - DETN (Ph. Bertin).

C'est un modèle multi-zone faisant partie d'un code de simulation du comportement des bâtiments et des équipements en régime varié (RIGEL).

g) - COSTIC (P. Valton).

C'est un modèle multi-zone développé pour la détermination des déperditions dues à la ventilation et pour la simulation et optimisation des systèmes de distribution d'air.

La vérification expérimentale est la seule méthode valable permettant de s'assurer de la validité d'un modèle. Or, cette vérification n'est pas simple pour plusieurs raisons.

D'abord, le résultat produit par un modèle, c'est-à-dire le taux de renouvellement d'air d'un bâtiment donné est entaché d'erreurs provenant de trois sources :

- erreurs de mesure ou de supposition concernant les grandeurs de base telle que la vitesse du vent.

- erreurs de transposition de ces grandeurs de base, aux grandeurs utilisées dans les modèles tels que les coefficients de pression. Il faut signaler qu'un important travail a déjà été effectué par le CSTB en ce qui concerne le vent et le calcul des pressions exercées sur un bâtiment en fonction de sa forme et son orientation, l'environnement, de la rugosité du sol.

- erreurs produites par le modèle même caractérisant la qualité du modèle proposé.

Ensuite, ce résultat de calcul doit être comparé au résultat de mesure qui est lui-même entaché d'erreurs expérimentales.

5 - CONCLUSIONS.

Un programme de recherche a été dégagé et les sujets d'étude concrets ont été classés en quatre catégories.

a) - Besoin en air neuf.

Il s'agit des travaux essentiellement bibliographiques mais comportant également des études expérimentales. L'identification et la caractérisation des polluants (la production dans l'espace et dans le temps, la diffusion, le taux de dilution acceptable) seront effectuées en gardant en esprit, trois aspects importants : hygiène, sécurité et conservation du bâti.

b) - Systèmes de ventilation.

Pour pouvoir concevoir et optimiser une installation de ventilation, il faut :

- disposer d'une méthode de calcul normalisée.
- connaître les caractéristiques des fonctionnements des composants (cela suppose que les normes d'essai applicables soient établies).
- connaître les coefficients de pertes d'énergie mécanique des conduits aérauliques et de divers accessoires (un catalogue sera établi pour les éléments les plus courants.)
- pouvoir évaluer l'étanchéité des circuits aérauliques (une méthode expérimentale doit être établie). Il faudra y ajouter la connaissance de la fréquence de l'ouverture des fenêtres et du comportement général des occupants.

c) - Modèles de simulation.

Pour pouvoir examiner et comparer les modèles, une méthodologie doit être définie. Une analyse critique des hypothèses employées et un examen de l'influence relative des divers paramètres permettraient d'aboutir à un modèle, (ou à plusieurs modèles de complexité différente) qui pourrait être considéré très proche de la réalité.

d) - Métrologie.

La méthode de détermination du taux de renouvellement d'air à l'aide d'un gaz traceur serait examinée sous tous les aspects. La préparation d'un manuel d'utilisation des gaz traceurs serait entreprise. Ce manuel comporterait :

- une méthodologie.
- des conseils pour le choix de l'instrumentation.
- une méthode de présentation des résultats.

Pour aboutir à ce document, la méthode de travail consisterait :

- en une analyse critique des études publiées.
- en des essais comparatifs avec une mesure simultanée du débit de renouvellement.
- en une étude expérimentale de certains aspects importants de la méthode (brassage d'air, cloisonnement).

Etant donné la lourdeur de la méthode actuellement utilisée, la recherche et la mise au point des méthodes plus simples sont souhaitables.

Enfin, la relation entre la perméabilité obtenue par pressurisation et le taux de renouvellement d'air devrait être étudiée.