

78

#433

AIC 78

# CSTC

n° 2 - trimestriel  
juin 1977



Revue trimestrielle d'information générale ayant principalement pour objet de faire connaître les résultats des études et recherches appliquées au bâtiment et au génie civil et réalisées en Belgique et à l'étranger.

Publication du Centre scientifique et technique de la Construction, établissement reconnu par application de l'arrêté-loi du 30.1.1947 (adresse : rue du Lombard 41, 1000 Bruxelles - tél. : 02/511.06.83 - 511.07.80 - 513.18.08).

Reproduction autorisée sur demande.



revue n° 2

trimestriel  
juin 1977

1	Structures industrialisées en béton	2
2	L'absorption des sons graves	13
3	Etude expérimentale sur l'efficacité de la ventilation mécanique contrôlée dans un local d'habitation	17
4	Economie énergétique et régulation automatique	27
5	Ventilation des toitures à double paroi	33
6	Chroniques On nous questionne, nous répondons Parus au C.S.T.C.	40

# STRUCTURES INDUSTRIALISÉES EN BÉTON

## 1. INTRODUCTION

Une recherche, subventionnée par l'I.R.S.I.A. (\*\*) sur l'assemblage des structures industrialisées en béton a été réalisée à l'initiative du Syndicat d'Etudes Interindustries-Construction (IC-IB) par le Bureau SECO, le C.R.I.F. (\*\*\*) et le C.S.T.C.

Les essais ont été effectués dans des laboratoires des Universités de Bruxelles (U.L.B.), de Gent (R.U.G.), de Leuven (K.U.L.), de Louvain-la-Neuve (U.C.L.) et de Liège (U.Lg.).

La présidence du comité de recherche était assurée par M. V. Depauw, ir., directeur général aux Entreprises R. Maes (Gent).

Les résultats de la recherche seront publiés sous le titre « Recommandations pratiques pour le calcul et l'exécution des assemblages dans les constructions industrialisées en béton ».

L'article ci-dessous est un résumé de ce rapport et donne les conclusions les plus importantes de la recherche dans les domaines suivants :

- joints entre éléments de planchers
- joints verticaux entre éléments de murs

- liaisons entre éléments de planchers et de murs
- appuis de dalles composées
- liaison entre une colonne et un massif de fondation en béton
- liaison entre une colonne et un massif de fondation en béton au moyen de plaques d'assise en métal
- liaison entre des poutres en béton et des colonnes en acier au moyen de goujons
- liaison de colonnes en acier avec injection de résine
- liaison d'éléments préfabriqués en béton au moyen de pièces métalliques soudées.

## 2. JOINTS ENTRE ÉLÉMENTS DE PLANCHERS

### 2.1 Application

Dans les planchers en éléments préfabriqués porteurs dans une direction, de différents profils et largeurs, dans lesquels les joints entre les éléments sont remplis de mortier ou de micro-béton et dans lesquels peuvent exister des liaisons soudées supplémentaires.

(\*) Ingénieur civil, département des recherches, C.S.T.C.

(\*\*) Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture.

(\*\*\*) Centre de Recherches Scientifiques et Techniques de l'Industrie des Fabrications Métalliques.



## 2.2 But

Vérifier dans quelle mesure une charge verticale, appliquée sur un seul élément de plancher, est transmise aux éléments voisins et en déduire des coefficients de répartition des charges pour certains types de planchers.

## 2.3 Essai (fig. 1)

Avec des éléments préfabriqués d'un même type, on réalise un plancher qui appuie sur deux poutres. On applique ensuite successivement sur chacun des éléments une charge (statique, parfois dynamique) et on mesure chaque fois la flèche de tous les éléments.

Puisque la flèche d'un élément est proportionnelle à la charge agissant sur cet élément, on peut évaluer la partie de la charge reprise par chaque élément.

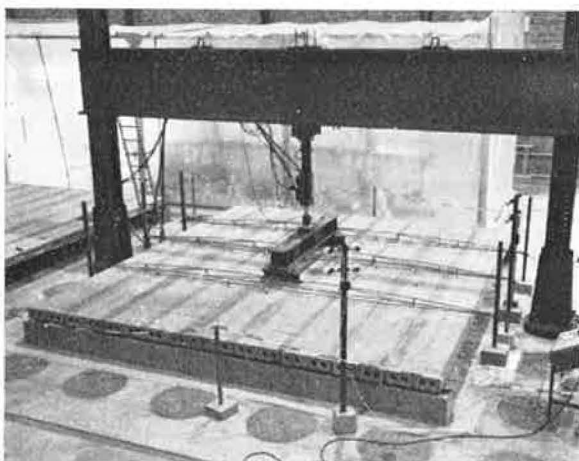


Fig. 1 — Poste d'essai pour joints horizontaux entre éléments de planchers. Disposition des planchers.

## 2.4 Paramètres

Les paramètres sont le type de joint et le type d'élément.

Jusqu'à présent, on n'a essayé qu'une sorte d'élément (fig. 2). L'essai d'autres types d'éléments est prévu dans la suite de la recherche.

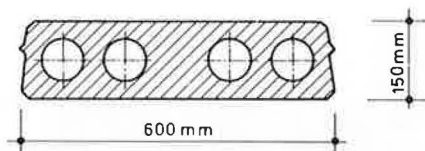


Fig. 2 — Coupe transversale d'un élément soumis à des essais.

## 2.5 Conclusions

La transmission de la charge dépend de son importance. Plus la charge est faible, mieux elle se répartit; plus elle est importante, plus elle se concentre sur l'élément chargé lui-même.

La transmission de la charge dépend aussi de la place de l'élément chargé dans l'ensemble du plancher, c'est-à-dire des possibilités de transmission dans une ou deux directions.

Pour le type d'éléments expérimentés, on peut fixer des coefficients de répartition. Ils sont utilisables pour des éléments de même nature (largeur 0,60 m, hauteur 0,15 à 0,20 m et joint légèrement profilé) dans des planchers comparables (environ 6 m de portée, posés sur deux côtés) et dans des conditions de charge analogues. En outre, on ne peut pas oublier que la rupture des joints est un phénomène brusque et qu'il est donc nécessaire d'admettre des coefficients de sécurité adaptés.

Des coefficients de répartition acceptables sont donnés à la figure 3.

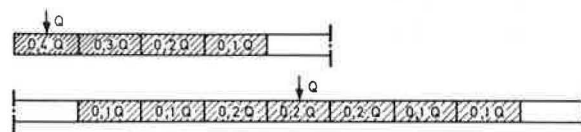


Fig. 3 — Répartition d'une charge  $Q$  sur un plancher.

## 2.6 Méthode de calcul de répartition des charges

On peut s'appuyer sur des méthodes de répartition déterminées expérimentalement comme celle déduite d'un projet de norme polonaise à l'étude.

## Symboles (fig. 4)

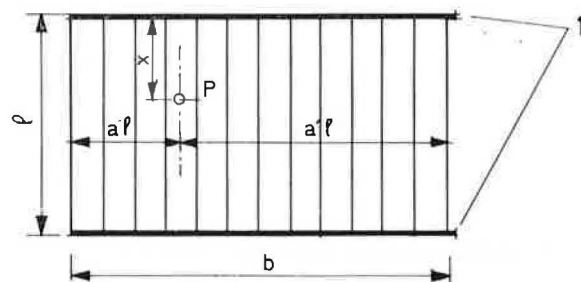


Fig. 4.

1. poutres d'appui

$$x = l/2$$

$$a \text{ et } a' \geq 1,25$$

La répartition, symétrique par rapport à  $P$ , se fait suivant un diagramme triangulaire avec  $2,5 l$  de base et  $0,8 P/l$  de hauteur (fig. 5).

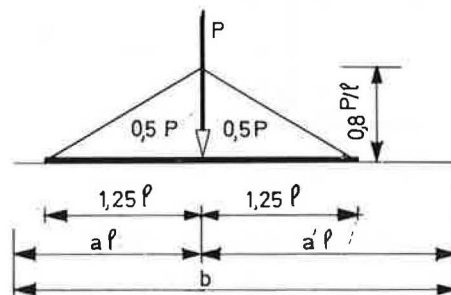


Fig. 5.

$$0,625 \leq a \text{ (et/ou } a') < 1,25$$

On aura une répartition triangulaire plus une répartition trapézoïdale avec  $0,8 P/l$  de hauteur et  $0,5 P$  de chaque côté de la charge (fig. 6).

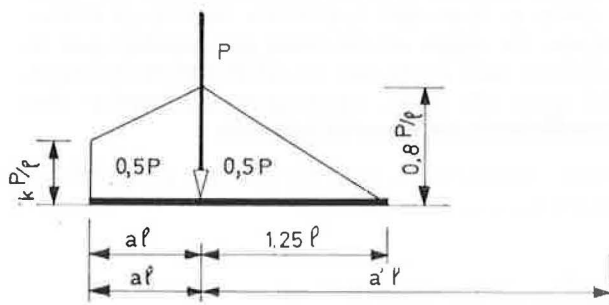


Fig. 6.

$$R = \frac{1 - 0,8 a}{a}$$

$$a < 0,625$$

Pour une zone de  $0,25 l$  de largeur, située symétriquement par rapport à la charge, on prévoit une répartition rectangulaire avec  $m P/l$  de hauteur (et  $m \geq 0,8$ ).

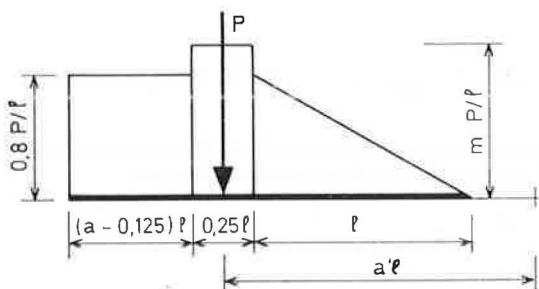


Fig. 7 —  $a' > 1,125$

$$m = (2,8 - 3,2 a)$$

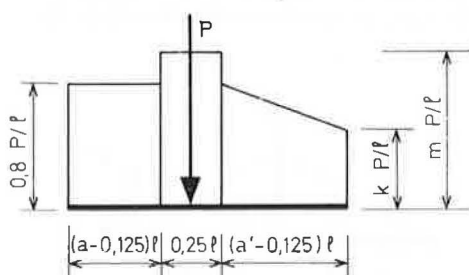


Fig. 8 —  $1,125 > a' > 0,625$

$$m = (2,8 - 3,2 a)$$

$$k = \frac{0,9 - 0,8 a'}{a' - 0,125}$$

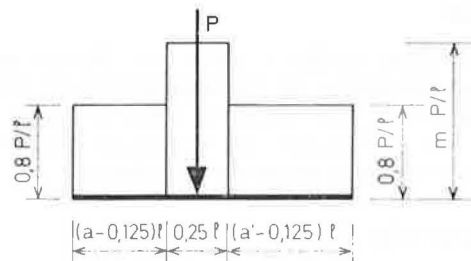


Fig. 9 —  $0,625 > a'$

$$m = 4,8 - 3,2 (a + a')$$

$$x < l/2$$

Les répartitions sont analogues à celles données pour  $x = l/2$ , mais la largeur de la répartition triangulaire doit être multipliée par

$$\sqrt{\frac{2x}{l}}$$

### 3. JOINTS VERTICAUX ENTRE ÉLÉMENTS DE MURS

#### 3.1 Application

Dans les murs verticaux, murs de façades et murs intérieurs, construits à partir d'éléments préfabriqués en béton, dans lesquels les joints verticaux entre les éléments doivent remplir une fonction mécanique, à savoir reprendre les efforts tranchants verticaux entre les éléments.

#### 3.2 But

Mise au point d'un poste d'essais permettant de déterminer aussi économiquement que possible l'effort tranchant maximal pouvant être repris par un joint vertical entre panneaux de murs.

#### 3.3 Poste d'essais et essais (fig. 10)

Le poste d'essais est composé de deux profilés métalliques en I, placés verticalement, simulant des panneaux de béton sur lesquels peuvent être fixées des bandes métalliques représentant des bords de joints. Entre ces bandes, on place les armatures et on coule le béton du joint.

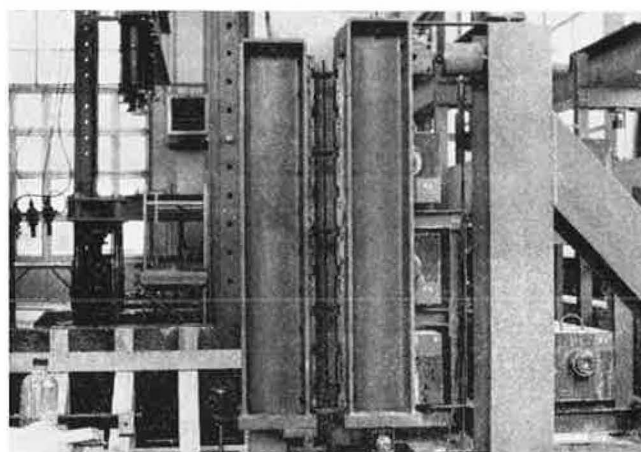


Fig. 10 — Poste d'essais pour joints verticaux entre éléments de murs.

A la partie supérieure d'un des panneaux, on applique une charge horizontale perpendiculairement à l'axe du joint. Les réactions verticales provoquent un cisaillement net dans le joint. Pour expérimenter un autre type de joint, il suffit de remplacer les bandes métalliques représentant les bords du joint.

Le poste d'essais a été exécuté à l'échelle 1/2.

### 3.4 Conclusions

Le poste d'essais semble répondre aux besoins. Toutefois, avant de l'utiliser pour la recherche appliquée, il faut y apporter encore quelques améliorations.

Une étude de la littérature technique a été nécessaire pour mettre au point et évaluer ce poste d'essais. Elle a permis de tirer plusieurs conclusions sur le dimensionnement du crantage d'un joint vertical organisé.

*Limites conseillées pour les paramètres (fig. 11) :*

$\beta$  (pente des dents)  $\leq 30^\circ$

$d$  (profondeur des dents)  $\geq 20$  mm et au moins plus grande que le plus grand diamètre des granulats du béton du joint

$h$  (hauteur des dents)  $\geq 50$  mm

$\lambda$  ( $= h/d$ , élancement)  $\leq 8$

$\gamma$  ( $= bh/aB$ , surface relative du crantage) :  $0,2 \leq \gamma \leq 0,5$

$\phi$  (diamètre des armatures du joint)  $\leq 12$  mm

$S$  (écartement des armatures chevauchantes)  $< 50$  mm

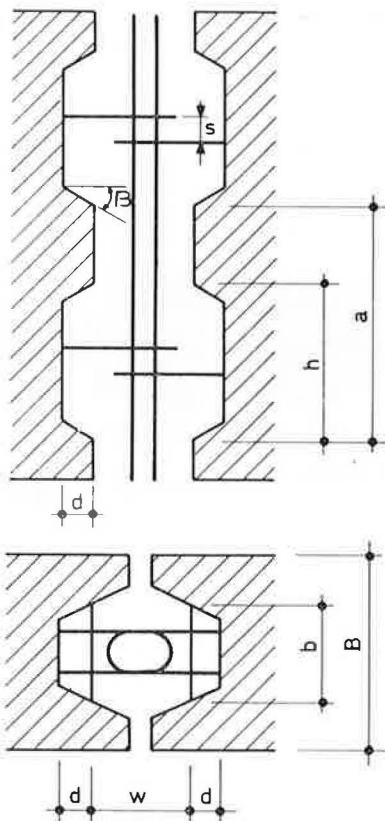


Fig. 11 — Paramètres d'un joint vertical cranté.  
Au dessus, coupe verticale  
En dessous, coupe horizontale

(\*) Voir bibliographie n° 3.

(\*\*) Voir bibliographie n° 4.

### 3.5 Formules recommandées

L'étude de la littérature technique nous a amenés à retenir deux formules de calcul de la contrainte de rupture par cisaillement des joints verticaux :

— joints crantés avec armatures réparties (formule du C.I.B.) (\*)

$$\tau_{br} = 0,09 R'_{bm} \gamma + \mu R_e + \sigma_N$$

Comme limites de cette formule, on doit avoir

$$0,2 \leq \gamma \leq 0,5$$

et

$$0,01 R'_{bm} \leq \mu R_e + \sigma_N \leq 0,08 R'_{bm}$$

— joints non crantés avec armatures réparties (formule de Pommeret) (\*\*)

$$\tau_{br} = \text{tg } \phi \mu R_e$$

avec  $\tau_{br}$  contrainte de rupture par cisaillement du joint avec laquelle la contrainte de cisaillement calculée  $\tau$  doit être comparée

$R'_{bm}$  résistance à la compression du béton du joint

$R_e$  limite d'élasticité des armatures du joint

$\gamma$  surface relative du crantage  $= \frac{bh}{aB}$   
(fig. 11)

$\mu$  quantité relative d'armature  $= \frac{nA}{BH}$

où  $nA$  quantité totale d'armature  
 $H$  hauteur du panneau

$\sigma_N$  précompression perpendiculaire au joint

$\phi$  angle de frottement du béton

$$\text{tg } \phi = 0,149 \sqrt{R'_{bm}}$$

où  $R'_{bm}$  en  $\text{N/mm}^2$

## 4. LIAISONS ENTRE ÉLÉMENTS DE PLANCHERS ET DE MURS

### 4.1 Application

Dans les bâtiments où des éléments de plancher préfabriqués sont reliés par un nœud de béton armé coulé sur place à des murs qui peuvent être soit préfabriqués, soit traditionnels.

### 4.2 But

Vérifier dans quelle mesure une liaison plancher-mur se rapproche du cas d'un encastrement total ou d'un appui libre.

### 4.3 Essai (fig. 12)

Avec des panneaux de façade et des éléments de plancher, on a construit une série de portiques sur lesquels on a appliqué des charges verticales variables.

Pendant les différentes phases de charge, on a mesuré les déformations angulaires des liaisons plancher-murs.

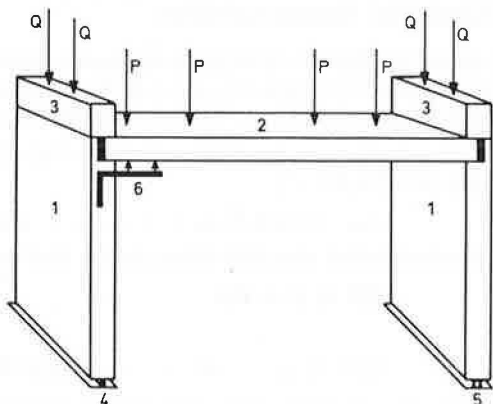


Fig. 12 — Schéma de l'assemblage plancher/murs.

1. éléments de mur - 2. élément de plancher - 3. poutres de répartition - 4. appui sur roulement - 5. rotule - 6. dispositif de mesure pour la rotation angulaire

En comparant ces déformations avec celles qu'on peut calculer pour un encastrement total et pour un appui libre, on a pu estimer la rigidité de ces liaisons.

#### 4.4 Paramètres

Les paramètres les plus importants sont la qualité du béton de remplissage, la quantité et la position de l'armature de liaison (au-dessus, en dessous et à mi-hauteur du nœud de béton armé) (fig. 13).

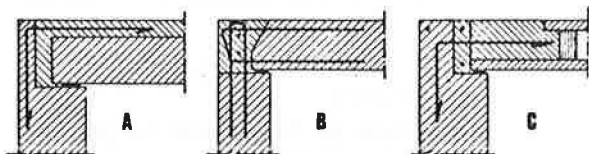


Fig. 13 — Disposition de l'armature de liaison dans les nœuds.

A. au-dessus  
B. en dessous  
C. au milieu

#### 4.5 Conclusions

Dans très peu de cas seulement, la liaison mur-plancher est considérée comme un nœud rigide et exécutée pour transmettre un moment d'encastrement. Néanmoins, une liaison de ce type, bien conçue et bien exécutée, assure toujours une certaine rigidité. Celle-ci est importante dans des conditions normales d'utilisation.

On remarque que le degré d'importance des flèches du plancher se situe entre celui des flèches d'un plancher complètement encasté et celui des flèches d'un plancher sur deux appuis et que les déformations des nœuds correspondent presque à celles d'un encastrement total.

Par liaisons bien conçues et bien exécutées, il faut comprendre liaisons avec un béton de joint pour lequel  $R'_{bm} \geq 40 \text{ N/mm}^2$ , avec des armatures réparties sur la longueur de la liaison, bien ancrées dans les murs et dans les planchers, et dont la section totale peut varier de 700 à 300  $\text{mm}^2$  par m de joint.

La fissuration dans le béton du joint se produit dans les liaisons ayant les plus petites quantités d'armatures.

Après la fissuration, la rigidité du nœud est fortement réduite et on s'approche du cas de l'appui simple.

Pour les essais effectués, la position des armatures de liaison paraît ne pas avoir d'importance pour la rigidité, mais pour en être certain, une recherche plus approfondie est nécessaire.

## 5. APPUIS DE DALLES COMPOSÉES

### 5.1 Application

Dans des planchers composés de prédalles de 40 à 50 mm d'épaisseur et d'une couche de compression coulée sur place. Les appuis de ces prédalles consistent en poutres en béton coulées en même temps que la couche de compression.

### 5.2 But

Etude du comportement de tels appuis et de l'influence d'éventuelles armatures de liaison.

### 5.3 Essai

On a réalisé de petits planchers avec les prédalles et une couche de compression coulée conjointement avec les appuis. Par un système de profilés, on appliquait ensuite des charges verticales, amenant ainsi ces planchers à la rupture par flexion et cisaillement (fig. 14).

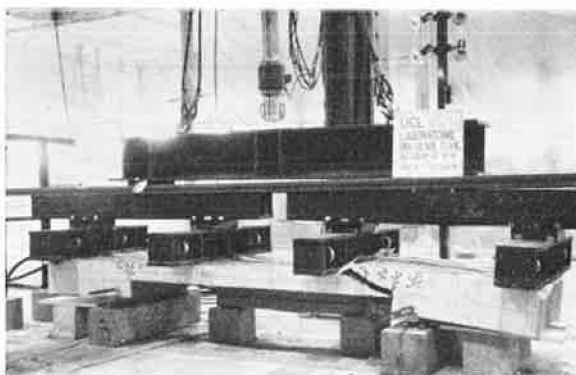


Fig. 14 — Plancher à prédalles après rupture.

### 5.4 Paramètres

Les paramètres sont la présence d'armatures supérieures à l'endroit de la liaison avec l'appui (poutre) et le nombre et la forme des armatures de liaison inférieures (fig. 15).

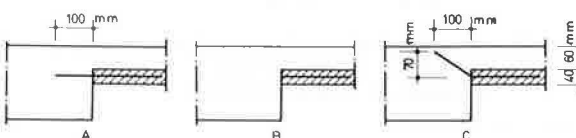


Fig. 15 — Détail des armatures de liaison.



## 5.5 Conclusions

En l'absence d'armatures supérieures à l'endroit de la liaison à l'appui, la résistance à la rupture est déterminée par la résistance à la flexion dans la travée.

Pour des petits planchers ayant des armatures supérieures à l'endroit de la liaison à l'appui, il n'est possible d'utiliser la résistance totale à la flexion que si l'effort de cisaillement à l'appui ne dépasse pas une certaine valeur.

Quand il y a des armatures supérieures, la forme des armatures de liaison a peu d'influence sur la charge de rupture.

## 6. LIAISON ENTRE UNE COLONNE ET UN MASSIF DE FONDATION EN BÉTON

### 6.1 Application

Dans les bâtiments où l'on utilise des colonnes préfabriquées en béton et dont les fondations sont prévues avec des fourreaux, c'est-à-dire semelles en béton avec gaines verticales dans lesquelles on place les colonnes (dés de fondation).

### 6.2 But

Vérifier dans quelle mesure un dé de fondation se comporte comme un encastrement et contrôler la méthode de calcul recommandée par le C.E.B. (\*).

### 6.3 Essai (fig. 16)

Avec de courtes et petites colonnes préfabriquées en béton pourvues d'un encorbellement à leur partie supérieure, on a réalisé une série d'assemblages avec dés de fondation. Sous l'action d'une compression excentrée, l'ensemble a été amené à rupture.

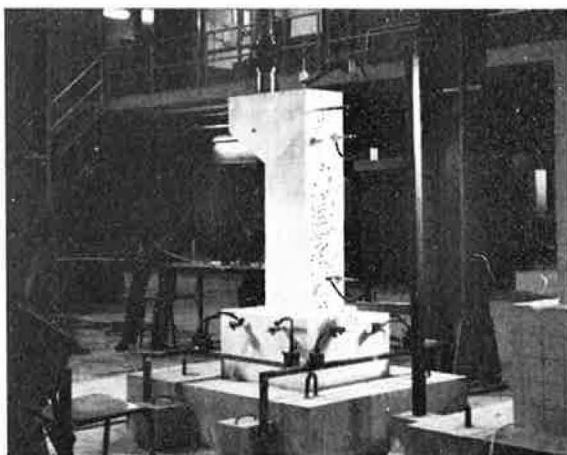


Fig. 16 — Assemblage colonne/massif de fondation en béton.

### 6.4 Paramètres

Les paramètres sont l'excentricité de la charge, l'épaisseur des parois du dé de fondation (a), la largeur du joint de mortier (b) entre la colonne et le dé de fondation et la hauteur de celui-ci (h).

(\*) Voir bibliographie n° 2.

## 6.5 Conclusions

Un remplissage soigné du joint assure l'efficacité de la liaison et permet de compter sur un bon encastrement de la colonne dans le dé de fondation.

Comme en construction traditionnelle, on doit cependant être attentif aux caractéristiques du sol, puisque la répartition non uniforme des contraintes sur le sol, sous la fondation, provoque des tassements différentiels et qu'on ne peut donc pas garantir un encastrement dans tous les cas.

Le mieux est de choisir pour le dé de fondation une hauteur égale à la largeur de la colonne.

### 6.6 Méthode de calcul recommandée

La méthode de calcul du C.E.B. (\*), qui a été comparée aux résultats d'essais, a donné entière satisfaction.

Une colonne soumise à un effort vertical  $P$ , à un effort horizontal  $H$  et à un moment  $M$ , crée un couple de réactions ( $H_o$ ,  $H_u$ ) dont la valeur est donnée à la figure 17.

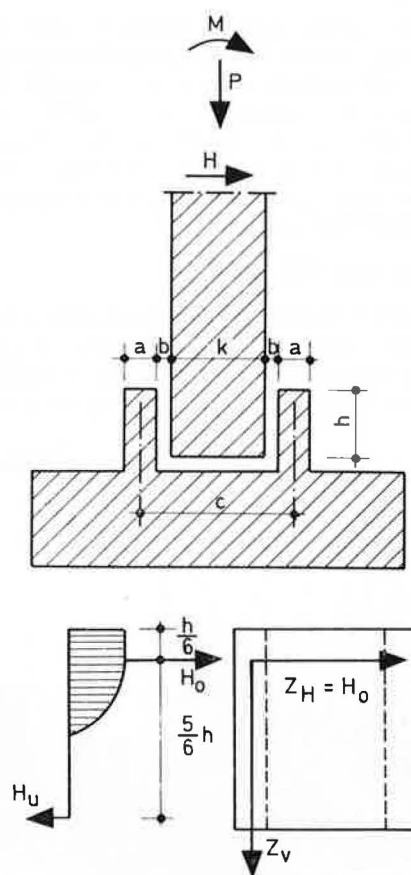


Fig. 17.

$$c = k + 2b + a$$

$$H_o = \frac{6M}{5h} + \frac{6}{5}H$$

$$H_u = \frac{6M}{5h} + \frac{1}{5}H$$

L'effort  $H_0$  provoque un effort de traction  $Z_H = H_0$  dans les parois.

Cet effort de traction est repris au moyen d'étriers rectangulaires placés dans la partie supérieure du dé de fondation. Les parois latérales du dé de fondation travaillent comme de courtes consoles soumises à la force  $Z_H$ . Sous cette charge, il naît des contraintes de traction dans la paroi arrière et donc un effort de traction  $Z_v = \frac{5 H_0 h}{6 c}$  repris par des étriers verticaux placés dans les parois latérales et ancrés dans la semelle. L'effort  $H_u$  est transmis à la semelle par frottement.

## 7. LIAISON ENTRE UNE COLONNE ET UN MASSIF DE FONDATION EN BÉTON AU MOYEN DE PLAQUES D'ASSISE EN METAL

### 7.1 Application

Dans les bâtiments où l'on utilise des colonnes préfabriquées en béton, reliées à la semelle de fondation par des pièces métalliques.

### 7.2 But

Examiner dans quelle mesure une plaque d'assise d'une seule pièce, dont les dimensions doivent nécessairement être adaptées chaque fois aux dimensions de la colonne, pourrait être remplacée par un ensemble de deux ou quatre plaques, éventuellement standardisées, afin de pouvoir les utiliser pour des colonnes de sections différentes.

### 7.3 Essai (fig. 18)

Des petites colonnes préfabriquées pourvues d'un encorbellement à leur partie supérieure ont été reliées à un massif de fondation au moyen de quatre plaques d'assise en fonte.

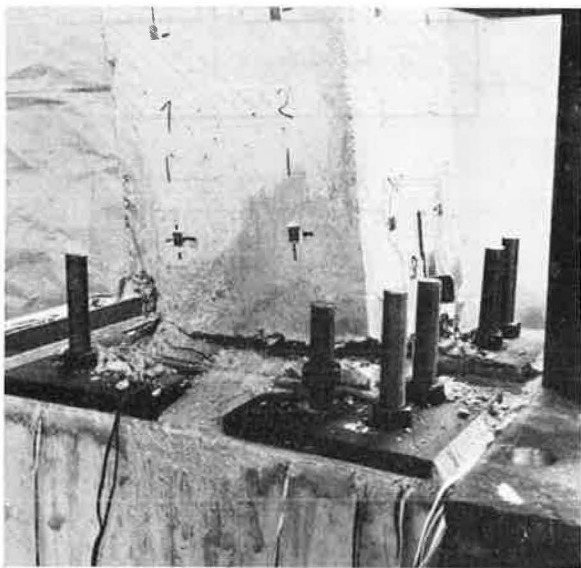


Fig. 18 — Assemblage colonne/massif de fondation en béton au moyen de plaques d'assise. Rupture du pied de la colonne.

Sous l'action d'un moment et d'un effort normal, ces colonnes ont été amenées jusqu'à rupture.

### 7.4 Paramètres

Les paramètres sont l'excentricité de la charge, le nombre et la longueur des tiges d'ancrage reliant les plaques d'assise à la fondation et les armatures des colonnes en béton.

### 7.5 Conclusions

Les plaques d'assise des colonnes peuvent être réalisées en tôle d'acier ou en fonte (fonte nodulaire perlitique).

Les plaques d'assise composées de quatre pièces de coin indépendantes peuvent être utilisées lorsque les charges extérieures agissant sur la colonne font craindre des rotations relativement grandes.

En ce qui concerne les tiges d'ancrage, il est préférable d'en prévoir plusieurs de faible diamètre qu'une seule de diamètre important.

Il faut assurer un fretage suffisant du béton des pieds de colonne surtout parce que les plaques d'assise en plusieurs éléments sont à l'origine de contraintes locales. Ce fretage peut être constitué par des étriers répartis sur une hauteur égale à la plus grande dimension de la colonne.

Afin de répartir aussi régulièrement que possible la transmission des efforts de la plaque d'assise vers la colonne, il est nécessaire de prévoir sur la surface de contact une couche d'égalisation (par exemple, 3 mm de résine époxy).

### 7.6 Méthode de calcul recommandée

La méthode de calcul des plaques d'assise métalliques d'une seule pièce (\*) du Laboratoire Stevin (Technische Hogeschool, Delft) a été adaptée et vérifiée pour les plaques d'assise composées de quatre pièces.

Supposons que les plaques d'assise sont quasi symétriques et donc que  $a \approx d$ .

L'effort de traction dans les tiges d'ancrage  $R$  est alors approximativement égal à l'effort de traction dans les barres d'ancrage  $F$  (fig. 19).

L'effort de traction  $F$  a pour valeur

$$F (= R) = \frac{M}{h - 2d} - \frac{N}{2}$$

Il s'ensuit que la section des barres et des tiges est

$$A = \frac{F}{R_a}$$

avec  $R_a$  contrainte admissible de l'acier

Les efforts de réaction  $P_1$  et  $P_2$  sur la plaque d'assise sont donnés par l'équation d'équilibre des moments

(\*) Voir bibliographie n° 5.

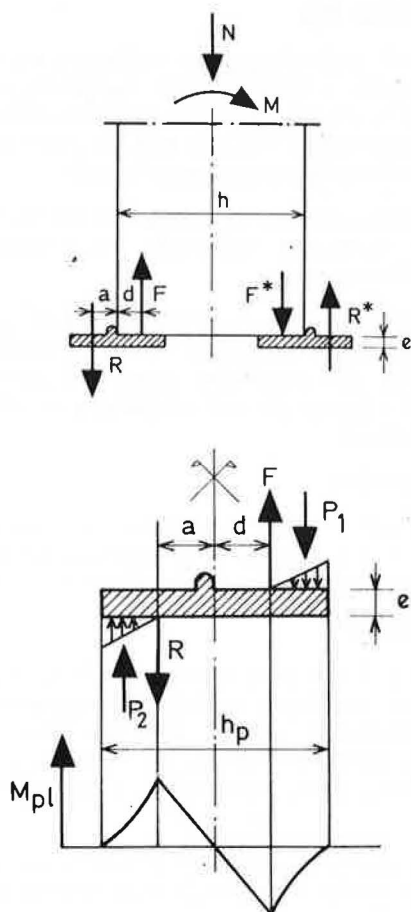


Fig. 19.  
Au-dessus, coupe verticale  
En dessous, détail de la plaque d'assise

$$P_1 = P_2 = \frac{3 F (a + d)}{2 h_p + a + d}$$

et le moment de flexion maximal dans une plaque d'assise est alors

$$M_{pb \max} = \frac{2}{3} P_1 \left( \frac{h_p}{2} - d \right)$$

Ce moment est repris par deux des quatre pièces de coin de la plaque d'assise de sorte que l'épaisseur  $e$  nécessaire de ces pièces peut être calculée comme suit :

$$\frac{M}{I/V} = R_a \text{ ou } e = \frac{6 M}{R_a b_p}$$

avec  $b_p$  largeur de la plaque d'assise.

## 8. LIAISON ENTRE DES POUTRES EN BÉTON ET DES COLONNES EN ACIER AU MOYEN DE GOUJONS

### 8.1 Application

Pour réaliser un appui de poutre en béton coulé sur place contre une colonne métallique continue lorsqu'on ne désire pas utiliser de consoles. La liaison est réalisée en soudant des goujons sur la colonne métallique et en scellant ceux-ci dans l'extrémité de la poutre en béton.

### 8.2 But

Vérifier si un tel appui exécuté avec des goujons soudés sur la face d'une colonne et scellés dans l'extrémité de la poutre est susceptible de transmettre des efforts de cisaillement et des moments.

### 8.3 Essai (fig. 20)

On a coulé une poutre en béton s'appuyant d'un côté sur une colonne métallique pourvue de goujons, et de l'autre côté sur un rouleau.

On a appliqué sur la poutre deux charges ponctuelles qu'on a augmentées par paliers jusqu'à rupture.

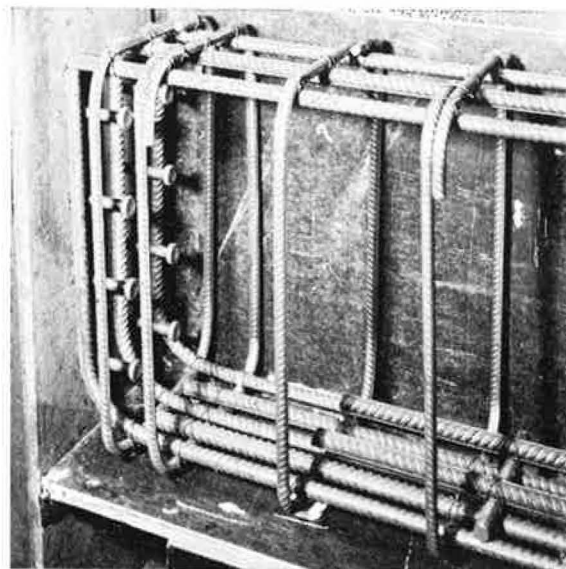


Fig. 20 — Assemblage poutre en béton/colonne métallique au moyen de goujons. Goujons soudés sur la colonne dans l'armature de la poutre.

### 8.4 Paramètres

Les paramètres sont la portée de la poutre, le nombre et le diamètre des goujons.

### 8.5 Conclusions

L'emploi d'un grand nombre de goujons de faible diamètre ou d'un petit nombre de goujons de diamètre plus important (placés également dans la moitié inférieure de la poutre) n'amène pas de différence dans la charge de rupture.

La liaison n'est pas susceptible de reprendre des moments. Lors des essais avec répartition uniforme des goujons, on a d'abord un certain encastrement dont l'importance ne peut pas être déduite des résultats des essais. Lors de la rupture, il n'y a de toute façon plus d'encastrement de sorte que la liaison doit être considérée comme équivalente à un appui simple.

### 8.6 Formules recommandées

Les formules théoriques pour calculer la charge statique de rupture des liaisons dans les poutres composites (béton-acier) peuvent être appliquées à la liaison éprouvée (formules de Sattler) (\*).

(\*) Voir bibliographie n° 1.

Si on respecte pour les charges de rupture les coefficients de sécurité recommandés (2 pour des bâtiments et 3 pour des ponts), les déformations restent minimales.

Ces formules sont les suivantes :

$$D = 38 d^2 \sqrt{R'_{bm}} \quad \text{pour} \quad \frac{h}{d} \geq 4$$

$$D = 9,5 dh \sqrt{R'_{bm}} \quad \text{pour} \quad \frac{h}{d} \leq 4$$

avec D charge de rupture d'un goujon (N)  
d diamètre du goujon (mm)  
h longueur du goujon (mm)  
R'bm résistance moyenne à la compression du cube de béton (N/mm<sup>2</sup>)

## 9. LIAISON DE COLONNES EN ACIER AVEC INJECTION DE RÉSINE

### 9.1 Application

Dans les bâtiments élevés où sont utilisées des colonnes en acier se composant de plusieurs profilés superposés. Des plaques d'assemblage en acier sont soudées aux extrémités des profilés. Ces plaques ont été usinées afin que l'excentricité provoquée dans la colonne lors de la superposition des profilés soit la plus petite possible.

### 9.2 But

Vérifier si l'usinage coûteux des plaques d'assemblage ne peut pas être remplacé par l'injection de résine entre des plaques non usinées.

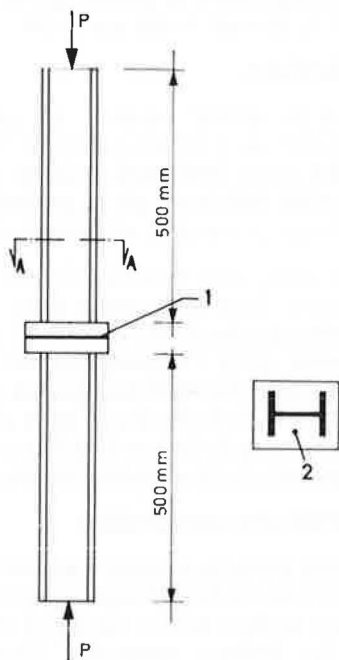


Fig. 21.

1. couche de résine entre plaques d'assemblage
2. ouverture d'injection

### 9.3 Essai (fig. 21)

Après avoir superposé des colonnes en acier avec plaques d'assemblage soudées, on a injecté de la résine dans les espaces entre les plaques en contact imparfait et on a soumis le tout à un effort de compression axiale.

On a chargé en même temps et de manière analogue quelques colonnes continues, de mêmes dimensions.

La comparaison des résultats des deux séries d'essais permet d'évaluer le comportement d'un assemblage de colonnes avec injection de résine par rapport au comportement d'une colonne continue.

### 9.4 Paramètres

Les paramètres sont l'épaisseur des plaques d'assemblage à souder et le manque de parallélisme artificiellement créé des faces en contact.

### 9.5 Conclusions

Dans le cas d'un chargement axial, la charge de rupture de colonnes métalliques assemblées selon la méthode décrite est plus faible (5 % pour des plaques minces et 13 % pour des plaques épaisses) que celle d'une colonne continue.

La transmission de la charge à travers la résine se fait sans créer d'excentricités importantes et est plus uniforme pour des plaques intermédiaires minces que pour des plaques épaisses. Ceci explique aussi que la charge de rupture est un peu plus élevée dans le premier cas.

Les espaces entre les plaques d'assemblage, réalisés artificiellement pour les essais, correspondent à 90 % des cas qui se présentent en réalité.

Le fait que la charge de rupture des colonnes assemblées soit plus faible que celle des colonnes continues peut être attribué à l'existence d'une certaine excentricité dans la transmission de la charge.

Comme la différence est minime et s'inscrit dans les limites de la dispersion que l'on peut normalement attendre en effectuant des essais de rupture avec charge axiale sur une série de colonnes continues, on peut admettre que la résistance d'assemblages de colonnes comme décrit ci-avant est pratiquement équivalente à celle de colonnes continues dans le cas d'une charge axiale.

## 10. LIAISON D'ÉLÉMENTS PRÉFABRIQUÉS EN BÉTON AU MOYEN DE PIÈCES MÉTALLIQUES SOUDÉES

### 10.1 Application

Dans le cas de l'assemblage de colonnes ou de poutres préfabriquées en béton pourvues de pièces métalliques (plaques ou petits profilés) ancrées dans les extrémités en béton à relier. L'assemblage se fait par soudage de couvre-joints.



## 10.2 But

Vérifier l'influence de certains paramètres d'exécution sur la résistance d'assemblages soudés et comparer le comportement d'éléments en béton avec joints métalliques soudés à celui d'éléments monolithes en béton.

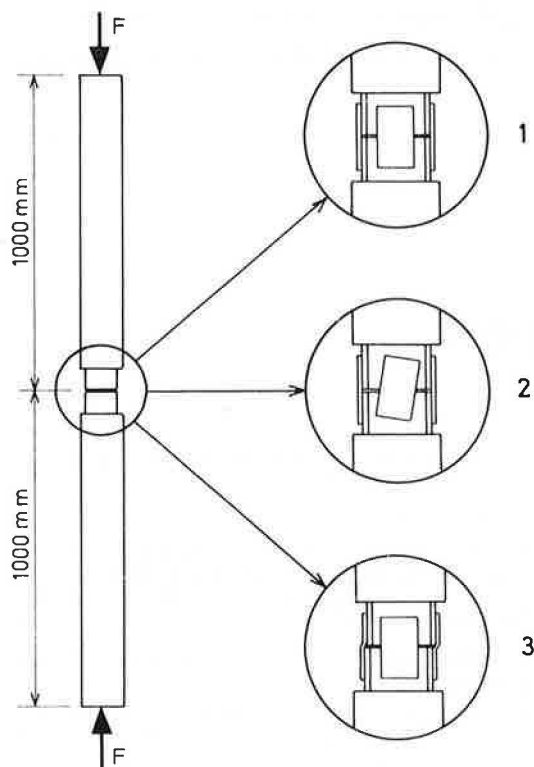


Fig. 22 — Assemblage colonne/colonne au moyen de couvre-joints.

1. joint droit
2. joint oblique
3. joint excentré

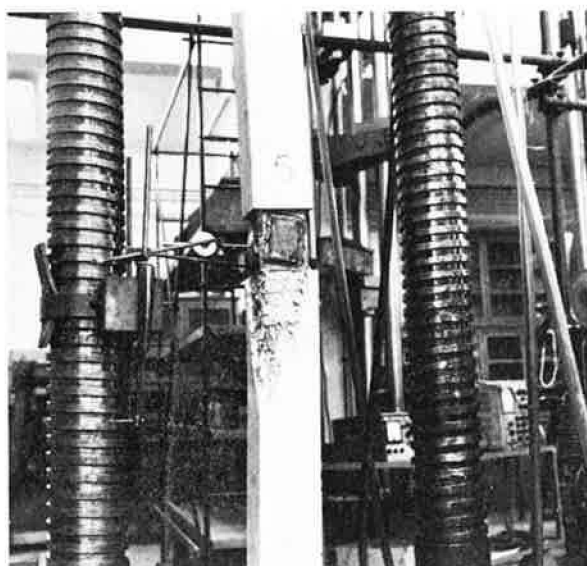


Fig. 23 — Essai à la rupture.

## 10.3 Essais

On a chargé en traction des pièces métalliques assemblées par deux couvre-joints.

Deux colonnes en béton placées l'une sur l'autre avec couvre-joints métalliques soudés et soumises à une compression axiale ont été comparées à des colonnes continues analogues (fig. 22 et 23).

Deux poutres en béton avec couvre-joints soudés et formant une poutre sur deux appuis ont été chargées verticalement. Leur comportement a également été comparé à celui d'une poutre continue soumise aux mêmes charges.

## 10.4 Paramètres

Les paramètres sont les différentes conditions climatiques (température, humidité) qui peuvent influencer le soudage et certaines erreurs dans le placement des couvre-joints (fig. 22).

## 10.5 Conclusions

Les résultats confirment les possibilités d'utilisation du soudage pour l'assemblage des éléments préfabriqués.

Dans le cas de sollicitations statiques, les éléments métalliques n'influencent pratiquement pas le comportement des éléments préfabriqués sous charge de service, si on néglige un faible accroissement des déformations.

En ce qui concerne le stade ultime, on doit tenir compte d'une légère réduction de la charge de rupture par rapport à celle d'un élément monolithique.

C'est surtout la conception et l'exécution de l'ancrage des éléments métalliques dans le béton qui doivent être soignées. Une insuffisance d'ancrage peut provoquer une diminution de la résistance des assemblages.

Aucune restriction spéciale pour l'exécution des soudures ne paraît nécessaire pour autant que l'on utilise un acier de bonne soudabilité.

Les circonstances défavorables qu'on peut rencontrer sur chantier, comme l'imprécision du montage, l'humidité et le froid pendant la soudure, et le fait que la soudure peut être effectuée par des soudeurs peu qualifiés ou inexpérimentés n'ont qu'une faible influence sur la résistance statique des assemblages. Cette influence peut être largement compensée par les coefficients de sécurité habituels ou par un léger surdimensionnement des joints.

En conclusion, on peut dire que les règles de bonne pratique de soudage d'application en Belgique suffisent largement pour le soudage des pièces métalliques destinées à l'assemblage d'éléments préfabriqués en béton.

Nous rappelons quelques-unes des règles les plus importantes:

- débarrasser les surfaces à souder de toutes impuretés telles que graisse, peinture, couche d'oxyde due au laminage, scories de découpage au chalumeau, ...
- contrôler la nature des électrodes, leur humidité et l'énergie électrique disponible
- faciliter l'exécution : bon choix des emplacements, visibilité et accessibilité des soudures
- prévoir une disposition et une préparation des pièces à souder facilitant la fusion du métal d'apport et assurant celle du métal de base.

Pour cela, il faut :

- éviter les bords trop élevés et les espacements trop réduits entre les pièces à souder
- éviter les angles trop aigus
- éviter les méplats usinés dus soit à la forme du joint, soit à la dénivellation ou au gauchissement des pièces
- limiter les dimensions des soudures à celles trouvées par calcul
- éviter les concentrations de soudure
- contrôler l'épaisseur du cordon de soudure.

## Bibliographie

1. Centre de Recherches Scientifiques et Techniques de l'Industrie des Fabrications Métalliques  
Constructions composites acier-béton. Le calcul des poutres mixtes fléchies. Bruxelles, MT 94, juillet 1974.
2. Comité Européen du Béton  
Manuel Technologie et industrialisation du ferrailage. Tome I. Dispositions constructives en béton armé (Contribution à la 16<sup>e</sup> session plénière du C.E.B., Londres, octobre 1973). Paris, Bulletin d'information du C.E.B. n° 87, janvier 1973.
3. Hansen, K., Kavyrchine, M., Mehlhorn, G., Olesen, S.O., Pume, D. et Schwing, H.

Design of vertical keyed shear joints in large panel buildings. Rotterdam, Building Research and Practice, n° 4, juillet/août 1974.

4. Pommeret, M.  
La résistance aux efforts tangents des joints verticaux entre grands panneaux préfabriqués coplanaires. Saint-Rémy-les-Chevreuse, Bulletin du Service d'Etude des Structures, juin 1971.
5. van Rooden, R. J. W. M., van de Vrande, L. W. J. M. et Christiaanse, A.E.  
Het gedrag van stalen voetplaatverbindingen bij geprefabriceerde betonkolommen. Amsterdam, Cement, n° 7, juillet 1972.

# L'ABSORPTION DES SONS GRAVES

## 1. INTRODUCTION

L'absorption des sons graves est un élément important de la mise au point du timbre des salles de concert et de la réduction de certains bruits. Nous nous proposons de donner une description résumée des procédés classiques utilisés et de présenter un procédé indépendant des matériaux employés, permettant d'obtenir des parois absorbantes particulièrement efficaces et incombustibles.

## 2. PROCÉDÉS TYPES ACTUELS ET LEURS RÉSULTATS

Les procédés consacrés par la pratique sont assez semblables entre eux. Nous décrirons quelques dispositifs typiques.

### 2.1 Rideaux lourds, en velours, à double pli

Ces rideaux ne conviennent qu'à une certaine architecture. De plus, cette solution n'est que partiellement efficace.

On peut atteindre des facteurs de Sabine (\*\*) de 0,85 pour les fréquences supérieures à 500 Hz (ce qui n'est plus un son grave).

Pour 125 Hz, le facteur de Sabine tombe à 0,2, ce qui peut être très insuffisant dans bien des cas.

Il ne s'agit ici que de solutions occasionnelles.

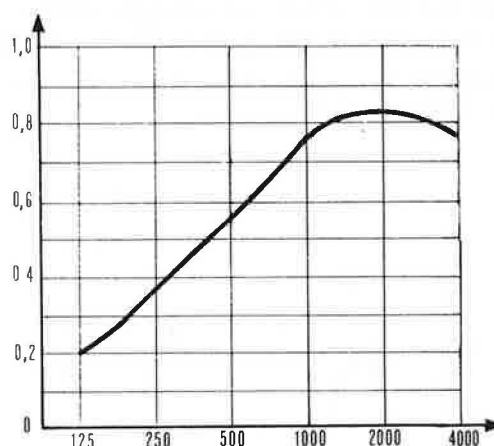


Fig. 1 — Courbe d'absorption de sons graves. Rideaux lourds, en velours, à double pli.  
En abscisse, fréquence (Hz)  
En ordonnée, facteur de Sabine

La figure 1 donne une courbe caractéristique type.

### 2.2 Matelas épais d'ouate ou de laine minérale

Si l'épaisseur du matelas est suffisante, on peut obtenir des courbes du type de celle donnée à la figure 2.

(\*) Professeur, conseiller scientifique au C.S.T.C.

(\*\*) Le facteur de Sabine est le facteur d'absorption acoustique mesuré en salle réverbérante pour un échantillon de 10 m<sup>2</sup> (suivant la NBN S 01-009 Acoustique. Mesure du facteur d'absorption acoustique en salle réverbérante. Bruxelles, Institut Belge de Normalisation, 1976). Son symbole est  $\alpha_s$  (nombre pur).

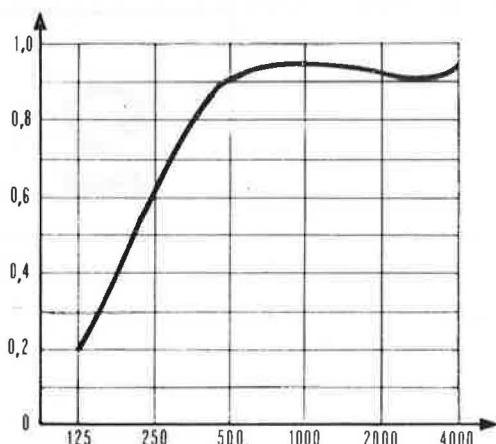


Fig. 2 — Courbe d'absorption de sons graves. Matelas épais de laine minérale.  
En abscisse, fréquence (Hz)  
En ordonnée, facteur de Sabine

En général, le matelas est combiné avec une protection : plaque de plâtre perforé, tôle perforée.

Cette solution n'est pas parfaite.

### 2.3 Panneaux vibrants

Une plaque mince et élastique, en contreplaqué ou en asbeste-ciment par exemple, vibre à une fréquence déterminée et absorbe de l'énergie.

On obtient des courbes de Sabine du type de celle donnée à la figure 3.

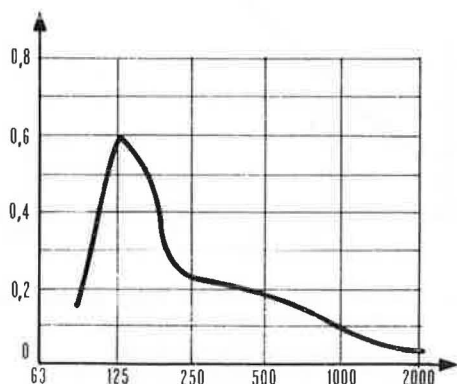


Fig. 3 — Courbe d'absorption de sons graves. Panneaux vibrants.  
En abscisse, fréquence (Hz)  
En ordonnée, facteur de Sabine

On a donc des absorptions élevées aux basses fréquences, mais les facteurs de Sabine sont négligeables à toutes les fréquences qui ne sont pas sélectionnées.

Ces panneaux vibrants sont des absorbants additionnels qui peuvent heureusement compléter les éléments des types précédents mais qui, mal utilisés, ont donné lieu à des échecs célèbres.

### 2.4 Résonateurs

Il s'agit de trous ou de fentes dans des parois solides.

La forme la plus célèbre est le résonateur de Helmholtz, qui fait songer à une bouteille (fig. 4).

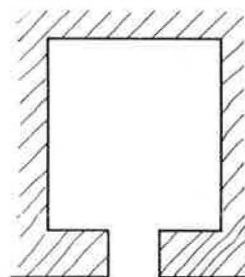


Fig. 4 — Résonateur de Helmholtz.

Si  $V$  est le volume ( $\text{cm}^3$ ) du corps de la bouteille et  $v$  le volume ( $\text{cm}^3$ ) du goulot, et si  $S$  est la section transversale ( $\text{cm}^2$ ) du goulot, la fréquence propre de résonance sera, en Hz,

$$f_r = 5.500 \frac{S}{(Vv)}^{1/2}$$

Si nous prévoyons des cavités en forme de bouteille dans une paroi, goulot affleurant à l'avant, ces « bouteilles » absorberont les sons ayant leur fréquence de résonance.

Une solution pratique est d'encastrer ces bouteilles dans la paroi.

On les prévoira par exemple dans le coffrage d'un plafond en béton.

On peut encore les réaliser sous forme de cavités dans les maçonneries, en employant des blocs creux percés d'un trou reliant la cavité à l'extérieur.

Un caisson de bois rigide percé d'orifices convenables convient aussi parfaitement.

Les résonateurs peuvent être placés côte à côte. Dans bien des cas, ils peuvent communiquer entre eux.

On réalise facilement des résonateurs d'environ  $1 \text{ dm}^3$  de volume ayant une aire d'absorption équivalente de  $0,50 \text{ m}^2$  à la fréquence de résonance.

Ces résonateurs n'agissent qu'au voisinage de leur fréquence de résonance. On peut étaler leur action en les remplissant partiellement de laine minérale ou encore en employant des batteries de résonateurs de plusieurs dimensions.

Ces résonateurs doivent être employés avec circonspection.

Nous connaissons au Danemark une salle dont le plafond a donné d'excellents résultats. De nombreuses bouteilles de lait de forme différente avaient été placées dans le coffrage.



Bruel a été copié par des gens qui n'avaient rien compris et qui ont employé des bouteilles d'un seul modèle. Ils ont obtenu des salles dans lesquelles une seule note était excessivement amortie et le restant du spectre n'était pas influencé.

Il existe enfin des résonateurs à fentes continues occupant toute la hauteur d'une paroi.

Il y a donc une infinité de possibilités de solutions. Mais pour chaque solution, en particulier pour chaque bande de fréquences, il faut des éléments de dimensions particulières.

Nous proposons au § 3 des résonateurs composés d'éléments d'un seul type qui ne doivent pas être de fabrication spéciale.

### 3. RESONATEURS A FENTES AJUSTÉES

Nous décrivons une réalisation d'absorption des sons graves de ce type. Cette réalisation est fort simple et susceptible d'une infinité de variantes.

Nous emploierons des briques, un peu de mortier et de laine minérale.

#### 3.1 Résonateurs à fentes constantes

La figure 5 représente une paroi absorbante réalisée suivant ce principe.

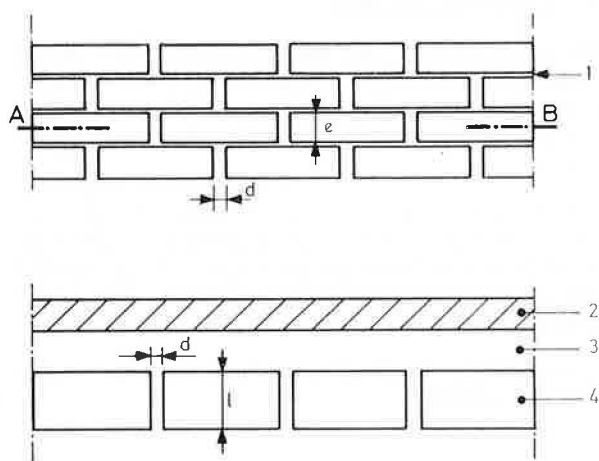


Fig. 5 — Mur absorbant avec résonateurs à fentes constantes.

Au-dessus, vue de face  
En dessous, vue en plan

1. mortier
2. paroi continue
3. laine minérale ou lame d'air
4. paroi absorbante en briques
- e. épaisseur des briques
- d. distance entre les briques
- l. largeur des briques

On constatera que les cols (intervalles) entre les briques forment les cols des résonateurs. Les volumes des résonateurs communiquent entre eux.

Le léger bourrage de laine minérale élimine les résonances trop aiguës. Il joue un rôle secondaire.

La fréquence propre de l'ensemble dépend des dimensions et de la disposition des briques ( $e$ ,  $d$ ,  $l$ ) et de l'épaisseur de la lame d'air ou de la couche de laine minérale (3) plus ou moins tassée entre le mur et la grille de briques.

Une telle paroi peut être absorbante pour une fréquence grave, mais unique.

#### 3.2 Résonateurs à fentes multiples

On peut faire varier entre des limites considérablement écartées les fréquences propres des résonateurs par simple réglage des distances  $d$  entre les briques.

Si nous construisons des grilles dont les briques s'écartent et se rapprochent entre elles suivant une loi choisie, le facteur de Sabine variera également de façon continue suivant les coordonnées de la surface de la paroi.

Nous pouvons donc obtenir toutes les absorptions de sons que nous voulons, simplement en réglant la disposition des briques sans employer aucun matériau spécial.

La seule précaution à prendre est d'observer une disposition correcte des briques. La figure 6 donne un exemple d'une telle disposition.

#### 3.3 Exemples pratiques

Nous terminons cet article par des exemples de réalisations :

— parois latérales de studios TV du centre RTB de Liège

La figure 6 montre la disposition des blocs formant le résonateur. La figure 7 donne une photographie d'environ 10 m<sup>2</sup> d'une paroi.

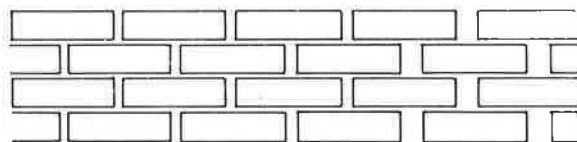


Fig. 6 — Disposition des blocs d'une paroi absorbante. Résonateurs à fentes multiples (studio TV du centre RTB de Liège).

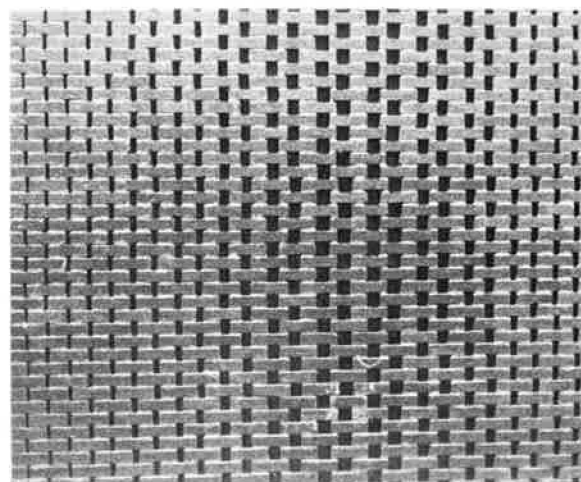


Fig. 7 — Photographie de 10 m<sup>2</sup> de cette paroi.

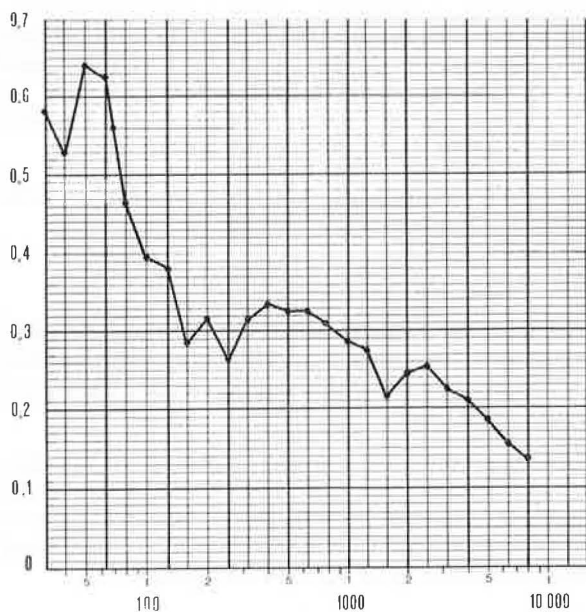


Fig. 8 — Courbe d'absorption de sons graves d'une paroi de 10 m<sup>2</sup> (chambre de réverbération de la station expérimentale du C.S.T.C., Limelette).  
En abscisse, fréquence (Hz)  
En ordonnée, facteur de Sabine

Notons que les blocs utilisés pour la paroi absorbante ont pu être choisis par les architectes qui ont eu une grande liberté. Les distances ont été calculées par les ingénieurs.

La figure 8 donne la courbe d'absorption obtenue dans la chambre de réverbération de la station expérimentale du C.S.T.C. sur un échantillon de 10 m<sup>2</sup>. Cette paroi absorbante est en service depuis 2 ans. Elle n'a pas donné lieu à des observations.

La RTB prévoit des parois identiques dans le futur centre de Mons.

Des parois semblables ont été adoptées à l'étranger.

— parois dont la disposition des briques donne

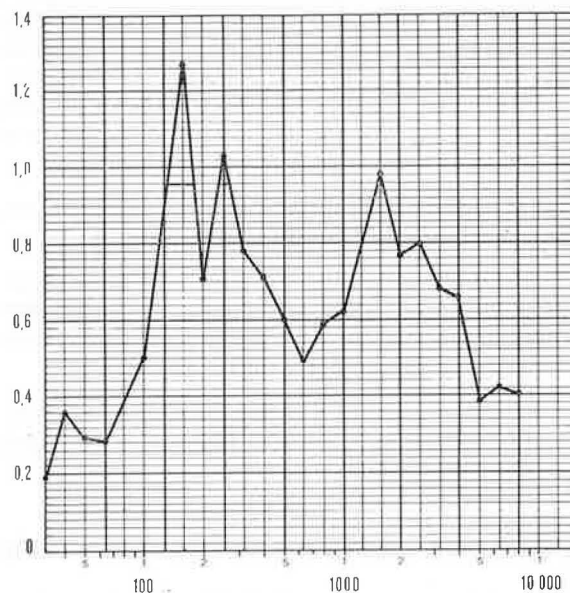


Fig. 9 — Courbe d'absorption de sons graves à deux maxima séparés, due à une autre disposition des briques.  
En abscisse, fréquence (Hz)  
En ordonnée, facteur de Sabine

des courbes d'absorption à deux maxima séparés.

La figure 9 est un exemple.

#### 4. CONCLUSIONS

On peut obtenir des parois absorbantes ayant des caractéristiques absolument quelconques, aussi élevées qu'on le désire aux fréquences les plus basses, sans sacrifier les fréquences aiguës.

Les matériaux spéciaux sont inutiles. On peut se servir exclusivement de matériaux courants utilisés dans l'industrie du bâtiment. La fiabilité est prouvée par plusieurs années de service en Belgique et à l'étranger.

Les types de parois décrits dans cet article sont incombustibles.

L. Laret (\*)  
J. Lebrun (\*\*)  
D. Marret (\*\*\*)  
P. Nusgens (\*\*\*\*)

3

# ETUDE EXPERIMENTALE SUR L'EFFICACITE DE LA VENTILATION MECANIQUE CONTROLEE DANS UN LOCAL D'HABITATION

## 1. INTRODUCTION

Cette étude fait partie de la recherche « Circuits aérauliques — ventilation mécanique contrôlée » subventionnée par l'I.R.S.I.A. à l'intervention du Syndicat IC-IB.

Elle a été effectuée de juillet 1975 à mai 1976 à l'Institut de Thermodynamique de l'Université de Liège.

Son objet principal était de déterminer la « qualité du balayage » dans un local d'habitation.

Septante-cinq essais ont été réalisés dans la chambre climatique qui avait servi précédemment pour la recherche sur le confort thermique (1974-1975) également subventionnée par l'I.R.S.I.A. à l'intervention du Syndicat IC-IB (\*\*\*\*\*).

L'installation a été complétée notamment par un appareillage de mesure de la concentration en gaz traceur CO<sub>2</sub>.

La méthode expérimentale et les résultats obtenus sont décrits de façon plus détaillée dans le rapport de recherche (\*\*\*\*\*) et dans un article (\*\*\*\*\*) publiés par la Faculté des Sciences appliquées de l'Université de Liège.

## 2. ENONCÉ DU PROBLEME

En principe, pour une installation de ventilation mécanique contrôlée, on a la possibilité de choisir les modalités de soufflage (position de la bouche, orientation et vitesse initiale de l'air) et de reprise (position de la bouche). Ce choix doit permettre de satisfaire les exigences de confort thermique et d'atteindre la meilleure efficacité de renouvellement d'air.

### 2.1 Exigences de confort thermique

Il faut éviter tout risque de gêne locale, c'est-à-dire pratiquement tout risque de pénétration du jet d'air neuf dans la zone d'occupation. L'évaluation de ce risque peut être faite à partir des mesures de températures et de vitesses d'air, qui permettent de déterminer une température équivalente d'égal échange (\*\*\*\*).

### 2.2 Efficacité du renouvellement d'air

Pour une contamination donnée de l'ambiance intérieure, il s'agit soit de maintenir la concentration en contaminant en dessous du maximum admissible avec un renouvellement d'air minimal, soit de « purger » le plus rapidement possible la zone d'occupation avec un débit d'air

(\*) Assistant à la Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

(\*\*) Maître de Conférences à la Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

(\*\*\*) Chercheur, département des recherches, C.S.T.C.

(\*\*\*\*) Premier assistant à la Faculté des Sciences Appliquées, Université de Liège.

(\*\*\*\*\*) Voir bibliographie n° 9 et 11.

(\*\*\*\*\*) Voir bibliographie n° 7.

(\*\*\*\*\*) Voir bibliographie n° 8.

frais imposé. C'est ce dernier point de vue qui a été retenu pour les essais. Le local étant ventilé continuellement, on contamine l'air initialement pur en injectant un gaz traceur à travers la bouche de soufflage. De cette façon, toute perturbation locale dans la circulation naturelle de l'air à l'intérieur du local est évitée.

Dans cette recherche, on s'est proposé de répondre en particulier aux questions suivantes :

- quelles sont les conditions de soufflage nécessaires pour éviter tout risque de gêne dans la zone d'occupation du local ?
- existe-t-il une disposition de soufflage et de reprise plus efficace que les autres en ce qui concerne la décontamination de l'air du local ? Peut-on établir une classification des différentes dispositions et conditions de soufflage ?
- comment procéder pratiquement au contrôle des conditions de confort et à la mesure des taux de renouvellement d'air dans les logements ?

### 3. SITUATIONS EXAMINÉES

#### 3.1 Conditions générales

Les essais ont été effectués dans une chambre climatique représentant un local d'habitation de  $3,45 \text{ m} \times 4,80 \text{ m} \times 2,70 \text{ m}$  et constituant un volume  $V = 44,7 \text{ m}^3$  (fig. 1).

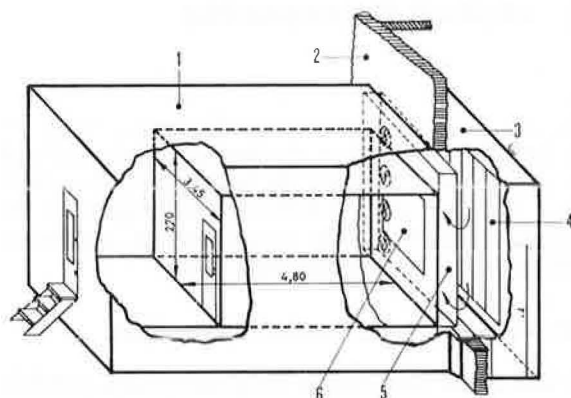


Fig. 1 — Chambre climatique.

1. enveloppe isolante et caisson de compensation
2. maçonnerie
3. enveloppe isolante de l'ambiance extérieure
4. échangeur à plaques
5. veine d'air extérieur
6. vitrage

La chambre climatique comporte une seule paroi extérieure dénommée « façade » pour laquelle ont été simulés un vitrage double et une partie opaque bien isolée (\*).

Le chauffage est assuré par un radiateur à panneau simple disposé en allège. La température résultante au centre du local et la température extérieure sont fixées respectivement à  $t_{R} = 22^{\circ}\text{C}$  et  $t_e = -3^{\circ}\text{C}$ .

L'effet du vent est obtenu par une circulation d'air tangentielle à la façade atteignant  $3,5 \text{ m/s}$ .

#### 3.2 Dispositions des orifices de soufflage et de reprise

On a considéré uniquement le cas de la reprise à la partie haute ou basse d'une porte placée dans la paroi opposée à la « façade ». On a examiné 6 dispositions des orifices de soufflage et de reprise (fig. 2).

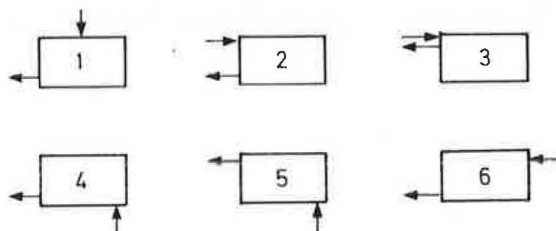


Fig. 2 — Dispositions des orifices de soufflage et de reprise.

La disposition 1 est celle de l'anémostat de plafond avec une reprise basse, de manière à éviter tout risque de court-circuit.

Les dispositions 2 et 3 sont en principe les plus économiques.

Les dispositions 4 et 5 correspondent à l'injection au dos du corps de chauffe et devraient par conséquent être les plus confortables en raison du mélange du jet de ventilation avec celui issu de la source de chaleur.

Enfin la disposition 6 représente le cas d'une ventilation contrôlée uniquement à la reprise avec aspiration de l'air frais en façade, mais elle n'a été envisagée qu'à titre indicatif.

#### 3.3 Conditions de soufflage

La ventilation est réalisée suivant trois débits ; 25, 50 et  $100 \text{ m}^3/\text{h}$ , soit pratiquement  $1/2$ , 1 et 2 vol/h, avec une vitesse de  $1,5$  à  $6 \text{ m/s}$  afin de rester dans des limites acoustiques acceptables et une température allant de  $10$  à  $22^{\circ}\text{C}$ ,  $10^{\circ}\text{C}$  correspondant au cas d'un récupérateur avec un rendement de  $50\%$  (échangeur à plaques avec faible effet de contre-courant) et  $22^{\circ}\text{C}$  étant la solution de « grand luxe » avec réchauffeur.

Toutes les combinaisons entre ces variables n'ont pu être retenues. On s'est limité à celles qui semblaient les plus intéressantes pour les résultats pratiques.

On a procédé tout d'abord à des essais de confort afin de n'examiner la qualité du balayage par gaz traceur que pour les situations où il n'y avait pas de risque de retombée du jet dans la zone d'occupation.

D'autre part, pour tous les essais, on disposait d'un bilan thermique de la chambre, réparti en  $\approx 400 \text{ W}$  consommés par la façade,  $150 \text{ W}$  par les parois intérieures,  $0$  à  $\approx 400 \text{ W}$  par la ventilation, soit au total  $550$  à  $950 \text{ W}$ .

(\*) Voir bibliographie n° 5, 9 et 11.



#### 4. MÉTHODE DE MESURE PAR GAZ TRACEUR(\*)

La méthode de mesure par gaz traceur a été développée en génie chimique dans le but de déterminer le temps de séjour moyen dans les réacteurs. Les principes de cette méthode peuvent être retenus pour déterminer expérimentalement le taux de renouvellement d'air dans un local d'habitation.

Le gaz traceur injecté ne doit pas perturber l'écoulement de façon notable. Il faut donc que ses propriétés physiques se rapprochent le plus possible de celles du fluide injecté. D'autre part, les conditions expérimentales nécessitent l'emploi d'une substance abondante, non toxique, peu coûteuse, et dont la concentration soit facilement mesurable. Pour ces diverses raisons, le gaz carbonique ( $\text{CO}_2$ ) a été retenu pour les essais proposés.

La méthode est basée sur la technique du signal réponse consistant à introduire une concentration en gaz traceur a priori quelconque mais bien déterminée, et à mesurer l'évolution de cette concentration dans les divers points du local.

La réponse à une impulsion théorique (temps d'injection  $\tau_i \rightarrow 0$ ) dans le cas d'un mélange parfait est illustrée à la figure 3 et est donnée suivant la relation

$$C = C_0 e^{-n\tau}$$

avec  $n$  taux de renouvellement d'air

$C_0$  concentration en fin d'injection

$C$  concentration à l'instant  $\tau$  compté à partir de la fin de l'injection



Fig. 3 — Mélange parfait. La probabilité de trouver le traceur injecté est au temps  $\tau$  constante dans tout le volume.

$$n = \dot{V}/V$$

$$C_0 = V_i/V$$

$$C/C_0 = e^{-n\tau}$$

Pour les essais on s'est rapproché le plus possible de cette impulsion théorique.

La quantité de gaz traceur injectée  $V_i$  est fixée de manière à obtenir une amplitude de réponse compatible avec la gamme de l'appareil de mesure. Dans l'analyseur utilisé, celle-ci correspond à une concentration de 1 % à fond d'échelle. On a choisi de réaliser un ressaut théorique d'environ 0,6 % correspondant à une quantité  $V_i = 0,270 \text{ m}^3$ .

Pour un temps d'injection  $\tau_i = 2$  minutes avec un volume injecté de  $0,270 \text{ m}^3$ , on reste environ 3 % en dessous de la concentration théorique initiale  $C_0$  (il y a déjà des pertes pendant l'injection).

(\*) Voir bibliographie n° 2, 4 et 12.

(\*\*) Voir bibliographie n° 5, 9 et 11.

Cet écart (3 %) est du même ordre de grandeur que la précision de la mesure.

Le système d'injection utilisé permet de maintenir un débit total constant et égal au débit nominal.

#### 5. MOYENS MIS EN OEUVRE

##### 5.1 Chambre climatique

Le microclimat est déterminé suivant des distributions de températures d'air et de températures résultantes mesurées par une cinquantaine de sondes fixes réparties à l'intérieur de la zone d'occupation ainsi que par des relevés de températures et de vitesses d'air au moyen de deux sondes à thermistance montées sur un dispositif de translation télécommandé de l'extérieur et permettant une scrutation en n'importe quel point de l'ambiance (\*\*).

D'autre part au niveau des parois, les températures superficielles et les densités de flux sont mesurées en 80 points.

Un bilan thermique complet de l'installation peut donc être établi compte tenu des débits d'enthalpie de la source de chaleur et de la ventilation.

##### 5.2 Circuits aérauliques et circuit d'injection du gaz traceur $\text{CO}_2$ (fig. 4)

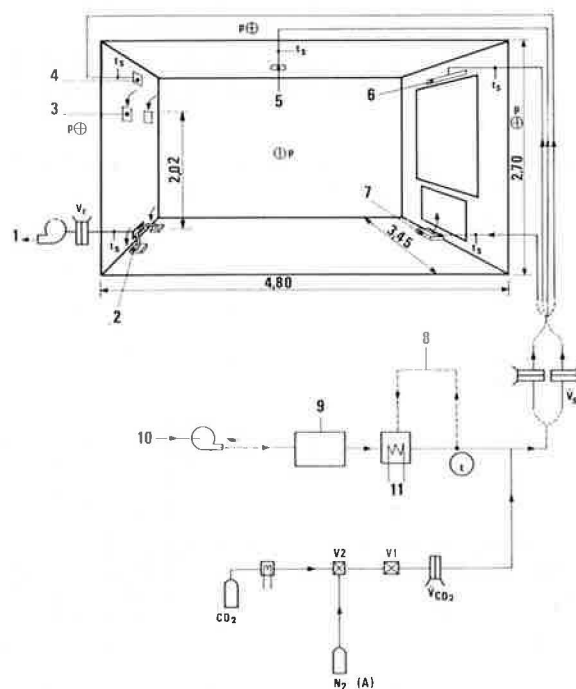


Fig. 4 — Circuit d'air et circuit d'injection du gaz traceur  $\text{CO}_2$ .

1. air vicié - 2. reprise basse - 3. reprise haute - 4. bouche en opposition - 5. anémostat de plafond - 6. bouche en façade - 7. bouche au sol - 8. régulation proportionnelle - 9. batterie froide - 10. air neuf - 11. réchauffeur

(A) purge  
p pression  
 $\dot{V}$  débit  
t température

Quatre bouches de soufflage sont respectivement disposées au plafond, en opposition, au sol et en façade. Les deux positions de l'orifice de reprise sont simulées au moyen de deux bouches mobiles placées contre la paroi opposée à la façade : au sol (reprise basse) et à 2 m de hauteur (reprise haute).

Les circuits d'injection et de reprise sont conçus de manière à permettre l'équilibrage de la pression de la chambre climatique par rapport à celle du laboratoire (afin de réduire l'importance des fuites incontrôlées). Des prises de pression statique sont disposées dans la chambre climatique, dans la veine d'air à l'extérieur de la façade, dans le caisson de refroidissement et dans le caisson de conditionnement du plafond et de la paroi opposée à la façade.

La contamination en  $\text{CO}_2$  se fait par le circuit de ventilation. Pour réaliser une impulsion de forme rectangulaire, on purge tout le circuit par injection d'azote avant et après l'injection de  $\text{CO}_2$ .

### 5.3 Equipement de mesure de la concentration en $\text{CO}_2$

La concentration en  $\text{CO}_2$  est mesurée en neuf points à l'intérieur de la chambre (fig. 5) :

- un point à la reprise d'air (1)
- six points à 1,50 m de hauteur dont un au centre (5) et cinq à la périphérie de la zone d'occupation (2, 3, 4, 6 et 7)
- deux points sur la verticale centrale (8 et 9) à proximité respectivement du plafond et du sol.

La concentration de l'air ambiant du laboratoire est contrôlée à un dixième point.

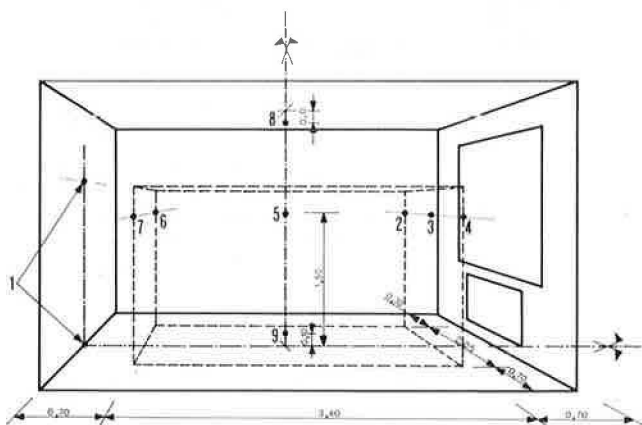


Fig. 5 — Position des points de mesure de concentration en  $\text{CO}_2$  dans la chambre climatique.

- zone d'occupation
- 1. à la reprise d'air
- 2, 3, 4, 5, 6, 7. à 1,50 m du sol
- 8. à 0,10 m du plafond
- 9. à 0,10 m du sol

L'appareil de mesure est un analyseur de gaz à absorption sélective dans l'infra-rouge (Onera type 80). Il est étalonné avant chaque essai (fig. 6).

(\*) Voir bibliographie n° 9 et 11.

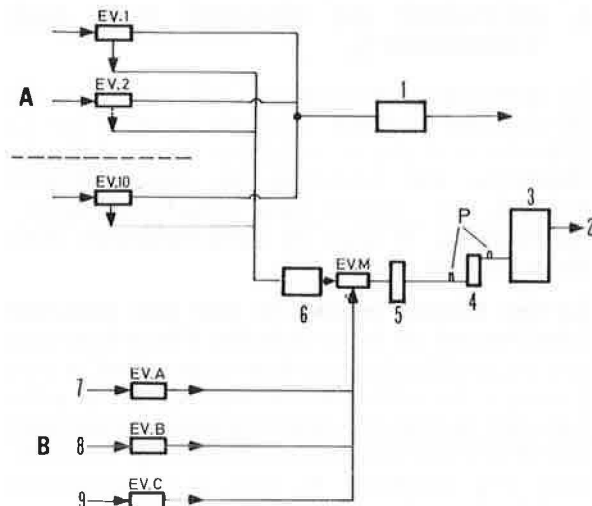


Fig. 6 — Circuit des points de mesure de la concentration en  $\text{CO}_2$  et de l'étalonnage.

- A. circuit des points de mesure
- B. étalonnage
- EV. électrovanne
- 1. pompe de vidange
- 2. sortie
- 3. mesure
- 4. rotamètre
- 5. filtre
- 6. pompe de mesure
- 7.  $\text{N}_2$
- 8.  $\text{CO}_2$
- 9. air
- p. pression

L'ensemble des équipements d'injection et de mesure du  $\text{CO}_2$  ainsi qu'une base de temps enclenchée au début de l'injection sont connectées à l'unité de mesure. Celle-ci commande l'ouverture successive des vannes du circuit de mesure pendant le temps nécessaire à l'analyse (30 s) (fig. 6).

Les cycles de mesure correspondent à l'analyse séquentielle des dix points et sont répétés toutes les 5 minutes durant l'essai.

L'adresse de chacun de ces points et le signal correspondant fourni par l'analyseur sont enregistrés sur bande perforée.

### 5.4 Dépouillement des mesures sur ordinateur

Pour toutes les mesures concernant le microclimat intérieur et les échanges thermiques correspondants, on a réutilisé le programme de dépouillement mis au point à l'occasion de la recherche sur le confort thermique (\*). Ce programme a été complété pour tenir compte de la nature particulière des mesures de contamination.

## 6. RÉSULTATS DES ESSAIS

### 6.1 Essais d'étanchéité de la chambre climatique

La circulation de l'air extérieur à proximité de la façade crée une dépression relativement importante; il en résulte une fuite qui est évaluée par des mesures aérauliques à 0,14 vol/h lorsque la chambre climatique est en équilibre

de pression avec le laboratoire. Les mesures avec gaz traceur  $\text{CO}_2$  sans ventilation du local donnent le même ordre de grandeur (0,136 vol/h); ces dernières ont permis également de déceler une fuite de 0,043 vol/h en l'absence de circulation d'air extérieur.

## 6.2 Essais sur le confort

On a défini une vitesse maximale de soufflage suivant le type de bouche et la section contractée.

L'allure du champ de vitesses dans le plan axial est représentée à la figure 7 pour les situations les plus typiques. Les variations de température d'air sont toujours négligeables dans la zone d'occupation; on ne les a donc pas reportées sur les graphiques.

Dans aucun des cas considérés, la ventilation n'affecte sensiblement le confort thermique global, pas plus que les échanges au niveau des parois. En effet, le champ des températures résultantes reste pratiquement inaltéré et la vitesse moyenne de l'air demeure toujours inférieure à 0,10 m/s dans la zone d'occupation.

Avec « l'anémostat » de plafond (fig. 7, a), le jet radial diffuse très rapidement et est fortement soutenu par effet Coanda (dépression entre le jet et la paroi attenante).

Dans le cas du soufflage à travers la bouche de faible allongement et disposée en partie haute de la paroi opposée à la « façade », il apparaît dans certaines situations (fig. 7, d et 7, e) une retombée du jet de ventilation à l'intérieur de la zone d'occupation avec des vitesses d'air localement excessives. Ainsi, on atteint une vitesse de 0,32 m/s à 1,80 m du sol sur la verticale centrale (fig. 7, e) accompagnée d'un effet de turbulence ( $\sigma/u \approx 20\%$ ) (fig. 8). Cette retombée du jet est due à l'effet de la poussée d'Archimède et est donc liée à l'écart entre la température de soufflage et celle de l'ambiance intérieure. Au fur et à mesure que croît cet écart de température, il faut, pour un même débit, augmenter la vitesse de soufflage afin de donner au jet une « portée » suffisante au-dessus de la zone d'occupation. Ceci est illustré à la figure 9 (p. 22) où ont été tracées les isovitesses dans le

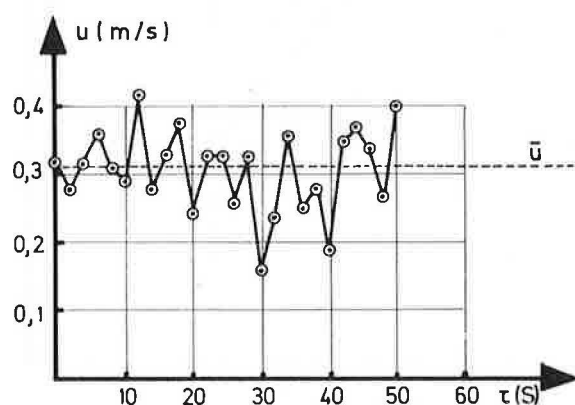
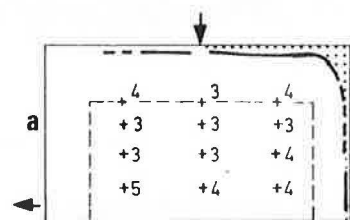


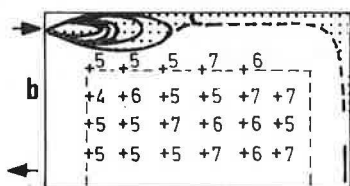
Fig. 8 — Exemple d'oscillation temporelle de la vitesse.  
En abscisse,  $\tau$  (s)  
En ordonnée,  $u$  (m/s)

$\dot{V}$  ( $\text{m}^3/\text{h}$ )     $t_s$  ( $^{\circ}\text{C}$ )     $u$  (m/s)

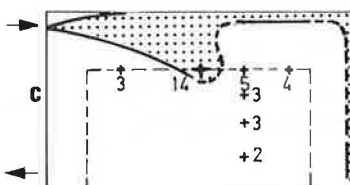
50    13,6    5,2



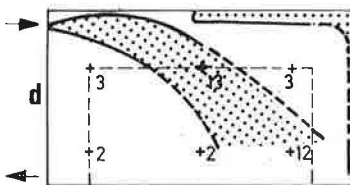
50    11,5    4,7



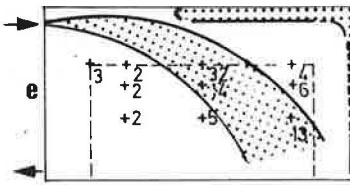
49,5    15,7    4,6



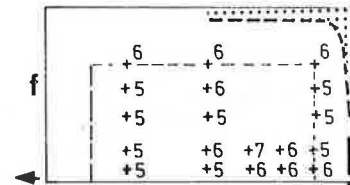
50    15,4    2,5



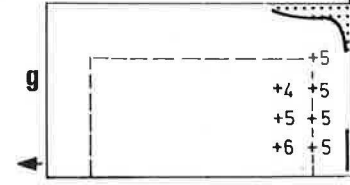
98,7    15,8    2,3



51    11,9    4,4



50    12,1    5,4



50    2,5    5,4

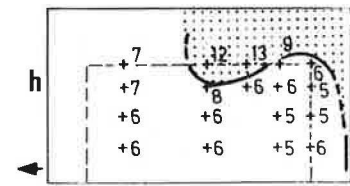


Fig. 7 — Représentation du champ de vitesses dans le plan axial pour les situations les plus typiques.

Conditions de soufflage :

$\dot{V}$  débit ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$t_s$  température ( $^{\circ}\text{C}$ )

$u$  vitesse (m/s)

--- délimitation de la zone d'occupation

+ vitesse  $u$  (cm/s)

en grisé,  $u > 10$  cm/s

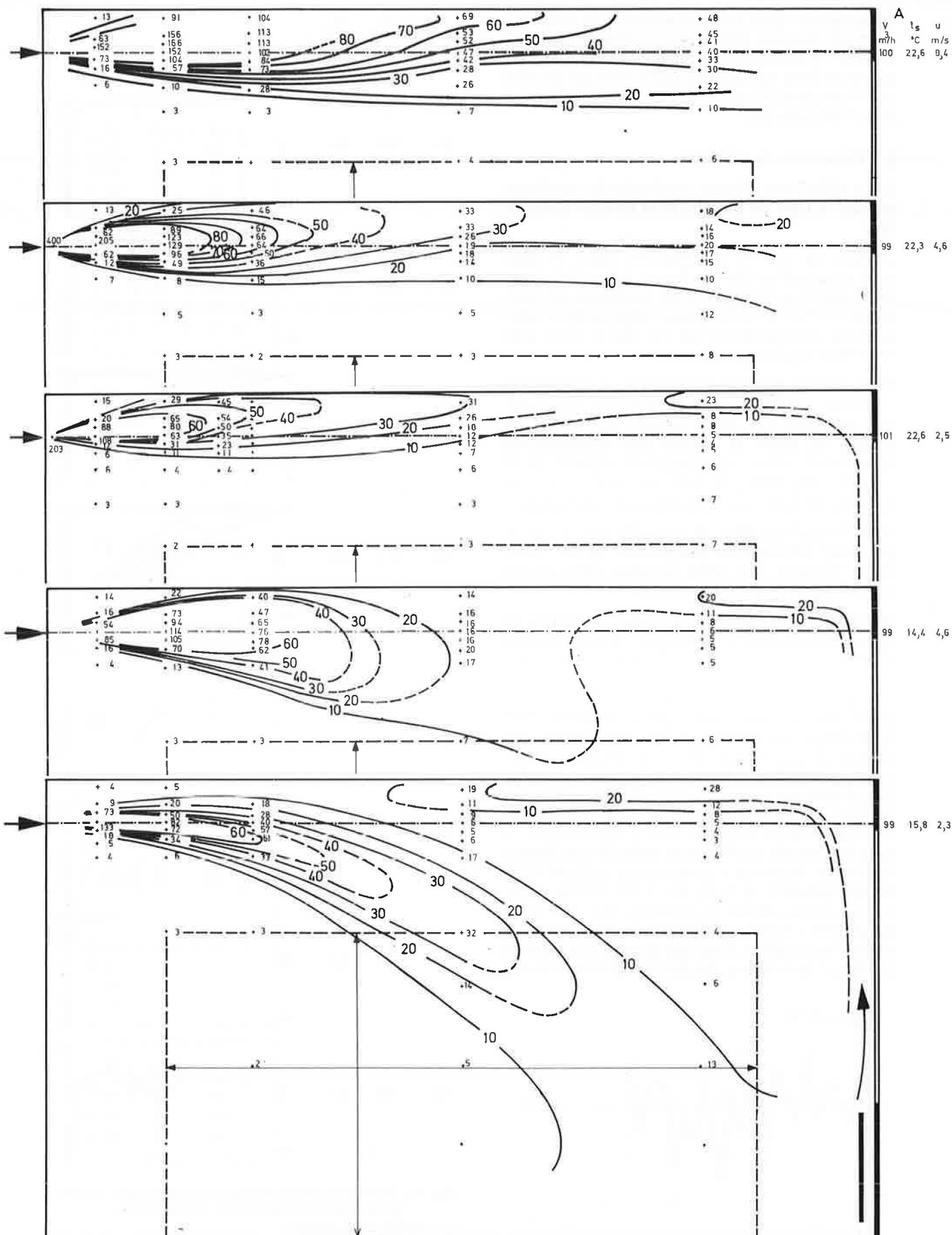


Fig. 9 — Exemples d'isovitalités dans le jet de ventilation.

Conditions de soufflage :

$\dot{V}$  débit ( $\text{m}^3/\text{h}$ )

$t_s$  température ( $^{\circ}\text{C}$ )

u vitesse (m/s)

jet de ventilation. On constate d'autre part que le jet de convection naturelle issu de la source de chaleur a lui-même une plus grande portée lorsqu'il y a retombée du jet de ventilation.

Dans le cas de l'injection au sol derrière le corps de chauffe (fig. 7, f), le jet de ventilation se mélange au jet de convection naturelle issu de la source et il n'y a pratiquement aucun risque de retombée.

Avec l'injection en façade (fig. 7, g et 7, h), on bénéficie encore d'un fort effet Coanda en raison de l'allongement de la bouche de soufflage et encore d'un mélange partiel du jet de ventilation avec celui provenant du corps de chauffe. Ceci explique sans doute que dans cette situation (fig. 7, h), le jet froid ne pénètre pas très profondément à l'intérieur de la zone d'occupation.

### 6.3 Essais au gaz traceur

Une cinquantaine d'essais de contamination au  $\text{CO}_2$  couvrent les différentes modalités d'injection et de reprise envisagées antérieurement (§ 3.2 et 3.3, p. 18) à l'exclusion de celles qui ont été jugées inconfortables.

A titre indicatif, une dizaine de ces essais ont été réalisés en conditions strictement isothermes, alors que tous les autres correspondaient aux mêmes conditions nominales (températures respectivement de 22 et  $-3^\circ\text{C}$  à l'intérieur et à l'extérieur du local).

Sur base des premiers résultats obtenus, il a été décidé de procéder au brassage de l'air par des petits ventilateurs uniquement pendant

l'injection du gaz traceur. Cette procédure fait évidemment perdre l'information propre à la réponse impulsionnelle au bénéfice d'une contamination initiale mieux définie dans tout le local.

Enfin pour certains essais qui servent de références, on a effectué un brassage continu durant toute la période de mesure, de manière à se rapprocher le plus possible des conditions de « mélange parfait ».

Sauf pour quelques essais isothermes, les écarts entre le taux de renouvellement d'air « fictif » résultant de l'analyse au gaz traceur  $n'$  et le taux de renouvellement d'air réel  $n$  sont toujours relativement faibles et pratiquement peu significatifs. La dispersion moyenne est à peine de l'ordre de  $\pm 10\%$  pour l'ensemble des essais réalisés aux conditions nominales.

A l'exception encore de quelques essais isothermes très particuliers, le coefficient de corrélation relatif à la décontamination au point central est supérieur à 0,99 dans tous les cas.

Enfin, l'hétérogénéité spatiale du contaminant est toujours aussi relativement faible (au plus de l'ordre de  $\pm 10\%$ ). C'est uniquement au voisinage du plafond que l'on peut discerner un écart systématique de l'ordre de  $-10\%$  en moyenne pour l'ensemble des situations examinées sans brassage continu et en conditions anisothermes.

Deux exemples de décontamination en conditions anisothermes sont donnés à la figure 10.

Les diagrammes sont présentés en coordonnées semi-logarithmiques réduites :

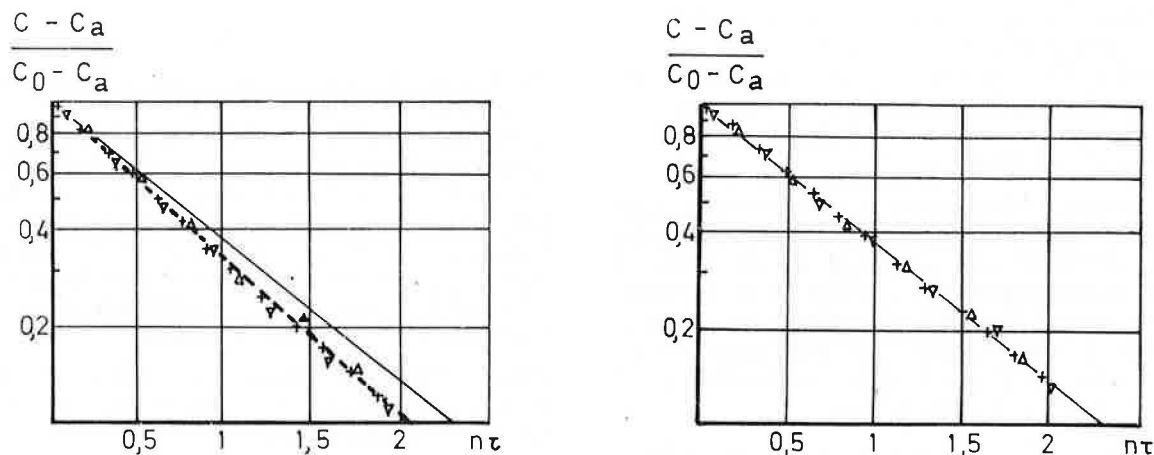


Fig. 10 — Essais en conditions nominales. Bouche de soufflage en opposition avec reprise basse.  
 $\dot{V} = 54 \text{ m}^3/\text{h}$   $u = 8,1 \text{ m/s}$ .

- A gauche, brassage pendant l'injection
  - $e^{-n\tau}$  (décontamination théorique)
  - - -  $e^{-1,12 n\tau}$  (régression expérimentale)
  - $r = 0,998$  (coefficient de corrélation)
- A droite, brassage continu
  - $e^{-n\tau}$  (décontamination théorique)
  - $r = 0,9995$  (coefficient de corrélation)
  - + sur la verticale centrale à 1,50 m au-dessus du sol
  - $\Delta$  sur la verticale centrale à 0,10 m du plafond
  - $\nabla$  sur la verticale centrale à 0,10 m du sol



— en ordonnée, la contamination relative

$$\frac{C - C_a}{C_0 - C_a} \text{ (échelle logarithmique)}$$

avec  $C_0$  contamination initiale

et donc

$$0 \leq \frac{C - C_a}{C_0 - C_a} \leq 1$$

— en abscisse, le temps réduit  $n\tau$  (échelle linéaire)

avec  $n$  taux de renouvellement d'air réel

$n\tau$  se compte donc en constantes de temps de la chambre climatique (le temps  $\tau$  est mesuré à partir de la fin de l'injection du gaz traceur).

Dans cette représentation, la loi de décontamination apparaît comme une droite passant par

$\frac{C - C_a}{C_0 - C_a} = 1$  pour  $n\tau = 0$  et de pente  $-n$ , si le mélange peut être considéré comme parfait.

On a représenté en trait continu la droite de décontamination théorique qui correspondrait au mélange parfait et en traits interrompus la droite de régression correspondant au point central (à 1,50 m du sol).

Pour l'ensemble des essais anisothermes qui ont été réalisés, on peut dire que la décontamination suit toujours de très près celle correspondant au brassage parfait de l'air dans le local.

## 7. ANALYSE ET INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS

### 7.1 Confort thermique

Il ne semble pas y avoir de risque d'inconfort avec l'injection d'air au moyen de l'anémostat de plafond ou par une bouche disposée au sol derrière le corps de chauffe. Les vitesses d'air dans la zone d'occupation du local restent partout négligeables ( $\leq 0,1$  m/s).

Par contre, l'introduction d'air par une bouche dans le haut de la paroi opposée à la façade peut entraîner une retombée du jet dans la zone d'occupation sous l'effet de la poussée d'Archimède. Or cette disposition est particulièrement intéressante, car elle permet une distribution beaucoup plus économique de l'air dans les différents locaux.

Dans ce dernier cas, on peut esquisser la ligne axiale du jet d'air par une parabole du type

$$\frac{z}{\sqrt{A}} = K A_r \left[ \frac{x}{\sqrt{A}} \right]^3 \quad (*)$$

avec  $z$  déflexion verticale du jet (fig. 11)

$x$  distance par rapport à la bouche de soufflage

$A$  section nette de la bouche de soufflage

$K$  constante expérimentale

$A_r$  nombre d'Archimède défini au niveau de la bouche de soufflage

$$A_r = \frac{g \beta \Delta t \sqrt{A}}{u^2}$$

où  $g$  accélération de la pesanteur

$\beta$  coefficient d'expansion thermique du gaz  $\approx 1/T$   $K^{-1}$

$\Delta t$  écart entre la température de soufflage et celle de l'ambiance

$u$  vitesse de soufflage, supposée uniforme (m/s)

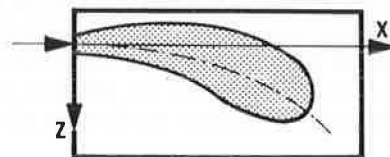


Fig. 11 — Déviation du jet de ventilation sous l'effet de la poussée d'Archimède.

$z$  déflexion verticale du jet;  $z_{\max} = 2,45$  m

$x$  distance par rapport à la bouche de soufflage;  $x_{\max} = 4,80$  m

Pour une bouche de faible allongement, relativement écartée du plafond et dont la section nette diffère peu de la section brute, on a selon Jackman (\*\*)

$$K \approx 0,04$$

On peut d'autre part calculer la section nette de la bouche de soufflage  $A$  en fonction du débit  $\dot{V}$  ( $m^3/h$ ) et de la vitesse de soufflage  $u$  (m/s).

$$A = \frac{\dot{V}}{3.600 u}$$

Enfin, avec une longueur de la zone d'occupation de  $x \approx 4$  m, on obtient

$$z \approx 5,16 \frac{\Delta t}{u^{3/2} \dot{V}^{1/2}} \text{ (m)}$$

Ainsi, par exemple, dans le cas de la situation donnée à la figure 7, e, on obtient  $z = 1,75$  m, c'est-à-dire que le jet est pratiquement retombé jusqu'au sol avant d'atteindre la façade. Cette estimation est en très bon accord avec les résultats des mesures. Pour la situation donnée à la figure 7, c, on a  $z = 0,80$  m, ce qui signifie que le jet effleurerait à peine le haut de la zone d'occupation comme le confirment effectivement les résultats expérimentaux.

Pour éviter tout risque d'inconfort, on peut imposer la condition  $z \leq 0,50$  m pour  $x \approx 4$  m, ce qui correspond ici à

$$u \geq 4,7 \frac{\Delta t^{2/3}}{\dot{V}^{1/3}}$$

En appliquant ce critère, on obtient les vitesses minimales données dans le tableau 1 pour les différents écarts de température et débits envisagés dans le cadre de cette recherche.

On peut aussi dans une certaine mesure réduire la déflexion verticale du jet en utilisant une bouche plus allongée et disposée très près du

(\*) Voir bibliographie n° 1, 3, 6 et 13.

(\*\*) Voir bibliographie n° 6.

Tableau 1 — Vitesses de soufflage minimales en fonction de l'écart de température et du débit pour la bouche disposée « en opposition » par rapport à la façade

$\Delta t$ (K) \ $\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	3,5	7	12,5	25
25	3,7	5,9	8,7	13,8
50	3,0	4,7	6,9	11,0
100	2,3	3,7	5,5	8,7

plafond. Il se crée alors une dépression favorable au-dessus du jet (effet Coanda) qui est notamment bien confirmée par les résultats expérimentaux de Jackman (\*).

## 7.2 Interprétation des mesures effectuées au moyen du gaz traceur

### 7.21 Limitation de la technique par gaz traceur

La précision de l'appareillage utilisé et ses limitations introduisent une erreur sur l'évaluation du taux de renouvellement d'air.

Les principales sources d'imprécision sont les suivantes :

— erreur de mesure de l'analyseur au CO<sub>2</sub> (défaut de linéarité) :

$$|\Delta C| \simeq 0,01 \%$$

— temps de réponse de l'analyseur; avec la période de mesure fixée à 30 s, il subsiste une erreur :

$$\frac{\Delta C}{C} \simeq 0,0045$$

— erreur de zéro (dérivée de la concentration résiduelle en CO<sub>2</sub> dans l'air ambiant) :

$$|\Delta C| \simeq 0,015 \%$$

On peut montrer que la précision finale sur le taux de renouvellement d'air  $n$  est la meilleure en prolongeant les mesures sur une période de l'ordre de deux fois la constante de temps du local.

L'erreur maximale possible serait alors :

$$\left| \frac{\Delta n}{n} \right| \simeq 7,5 \%$$

### 7.22 Ecart par rapport au mélange parfait

La situation la plus proche du mélange parfait est celle où l'on brasse artificiellement l'air au moyen de petits ventilateurs pendant toute la durée de l'essai (fig. 10, p. 23).

Nous avons déjà signalé que pratiquement toutes les situations examinées, en conditions anisothermes, se rapprochent très fort du mélange parfait.

En ce qui concerne la convection forcée, on peut montrer par la théorie des jets que le taux

de brassage intérieur  $n_b$  augmente en fonction du débit de quantité de mouvement de la source  $\dot{I}$  selon une loi du type :

$$n_b \propto (\dot{I})^{1/2}$$

$$\text{avec } \dot{I} = \rho \left[ \frac{\dot{V}}{3.600} u \right] \quad [N]$$

où  $\rho$  masse volumique ( $\simeq 1,2 \text{ kg/m}^3$ )

$\dot{V}$  débit de soufflage (m<sup>3</sup>/h)

$u$  vitesse de soufflage (m/s)

Les quelques essais effectués en conditions strictement isothermes montrent que ce brassage est déjà pratiquement parfait dès que le débit de quantité de mouvement dépasse  $\simeq 0,1 \text{ N}$ .

Avec les débits d'air envisagés ici, ce seuil est atteint pour les vitesses données dans le tableau 2.

Tableau 2

$\dot{V}$ (m <sup>3</sup> /h)	25	50	100
$u$ (m/s) (*)	12	6	3

(\*) Il s'agit toujours de vitesses maximales dans la section contractée.

Mais l'action de la convection naturelle est encore plus importante. On peut d'ailleurs évaluer le brassage qui y correspond en assimilant par exemple le radiateur en allège à une demi-source linéique (\*\*).

On obtient

$$n_b \simeq 0,7 \dot{Q}_c^{1/3}$$

avec  $n_b$  (vol/h)

$\dot{Q}_c$  émission convective du radiateur (W)

Dans le cas étudié  $\dot{Q}_c$  représente  $\simeq 65 \%$  de l'émission totale  $\dot{Q}$  du radiateur, compte tenu de la fraction du flux radiatif au dos qui est restituée sous forme convective par l'allège ( $\simeq 15 \%$  de  $\dot{Q}$ ).

Pour une émission moyenne de l'ordre de 500 W dans les situations examinées ici, on trouve ainsi un taux de brassage relativement élevé :

$$n_b \simeq 4 \text{ vol/h}$$

Dans la pratique, le brassage intérieur dû à la convection naturelle est toujours très important. En plus de la source de chauffage, on devrait tenir compte de la présence des occupants eux-mêmes ( $\dot{Q}_c \simeq 40 \text{ W/personne}$ ), de l'éclairage ou de l'insolation éventuelle à travers les fenêtres, etc.

## 8. CONCLUSIONS

Les résultats permettent d'apporter les réponses suivantes aux trois questions initialement posées (§ 2, p. 18) :

(\*) Voir bibliographie n° 6.

(\*\*) Voir bibliographie n° 10.

- parmi les dispositions envisagées, seul le soufflage horizontal à travers une bouche disposée « en opposition » par rapport à la façade peut provoquer un certain inconfort.

Cet inconfort est dû à une retombée du jet dans la zone d'occupation du local sous l'effet de la poussée d'Archimède. Pour s'en prémunir, il faut satisfaire à une condition minimale sur la vitesse de soufflage, en fonction du débit et de la température de l'air insufflé.

Les résultats obtenus dans cette recherche ne sont probablement pas transposables directement à d'autres géométries du local et à d'autres caractéristiques des bouches. L'expérimentation reste souhaitable pour des applications spécifiques (comme en conditionnement d'air par exemple)

- il n'y a pas de différence significative entre les dispositions envisagées pour ce qui concerne la « qualité du balayage », c'est-à-dire la possibilité de « purger » plus efficacement la zone d'occupation avec un même débit d'air. On se retrouve pratiquement toujours en conditions de « mélange parfait ». Ceci est dû au fort brassage de l'air intérieur, non seulement par le jet de ventilation, mais aussi par la convection naturelle toujours présente en conditions anisothermes.

C'est seulement dans le cas très hypothétique d'une rigoureuse isothermie intérieure que l'on discernerait des différences d'efficacité selon les positions des orifices de soufflage et de reprise. Et encore ces diffé-

rences ne seraient-elles vraiment significatives que pour de faibles valeurs du débit et de la vitesse de pulsion. Or, on sait que, du point de vue du confort, on n'a certainement pas intérêt à réduire exagérément cette vitesse

- pour déceler les risques éventuels d'inconfort, on doit procéder à des mesures systématiques de vitesses d'air (l'effet de la température est généralement négligeable). Ces mesures doivent être intégrées sur des intervalles d'au moins 1 ou 2 minutes compte tenu de l'importance des oscillations autour de la valeur moyenne. L'influence des oscillations de vitesse sur le risque de gêne est encore mal connue, mais elle ne peut sans doute pas être négligée.

Le taux de renouvellement d'air peut être mesuré avec une bonne précision par la méthode du gaz traceur. La méthode la plus sûre consiste à réaliser une contamination uniforme en brassant l'air par des ventilateurs d'appoint dès avant l'injection et pendant tout l'essai; la mesure peut alors s'effectuer en un seul point. La confrontation entre la quantité de gaz traceur injectée et la concentration initiale obtenue permet de vérifier l'hypothèse de mélange parfait.

L'essai sur un seul local ne peut fournir qu'une information fragmentaire sur la qualité de la ventilation. L'interprétation vraiment satisfaisante du phénomène exigerait un bilan complet de l'habitation, ceci grâce à une analyse au gaz traceur effectuée simultanément dans tous les locaux.

## Bibliographie

1. Baturin, V.V.  
Fundamentals of industrial ventilation. Oxford, Pergamon Press, 1972.
2. Chen, M.S.K., Fan, L.T., Hwang, C.L. et Lee, E.S.  
Air flow models in a confined space. A study in age distribution. Oxford, Building Science, vol. 4, 1969.
3. Croome-Gale, D.J. et Roberts, B.M.  
Air conditioning and ventilation of building. Oxford. Pergamon Press, 1975.
4. Danckwerts, P.V.  
Continuous flow systems. Londres, Chemical Engineering Science, vol. 2, 1953.
5. Hannay, J., Laret, L., Lebrun, J., Marret, D., Nusgens, P. et Wannyn, J.-P.  
Confort thermique et consommation d'énergie dans les conditions d'hiver. Bruxelles, C.S.T.C.-revue, n° 2, juin 1976.
6. Jackman, P.J.  
Air movement in rooms with side-wall mounted grille design procedure. Bracknell, HVRA Laboratory, Report n° 65, 1970.
7. Laret, L., Lebrun, J., Marret, D. et Nusgens, P.  
Circuits aérauliques. Efficacité de la ventilation mécanique contrôlée. Bruxelles, Rapport de recherche de l'IC-IB, octobre 1976.
8. Laret, L., Lebrun, J., Marret, D. et Nusgens, P.  
Etude expérimentale sur l'efficacité de la ventilation mécanique contrôlée dans un local d'habitation. Liège, Collection des Publications de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège, n° 62, 1976.
9. Laret, L., Lebrun, J., Marret, D., Nusgens, P. et Wannyn, J.-P.  
Confort thermique et consommation d'énergie dans des conditions d'hiver. Liège, Collection des Publications de la Faculté des Sciences Appliquées de l'Université de Liège, n° 56, 1975.
10. Lebrun, J. et Marret, D.  
Convection exchanges inside a dwelling room in winter. The 1976 Seminar of the International Centre for Heat- and Mass-Transfer « Turbulent buoyant convection » (Dubrovnik). Washington, Hemisphere Publishing Corporation, 1976.
11. Lebrun, J. et Marret, D.  
Confort thermique. 1<sup>re</sup> partie. Etude du confort thermique et de la consommation d'énergie dans les conditions d'hiver. Bruxelles, Rapport de recherche IC-IB, mai 1975.
12. Levenspiel, O. et Bischoff, K.B.  
Patterns of flow in chemical process vessel 3. Advances in Chemical Engineering. Vol. 4. New York, Academic Press, 1963.
13. Recknagel, H. et Sprenger, E.  
Taschenbuch für Heizung, Lüftung und Klimatechnik. Munich, R. Oldenbourg, 1970.

## ECONOMIE ENERGETIQUE ET REGULATION AUTOMATIQUE

### 1. INTRODUCTION

La puissance calorifique d'une installation de chauffage est déterminée de façon à compenser les déperditions calorifiques d'un immeuble et à maintenir des conditions de confort adéquates.

Il en résulte donc, aux rendements près de la chaudière et de la distribution, que les calories à payer correspondent aux calories perdues par les déperditions.

La consommation d'une installation de chauffage répond à la relation

$$\text{consommation} = \frac{\text{déperditions} - \text{apports gratuits}}{\text{rendement de la chaudière}}$$

Les déperditions calorifiques dépendent essentiellement

- a. du degré d'isolation thermique du bâtiment
- b. du coefficient de renouvellement d'air
- c. des conditions atmosphériques
- d. de la température ambiante.

Les apports gratuits de chaleur proviennent

- a. de l'ensoleillement
- b. d'une partie de la consommation domestique d'électricité (éclairage, TV, cuisson des aliments, etc...)
- c. de la présence des occupants du logement.

Nous considérons les postes a, b et c des déperditions calorifiques comme déterminés.

Nous examinerons essentiellement l'influence de la température ambiante sur la consommation du chauffage sans production d'eau chaude sanitaire.

Dans cette perspective et dans le cas d'une installation déterminée, il est évident que le maintien d'une température ambiante constante conduit à des déperditions bien déterminées.

A ce niveau, la régulation automatique permet donc d'obtenir les conditions de confort exigées avec le niveau de température ambiante le plus bas, en tenant compte cependant des variations de température dues aux apports gratuits de chaleur.

Les considérations ci-avant ont surtout un caractère qualitatif.

### 2. MAINTIEN D'UN NIVEAU DE CONFORT CONSTANT

En nous limitant uniquement au facteur « température ambiante », nous pouvons répertorier rapidement les résultats obtenus avec différents modes de réglage.

#### 2.1 Commandes tout ou rien

##### 2.11 *Thermostat d'ambiance tout ou rien commandant le circulateur*

Ce système de réglage est le plus communément utilisé dans les maisons unifamiliales et dans les appartements qui possèdent leur propre chaudière, parce qu'il s'agit d'un système peu coûteux qui donne généralement satisfaction.

Cependant, l'installation travaille par « trains de chaleur », ce qui peut poser des problèmes de bruit et fait osciller la température des radiateurs autour de la valeur adéquate. Durant les périodes à basse température d'eau, l'utili-

(\*) Ingénieur principal, département des recherches C.S.T.C.

(\*\*) Ingénieur civil, département des recherches, C.S.T.C.

sateur est influencé par le rayonnement des parois et des fenêtres. Il en résulte une sensation de froid que l'on compense généralement par une augmentation de la température de consigne, donc par un accroissement de la consommation.

Cet effet désagréable est limité par l'utilisation de thermostats d'ambiance pourvus d'une résistance d'anticipation, qui réduit la période des cycles de fonctionnement et les variations de la température des radiateurs.

Il n'en reste pas moins que le calibrage de cette résistance d'anticipation doit être adapté à l'installation, ce qui est rarement le cas; de plus le calibrage, s'il est fait, dépend des conditions climatiques essentiellement variables.

Enfin, le comportement signalé ci-dessus d'une installation pourvue de convecteurs est encore amplifié en raison de la variation non linéaire de la puissance calorifique des corps de chauffe avec la température de l'eau de chauffage.

Il faut également noter que la constante de temps d'un thermostat d'ambiance est de l'ordre de 20 minutes, ce qui n'a pas une grande incidence dans une boucle de réglage stable du type proportionnel, mais qui conduit à des oscillations de la température ambiante dans le cas décrit, l'installation étant toujours en régime dynamique.

Ces oscillations conduisent également l'utilisateur à augmenter la consigne du thermostat d'ambiance et le confort est nécessairement réalisé à une température ambiante moyenne supérieure à la normale.

## 2.12 Thermostat d'ambiance tout ou rien associé à une vanne motorisée

Dans les immeubles à appartements multiples avec chaudière commune, il est possible de réaliser une commande individuelle de chaque appartement à l'aide d'un thermostat d'ambiance associé à une vanne motorisée.

Formellement, ce système de régulation est proche de celui décrit au § 2.11 (p. 27). Cependant, si la température de l'eau chaude est adaptée aux conditions atmosphériques par un conducteur automatique central, les conditions de travail sont beaucoup plus favorables.

Dans ce cas, en effet, les périodes de chauffage sont très longues par rapport aux périodes d'arrêt et les oscillations de la température ambiante sont de faible amplitude.

Afin de sauvegarder la permanence de l'équilibre de l'installation, il est impératif d'utiliser des vannes motorisées à trois voies montées en diviseuses, cette exécution garantissant en effet la constance du débit dans les colonnes montantes dont l'équilibrage initial est dès lors maintenu.

(\*) Voir bibliographie n° 5.

## 2.2 Commandes modulantes en fonction de l'ambiance

Par opposition à un régulateur tout ou rien, on dénomme « modulants » les régulateurs capables de trouver un état d'équilibre stable.

Dans le cas d'une installation de chauffage par radiateurs, la boucle de réglage est constituée par un thermostat d'ambiance agissant sur une vanne motorisée à trois voies montée en mélangeuse (fig. 1).

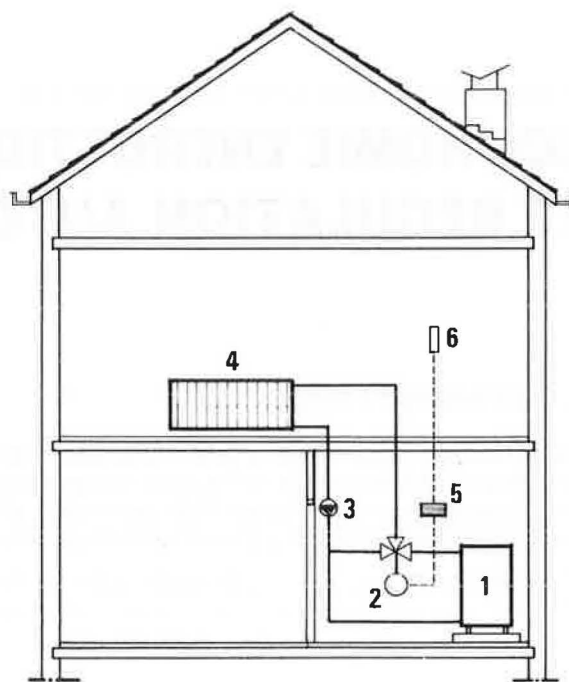


Fig. 1 — Commande modulante en fonction de la température ambiante dans un logement individuel.

1. chaudière - 2. vanne motorisée - 3. circulateur -
4. radiateur - 5. régulation - 6. thermostat d'ambiance

Cette vanne à trois voies mélange l'eau chaude en provenance de la chaudière avec l'eau de retour des radiateurs pour obtenir un mélange possédant une température adaptée aux besoins.

Le moteur agissant sur la vanne proportionnellement à la baisse de température ambiante et l'ensemble ainsi constitué portent alors la dénomination de boucle de réglage à action proportionnelle.

La température des radiateurs se maintient dès lors à une valeur constante adaptée aux besoins et assurant ainsi un voile d'air chaud permanent devant les vitres; ceci réduit considérablement l'effet du rayonnement froid des parois.

La constance de la température permet d'obtenir un même niveau de confort à une température ambiante inférieure à celle que requiert une boucle de réglage tout ou rien.

Il faut noter que la réduction de la température ambiante de 2 °C permet d'obtenir une économie de 18 % de la consommation moyenne (\*).



Dès lors, on peut estimer raisonnablement à 10 ou 15 % l'économie réalisable par l'adoption d'un régulateur à action proportionnelle par rapport à l'installation d'un régulateur à action tout ou rien.

On trouve sur le marché bon nombre de régulateurs dits « modulateurs » qui pratiquement travaillent en tout ou rien. C'est le cas notamment de certains systèmes basés sur l'utilisation de moteurs à vitesse lente, incapables de répondre à une perturbation rapide telle que celle due à un ensoleillement transitoire.

### 2.3 Vannes thermostatiques

Selon leur principe d'action, les vannes thermostatiques peuvent être considérées comme assurant un réglage modulant du type proportionnel.

Ces vannes sont placées sur les corps de chauffe et sont munies d'une tête thermostatique comportant essentiellement un élément déformable influencé par la température ambiante.

Lorsque cette température dépasse la consigne imposée, la vanne se ferme progressivement et réduit le débit d'eau chaude et donc l'émission calorifique du corps de chauffe.

L'utilisation de telles vannes permet de maintenir dans chaque local la température demandée pour l'usage particulier auquel ce local est destiné.

La température d'une chambre à coucher peut ainsi être maintenue à 18 °C, celle d'un living à 22 °C, etc...

De plus, tous les apports calorifiques tels que ensoleillement, feu ouvert, nombre de personnes dans un local, éclairage et fonctionnement d'appareils électriques, etc... sont compensés, évitant ainsi tout gaspillage énergétique.

Du point de vue du confort et de l'économie, l'utilisation de vannes thermostatiques revêt un intérêt certain. Quelques précautions élémentaires doivent cependant être prises pour obtenir les résultats souhaités.

Tout d'abord une vanne de réglage doit posséder une perte de charge suffisante pour maîtriser efficacement le débit dans le corps de chauffe, cet impératif conduisant à une augmentation de la hauteur manométrique du circulateur.

De plus, il n'est pas souhaitable d'utiliser dans une même installation des vannes thermostatiques et des vannes manuelles qui n'auraient pas des pertes de charge équivalentes.

Le remplacement pur et simple de vannes manuelles par des vannes thermostatiques dans une installation existante risque de conduire à une réduction de la puissance calorifique nominale de l'installation qui ne pourrait dès lors plus assurer le chauffage des locaux pour les basses températures extérieures, suite à l'augmentation de la perte de charge globale de

l'installation et à la diminution du débit du circulateur qui en découle.

Il existe de nombreuses marques de vannes thermostatiques sur le marché et les installateurs de chauffage sont devenus prudents dans leur sélection étant donné les déboires qu'ils ont rencontrés.

Deux grandeurs permettent de caractériser les vannes thermostatiques.

#### 2.31 Bande proportionnelle

La bande proportionnelle est la variation de température ambiante nécessaire pour que la vanne passe de l'ouverture à la fermeture.

Si cette bande proportionnelle est de 6 °C par exemple, la température ambiante est maintenue à  $\pm 3$  °C près, les écarts de température étant liés à la température extérieure.

Les meilleures vannes ont une bande proportionnelle de l'ordre de 1,5 °C, ce qui assure un réglage valable.

Par contre, si cette bande proportionnelle est supérieure à 4 °C, l'utilisateur perd rapidement patience et emploie sa vanne thermostatique comme vanne manuelle perdant ainsi tout le bénéfice qu'il était en droit d'en attendre.

De plus, en demi-saison, les vannes thermostatiques ont tendance à se fermer, la pression du circulateur augmente et les vannes sifflent. Le profil de certaines vannes permet de réduire considérablement cet inconvénient qui est parfois insupportable, en particulier la nuit. On peut également pallier cet inconvénient par certains dispositifs permettant d'éviter l'accroissement de pression du circulateur en assurant la constance de son débit dans un circuit de by-pass.

Notons que les vannes thermostatiques placées dans un circuit monotube 50/50 ne présentent pratiquement pas ce défaut, car le débit d'eau non consommé par le corps de chauffe est renvoyé dans l'installation qui reste en équilibre permanent.

#### 2.32 Temps de réaction

Le temps de réaction se situe entre 2 et 25 minutes selon les marques et a une incidence défavorable en demi-saison car la puissance calorifique contrôlée est faible par rapport à la capacité de la vanne qui ne parvient dès lors plus à assurer la constance de la température ambiante. Les surchauffes transitoires en demi-saison deviennent presque inévitables.

**2.33** La plupart des problèmes évoqués dans les § 2.31 et 2.32 peuvent être résolus si on combine de bonnes vannes thermostatiques avec un réglage primaire de la température de l'eau chaude en fonction de la température extérieure; dans ce cas, les vannes thermostatiques travaillent dans leur plage de bonne réglabilité avec précision et sans bruit.

## 2.4 Réglage en fonction de la température extérieure (fig. 2)

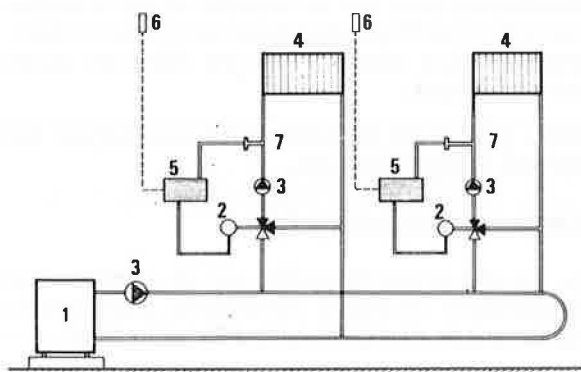


Fig. 2 — Régulation par vanne mélangeuse motorisée et sonde extérieure. Cas d'un immeuble à logements collectifs possédant deux colonnes de distribution.

1. chaudière - 2. vanne motorisée - 3. pompes - 4. radiateurs - 5. régulation - 6. sonde extérieure - 7. sonde de température d'eau à la sortie de la vanne mélangeuse.

Dans les immeubles d'une certaine importance, il n'est pas possible de trouver un local témoin dans lequel serait placé un thermostat d'ambiance chargé du pilotage de l'installation de chauffage.

Dès lors, on utilise un conducteur automatique qui agit sur une vanne à trois voies (fig. 3) montée en mélangeuse afin d'adapter la température de l'eau de chauffage aux conditions climatiques suivant une loi ajustée en fonction des caractéristiques particulières du bâtiment.

Afin de tenir compte de toutes les composantes perturbatrices, la sonde extérieure peut être rendue sensible non seulement à la température mais également au vent et à l'ensoleillement.

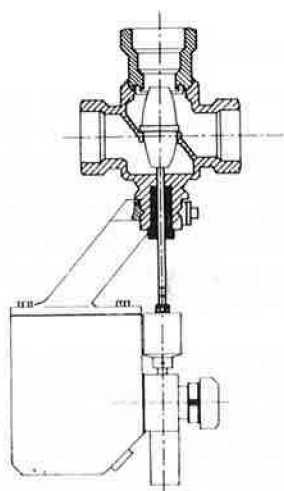


Fig. 3 — Schéma de vanne à trois voies.

Même si l'influence de ces diverses composantes est réglable, il n'en reste pas moins très délicat de les ajuster aux valeurs adéquates.

Il est généralement vain de vouloir résoudre l'entière du problème avec un tel conducteur automatique.

On peut donc obtenir ainsi une température ambiante stable, plus ou moins constante, mais un réglage précis n'est concevable que s'il est corrigé localement par des vannes thermostatiques.

D'une façon générale et pour les installations calculées pour une température extérieure de  $-10^{\circ}\text{C}$  avec de l'eau de chauffage à  $90^{\circ}\text{C}$ , les valeurs caractéristiques sont les suivantes :

- la température de l'eau chaude augmente de  $2,3^{\circ}\text{C}$  lors d'une baisse de la température extérieure de  $1^{\circ}\text{C}$
- pour augmenter la température ambiante de  $1^{\circ}\text{C}$ , il faut prévoir une hausse de  $3,3^{\circ}\text{C}$  de la température de l'eau chaude.

## 3. INFLUENCE D'UN RALENTI DE NUIT

Pendant la période de non occupation normale des locaux, on peut adopter une température ambiante inférieure à la normale.

La différence entre la température ambiante et la température extérieure diminue donc; il en est de même pour les déperditions calorifiques.

Puisque finalement les calories à fournir correspondent aux calories perdues, il en résulte nécessairement une économie qui peut être substantielle.

L'économie réalisée dépend

- de l'ampleur du ralenti de nuit et de sa durée
- de la température extérieure
- de l'inertie thermique des locaux
- du degré d'isolation thermique du bâtiment.

Si le réglage s'opère à l'aide d'un thermostat d'ambiance, il y aura automatiquement un régime accéléré lors de la remise en route jusqu'à obtention à nouveau de la température ambiante consignée.

Par contre, si le réglage s'opère à l'aide d'un conducteur automatique en fonction de la température extérieure, il est indispensable de prévoir un régime d'accélération le matin.

Quand cela est possible, l'idéal serait d'adjoindre au conducteur automatique un thermostat d'ambiance qui détermine la durée de cette période d'accélération, mais le problème du choix du local témoin se pose alors.

Généralement, les constructeurs prévoient une horloge assurant les régimes ralenti, accéléré et normal, dont les niveaux et les périodes sont fixés au démarrage.

Si la constante de temps du bâtiment par rapport à une variation de la température de l'eau chaude est de l'ordre de 2 heures, un ralenti correspondant à R (°C) d'eau chaude durant la nuit doit être compensé par un accéléré de A (°C) pendant 2 heures selon le tableau 1, établi pour une période de nuit de 9 heures.

Tableau 1

R (°C)	A (°C)	Température ambiante minimale (°C)	Economie par jour de la puissance nominale (%)
20	11	14,2	5
15	8	15,6	3,7
10	6	17,1	2,4

L'économie réalisée, exprimée en minutes de chauffe, dépend de la température extérieure  $t_e$  et pour R = 20 °C, elle correspond aux valeurs données dans le tableau 2.

Tableau 2

$t_e$ (°C)	Economie (min)	Economie (%)
- 5	85	6
0	106	7,3
+ 10	212	15

Ces valeurs théoriques ne sont valables que pour des températures extérieures comprises entre - 5 et + 10 °C.

La température de l'eau ne peut en effet dépasser 90 °C (§ 2.4) ni descendre en dessous de 20 °C. Aussi les ralentis de 20 °C et les accélérés de 11 °C donnés dans le tableau 1 ne sont-ils effectifs que dans certaines limites de conditions extérieures.

C'est ainsi que pour une température extérieure supérieure à 11 °C, le ralenti de 20 °C d'eau chaude ne peut pas être obtenu et l'accéléré devrait être réduit en conséquence. Comme l'accéléré est fixe, on a donc une surchauffe des locaux et un gaspillage d'énergie.

Il conviendrait donc de modifier l'accéléré ou même de le supprimer lorsque la température extérieure dépasse une certaine valeur.

Notons encore que pour les immeubles de bureaux, les écoles, ..., la période de nuit est de l'ordre de 15 heures et les économies réalisables sont pratiquement doublées par rapport aux valeurs mentionnées ci-dessus.

Il existe actuellement sur le marché des systèmes d'optimisation des allures de chauffe qui permettent de réaliser des économies

substantielles pouvant atteindre 35 % pour une période de nuit de 15 heures.

Un tel système est actuellement à l'essai au C.S.T.C. afin de vérifier ces valeurs théoriques.

#### 4. EXEMPLE

Pour illustrer l'effet d'un ralentissement journalier ou de nuit sur la consommation d'une installation de chauffage, nous donnons l'exemple suivant.

Soit un logement individuel de 200 m<sup>3</sup> habitables, maintenu le jour à une température interne moyenne de 20 °C et pendant les périodes de ralentissement à une température interne moyenne de 16 °C.

Nous envisageons différentes qualités thermiques de l'enveloppe extérieure de ce logement en prenant successivement pour les déperditions par transmission pour une température extérieure égale à - 10 °C les valeurs suivantes : 5.000 kcal/h, 10.000 kcal/h, 15.000 kcal/h et 20.000 kcal/h.

La ventilation de ce logement est caractérisée par un débit de 200 m<sup>3</sup>/h, soit un renouvellement horaire.

Deux régimes de ralentissement seront envisagés :

- ralentis de nuit (de 22 h à 6 h)
- ralentis de nuit (de 22 h à 6 h) et journalier (de 10 h à 18 h).

Afin de déterminer les consommations relatives à ces différents cas, nous utilisons un programme d'ordinateur dont les calculs sont basés sur un histogramme des températures constitué des relevés, effectués par l'Institut Royal Météorologique, des fréquences de température extérieure toutes les deux heures de 1931 à 1960.

Le rendement global de l'installation sera

- de 60 % pour un chauffage au gaz ou au mazout
- de 100 % pour un chauffage électrique direct.

Afin de tenir compte des apports gratuits, nous estimons que ceux-ci permettent, dans un logement de conception et de construction classique, de maintenir la température intérieure à une valeur supérieure de 3 °C à celle de la température extérieure. Cependant, dans sa conception actuelle le programme ne tient pas compte de l'inertie thermique du bâtiment et conduit dès lors à des consommations estimées plus importantes que les consommations réelles. De ce fait, le gain d'énergie estimé ci-dessous sera inférieur à la réalité mais, d'après des essais actuellement en cours en laboratoire sur une cellule de structure lourde, nous pouvons dire que l'ordre de grandeur de ceux-ci est correct.

Les résultats obtenus sont donnés dans les tableaux 3 et 4.

Tableau 3 — Consommations annuelles sans période de ralentissement

Déperditions par transmission pour $t_e = -10^\circ\text{C}$ (kcal/h)	Renouvellement d'air ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Chauffage		
		au gaz naturel ( $\text{m}^3/\text{an}$ )	au mazout (l/an)	électrique direct (kWh/an)
5.000	200	3.215	2.443	17.027
10.000	200	5.600	4.256	29.659
15.000	200	7.985	6.068	42.291
20.000	200	10.370	7.881	54.923

Tableau 4 — Consommations annuelles avec périodes de ralentissement

Déperditions par transmission pour $t_e = -10\text{ }^{\circ}\text{C}$ (kcal/h)	Renouvellement d'air ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	Chauffage		
		au gaz naturel ( $\text{m}^3/\text{an}$ )	au mazout (l/an)	électrique direct (kWh/an)
5.000 10.000 15.000 20.000	ralentissement nocturne (22 h - 6 h)			
	200	2.788	2.119	14.766
	200	4.855	3.690	25.714
	200	6.922	5.260	36.661
	200	8.989	6.831	47.609
5.000 10.000 15.000 20.000	ralentissements nocturne (22 h - 6 h) et journalier (10 h - 18 h)			
	200	2.442	1.856	12.936
	200	4.248	3.228	22.499
	200	6.053	4.601	32.062
	200	7.859	5.973	41.625

Les gains de consommation calculés à partir des valeurs données dans les tableaux 3 et 4 sont donc

- de 13 % pour le ralentissement nocturne (22 h - 6 h)
- de 24 % pour les ralentissements nocturne (22 h - 6 h) et journalier (10 h - 18 h).

## 5. CONCLUSIONS

Il ressort de l'examen des systèmes de régulation ci-dessous, que le choix d'un système dépend essentiellement de ses possibilités d'utilisation dans les immeubles. En effet, le système

qui sera choisi pour un immeuble à logements collectifs ne conviendra pas nécessairement pour un logement individuel ou pour un immeuble de bureaux.

Si l'utilisation de vannes thermostatiques s'avère intéressante, elles devront être combinées avec un système de réglage primaire de la température de l'eau chaude afin de pouvoir travailler avec précision et sans bruit.

Enfin, les ralentis de jour ou de nuit permettent de réaliser des économies d'énergie non négligeables uniquement par l'adaptation du chauffage des immeubles à leurs périodes d'occupation.

## Bibliographie

- Chapon, B. et de Labbey, P.  
Guide pratique de la régulation en chauffage et climatisation électriques. Paris, L'installateur, n° 380, juillet-août 1975.
- Davy de Virville, Ph.  
La régulation automatique et les économies d'énergie. Paris, Chaud-Froid-Plomberie, n° 345 à 358, janvier 1975 à mars 1976.
- ...  
Guide and data book. Systems 1970. Heating, Refrigerating, Ventilating and Air Conditioning. New York, ASHRAE, 1970.
- Poncelet, L. et Martin, H.  
Esquisse climatologique de la Belgique. Bruxelles, Institut Royal Météorologique, 1947.
- Uyttenbroeck, J.  
Consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments. Bruxelles, C.S.T.C.-revue, n° 3, automne 1974.

# VENTILATION DES TOITURES A DOUBLE PAROI

## 1. INTRODUCTION

Les entrepreneurs sont régulièrement confrontés avec des problèmes de toitures plates à couverture étanche qui, bien que ventilées, présentent après quelques années et bien avant la fin de la période couverte par la garantie décennale, des signes avant-coureurs de vieillissement prématuré de l'étanchéité et même parfois de désordres graves dans le support de la couverture.

On constate même le cas pour certaines toitures dont les orifices de ventilation comportent deux séries d'ouvertures dimensionnées chacune suivant les prescriptions du Cahier général des charges pour travaux de constructions privées (\*\*), c'est-à-dire à raison de 1/500 de la surface couverte.

Des informations contradictoires circulent au sujet du dimensionnement des orifices de ventilation et de la lame d'air à ventiler.

En Belgique, on considère qu'un toit est plat lorsque sa pente est comprise entre 0 et 10 %.

Les toits plats du type ventilé (à double paroi) comprennent deux éléments porteurs de toiture séparés par une lame d'air compartimentée ou non et une isolation thermique (fig. 1).

La couverture est du type étanche, asphaltique ou synthétique, et par conséquent très résistante à la diffusion de la vapeur d'eau provenant des locaux sous-jacents.

Toutes les conditions sont donc remplies pour la formation de condensations internes si aucune disposition constructive pour la structure du complexe n'est prise pour combattre ce phénomène (fig. 2 et 3).

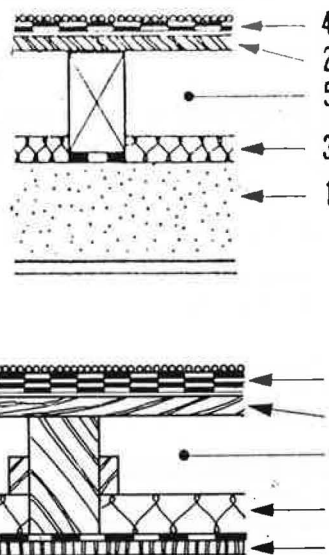


Fig. 1 — Classement des complexes toitures selon leur poids.

Au-dessous, toitures lourdes, poids  $\geq 300 \text{ kg/m}^2$

En dessous, toitures légères, poids  $< 300 \text{ kg/m}^2$

1. élément porteur inférieur
2. élément porteur supérieur
3. isolation thermique
4. étanchéité
5. espace ventilé

En pratique, on constate souvent que

- la pente du toit est très faible, voire même inexistante (0 à 1 %)
- la mise en communication de la lame d'air avec l'atmosphère extérieure est réalisée par l'intermédiaire d'orifices de faible section, peu nombreux et mal placés pour engendrer une circulation d'air dans le complexe

(\*) Ing., conseiller, département de l'information, C.S.T.C.

(\*\*) Voir bibliographie n° 7.



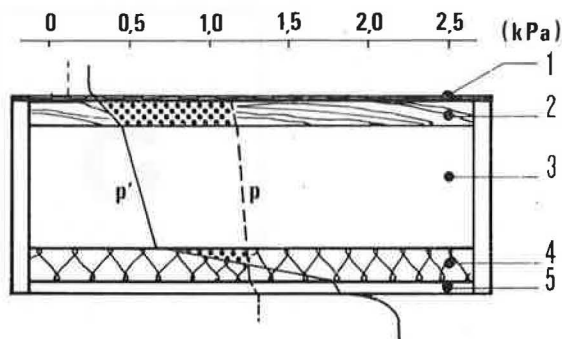


Fig. 2 — Toiture peu ou pas ventilée. Condensations internes.

1. couverture étanche
2. élément porteur supérieur
3. lame d'air
4. isolation thermique
5. élément porteur inférieur
- p. pression de vapeur calculée (pression partielle)
- p'. pression de vapeur maximale (pression de saturation)

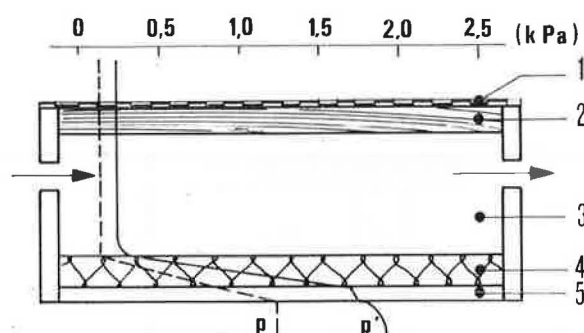


Fig. 3 — Toiture bien ventilée. Pas de condensations internes.

1. couverture étanche
2. élément porteur supérieur
3. lame d'air
4. isolation thermique
5. élément porteur inférieur
- p. pression de vapeur calculée (pression partielle)
- p'. pression de vapeur maximale (pression de saturation)

— le compartimentage de la lame d'air par des éléments résistants (poutres, gîtes, etc.) rend la ventilation uniforme très difficile, si pas impossible, car ces éléments sont en outre très souvent disposés transversalement à la ligne de plus grande pente s'il en existe une.

Cette situation est particulièrement défavorable pour les toitures dont

— l'élément porteur de la couverture étanche est constitué de panneaux en agglomérés à base de matières lignocellulosiques car ceux-ci seront rapidement détériorés par les condensations en surface et en profondeur (fig. 2), ce qui provoquera des taches d'humidité au plafond (par retombées d'eau condensée), des développements de moisissures, des variations dimensionnelles, des déformations (flexions excessives) et finalement la destruction des panneaux, y compris la couverture (\*)

— l'élément porteur inférieur est léger et très perméable à la vapeur d'eau et à l'air.

Les vents ont une action bénéfique sur le com-

portement thermo-hygrométrique des toitures ventilées. Cette action résulte essentiellement des différences de pression qui se produisent (fig. 4) sur une construction soumise aux vents puisque des mouvements d'air sont ainsi engendrés entre les divers orifices de ventilation prévus.

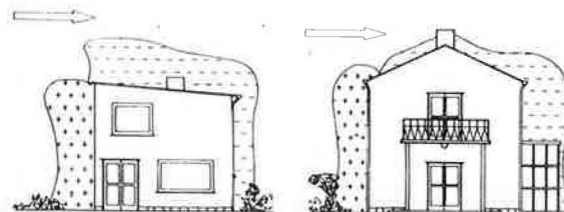


Fig. 4 — Action du vent sur un bâtiment. La flèche indique la direction du vent.

+ pression  
— dépression

La toiture plate est généralement en dépression. Lorsque les orifices de ventilation débouchent en toiture la lame d'air est également en dépression. Il en résulte une aspiration d'air intérieur à travers le plafond si celui-ci est perméable et par conséquent une augmentation du risque de condensation dans l'espace d'air à ventiler.

Sur base de l'évolution de la ventilation des toitures plates (tableau 1, p. 36 et 37) et de quelques considérations d'ordre théorique, nous donnons les principaux points à prendre en considération lors de la conception et de la réalisation des toitures plates ventilées.

## 2. CONCEPTION ET RÉALISATION DE TOITURES PLATES VENTILÉES

**2.01** On ne peut se baser sur le mouvement de l'air engendré uniquement par pression et dépression du vent; certaines dispositions du relief du sol ou des constructions voisines peuvent protéger le bâtiment contre les actions du vent et en outre, en hiver, on peut avoir un temps froid avec absence de vent (c'est-à-dire un vent calme de vitesse moyenne  $< 1$  km/h puisque la vitesse n'est jamais totalement nulle). Ce temps est particulièrement propice à la formation de condensations internes.

Il faut donc concevoir des dispositifs de ventilation permettant une circulation d'air sur toute l'étendue de la lame d'air, même par vent calme.

Cela n'est possible qu'en provoquant dans les complexes de toiture un « tirage naturel », c'est-à-dire un « effet de cheminée ».

**2.02** Il faut créer une ventilation active de toute l'étendue de la lame d'air par l'intermédiaire d'orifices dont les sections et les emplacements (fig. 5 et 6) doivent être judicieusement déterminés lors du projet (et non pendant ou après construction) afin d'obtenir autant que possible une identification des conditions d'ambiance de la lame d'air et de l'atmosphère extérieure (fig. 3).

(\*) Voir bibliographie n° 5.

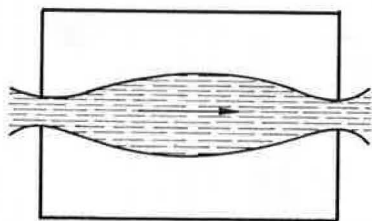


Fig. 5 — Mauvaise ventilation d'un toit plat. Une seule grande ouverture.

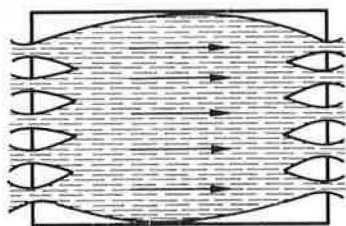


Fig. 6 — Bonne ventilation d'un toit plat. Nombreuses petites ouvertures.

La ventilation est active sur toute l'étendue du toit. Elle serait encore meilleure si des fentes continues d'au moins 1,5 à 2 cm de largeur étaient prévues sur au moins deux côtés opposés du toit et de préférence sur tout le pourtour.

**2.03** Dans le cas d'une ventilation par de petites ouvertures, il est préférable (pour des raisons d'écoulement) de prévoir des orifices de ventilation de section carrée ou rectangulaire plutôt que de section ronde.

**2.04** Des toitures plates ventilées à très faible pente sont susceptibles de poser des problèmes, même si elles sont au-dessus de locaux à ambiance relativement sèche.

**2.05** Pour les toitures plates légères destinées à couvrir des locaux humides, on devra obligatoirement recourir à un dimensionnement très large des orifices de ventilation et même, dans certains cas, à une ventilation mécanique.

Dans de tels cas une solution moins coûteuse consisterait à choisir une toiture inclinée au lieu d'un toit plat.

**2.06** Sans l'incorporation d'un frein de vapeur au plafond, la perméabilité à la vapeur (et à l'air) du plafond d'une toiture légère est si élevée qu'elle nécessite des ouvertures de ventilation pratiquement irréalisables (tableau 2). Une admission d'air frais de 1.000 m<sup>3</sup>/h correspond à un renouvellement horaire de près de 26 fois le volume de l'espace à ventiler.

**2.07** L'incorporation d'un frein de vapeur au plafond, qui constitue également une étanchéité à l'air, est donc indispensable pour des toitures de ce type.

Il ressort du tableau 2

- que le placement d'un feutre bitumé surfacé, dont la continuité est parfaitement assurée sur toute la superficie du toit, semble plus adéquat que le placement d'une feuille de polyéthylène, bien qu'il soit nécessaire ici d'insister sur le fait que le dimensionnement des ouvertures d'entrée pour  $\alpha = 0^\circ$  s'élève à près du double de ce qui est régulièrement préconisé (1/500 à 1/650 S, S étant la surface en projection horizontale).

L'emploi d'une membrane à résistance à la diffusion plus élevée permettrait évidemment de réduire les sections (par exemple un bitume armé-aluminium de 0,1 mm d'épaisseur)




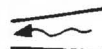
- que le placement d'une feuille de polyéthylène (0,1 à 0,2 mm d'épaisseur) convient en principe pour des pentes de 2 % et plus, bien que cette limite ne soit pas rigoureuse, chaque cas de toiture plate légère constituant un cas d'espèce à étudier avant exécution.

**2.08** Au point de vue physique du bâtiment, les toitures légères totalement plates sont à déconseiller. On ne peut obtenir un tirage naturel par vent nul en hiver que si un minimum de pente est conféré aux versants tout en assurant un maximum de différence de hauteur entre les orifices d'entrée et de sortie de l'air de ventilation.

Tableau 2 — Dimensionnement des orifices de ventilation d'une toiture légère à double paroi (\*)

Freinage de la diffusion de la vapeur d'eau	Quantité de vapeur d'eau migrant dans l'espace d'air à ventiler (S = 228 m <sup>2</sup> )		Quantité minimum d'air frais à introduire (m <sup>3</sup> /h)	Section minimale des orifices d'entrée d'air en fonction de la surface couverte S en projection horizontale		
	(g/m <sup>2</sup> h)	(g/h)		pente nulle V <sub>min</sub> = 0,01 m/s	pente = 2° V <sub>min</sub> = 0,0174 m/s	pente = 5° V <sub>min</sub> = 0,0478 m/s
Pas de frein de vapeur	2,15	500	1.000	1/8 S	1/14 S	1/39 S
Feuille de polyéthylène	0,087	20	40	1/207 S	1/356 S	1/991 S
Membrane asphaltique	0,028	6,5	12,5	1/335 S	1/1.140 S	1/3.123 S
(*) ambiance intérieure $t_i = + 22^\circ\text{C}$ } moyenne entre cuisine et salle de bains $\phi_i = 60\%$ } lame d'air ventilée $t = + 6^\circ\text{C}$ } $\phi = 80\%$ } air extérieur $t_e = + 3^\circ\text{C}$ (moyenne)						

Tableau 1 — Bref historique de la ventilation des toitures au cours des dernières années

Références bibliographiques (*)		Pentes du toit (p en %)	Frein de vapeur	Sens de la ventilation	Hauteur minimum de la lame d'air à ventiler	Dimensionnement des orifices en fonction de la surface couverte S en projection horizontale		
	année d'édition						orifices d'entrée	orifices de sortie
DTU n° 43	1960	terrasses plates : $p < 3 \%$  terrasses rampantes : $3 \% \leq p \leq 8 \%$  toits inclinés : $p > 8 \%$		<div>// ligne de plus grande pente dans le sens ascendant</div> <div></div> <div>⊥ ligne de plus grande pente</div>		<div>toitures avec support supérieur en bois toitures avec support supérieur en bois, espace clos (grenier)</div> <div>1/800 S</div> <div>1/500 S</div> <div>toitures en bois, aération par pignon admise uniquement si distance &lt; 15 m</div> <div>1/500 S</div>	1/800 S	1/800 S
Richtlinien für die Ausführung von Flach- dächern	1962	toits plats : $p < 4,9 \%$ toits plats : $5 \% \leq p \leq 40,4 \%$	en général pas	<div>// ligne de plus grande pente dans le sens ascendant</div> <div></div> <div>⊥ ligne de plus grande pente</div>		<div>de pignon à pignon</div> <div>1/1.000 S</div> <div>1/300 S pour l'ensemble des orifices</div>	1/800 S	
Das Flache Dach	1963	<div>pas précisées mais probable- ment identiques à celles don- nées dans les Richtlinien ci- dessus</div> <div>si <math>p = 0</math></div>		<div>// ligne de plus grande pente dans le sens ascendant</div> <div></div> <div>⊥ ligne de plus grande pente</div> <div><div></div> si sens ventilation inversée ou compartimentage : ventilation mécanique avec une vitesse de l'air de 50 m max. par m de largeur de toiture et par jour</div>		<div>répartition régulière de petits orifices de 2 cm de <math>\varnothing</math> ou ouver- ture continue (fente) de 1 à 2 cm de largeur</div> <div>1/1.000 S</div> <div>valeurs empiriques : 1/300 S pour l'ensemble des orifices</div>	1/800 S	
DTU n° 43	1964	terrasses plates : $p < 3 \%$ terrasses rampantes : $3 \% \leq p \leq 8 \%$ toits inclinés : $p > 8 \%$		idem DTU n° 43 de 1960				
Richtig und Falsch	1965	<div><math>p : 4 \text{ à } 6 \%</math> min. pour l'obten- tion d'une circulation natu- relle</div> <div>toitures lourdes</div> <div>toitures légères en bois ou en métal</div>	<div>— pas nécessaire si <math>\varphi_i &lt; 70 \%</math> (**) et si conditions ci- contre respectées — indispensable si <math>\varphi_i &gt; 70 \%</math> fortement conseil- lé; devient indis- sable si <math>\varphi_i &gt; 60 \%</math> en permanence</div>		si $h > 2$ m au faite	<div>répartition régulière de petits orifices de 3 à 4 cm de <math>\varnothing</math> ou ouver- ture continue (fente) de 1 à 2 cm de largeur</div> <div>1/1.000 S 1/ 800 S</div>	<div>doivent en tout temps rester libres</div> <div>1,5 × 1/1.000 S 1,5 × 1/ 800 S</div>	

Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern	1967	$p \leq 5,2 \%$ $5,3 \leq p \leq 40,4 \%$	indispensable si $\varphi_i$ élevé ou si l'élément porteur inférieur est très perméable à l'air et à la vapeur	// ligne de plus grande pente  ⊥ ligne de plus grande pente		de pignon à pignon	1/ 600 S  1/ 500 S  1/300 S pour l'ensemble des orifices
Manuel des toits plats	1967	— toits plats à couverture étanche : $p \leq 30^\circ$ (57,7 %) — toits à $p > 57,7 \%$ si couverture étanche	<div> <div>si <math>\varphi_i \leq 65 \%</math></div> <div>si fortes humidités : couche peu perméable à la vapeur</div> </div>		<div>espace d'air de faible hauteur <math>20 \text{ cm} \leq h \leq 40 \text{ cm}</math></div> <div><math>40 \text{ cm} \leq h \leq 2 \text{ m}</math></div> <div><math>h &gt; 2 \text{ m}</math></div>	<div>à calculer individuellement dans chaque cas répartition aux points bas d'orifices de 10 à 12 cm<sup>2</sup> au plus (tubes de 3 à 4 cm Ø) ou de préférence, ouverture ou fente continue orifices d'évacuation à l'aide de gaines de ventilation distantes les unes des autres d'environ 2 m et pour de grandes longueurs de toit</div>	<div>valeurs empiriques</div> <div>1/500 à 1/600 S</div> <div>1/1.000 S</div> <div>1/ 750 S ou 100 cm<sup>2</sup>/20 m<sup>3</sup> à ventiler</div> <div>majorer les valeurs ci-dessus de 100 à 500 %</div> <div>1,5 × section orifices d'entrée</div> <div>1,5 × section orifices d'entrée</div>
Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern	1973	$p > 9 \%$ $p < 9 \%$		$h_{\min} : 20 \text{ cm}$	fente continue de 2 cm de largeur		1/ 600 S  1/ 500 S  1/150 S pour l'ensemble des orifices
DIN 18530	1974	support inférieur de type lourd (béton armé)	résistance à la diffusion de la paroi située sous l'isolant thermique : 10 m min. ( $\mu \times e$ ) (***)		$h_{\min} = 10 \text{ cm}$	orifices à disposer sur au moins deux côtés opposés du toit	1/500 S pour l'ensemble des orifices
DTU n° 43	1975	toiture à pente nulle : $p = 0$ toiture-terrasse plate : $1 \leq p \leq 5 \%$ toiture-terrasse rampante : $5 \leq p \leq 15 \%$ toitures inclinées : $p > 15 \%$		// ligne de plus grande pente (rampant de 15 m max.) ou ⊥ ligne de plus grande pente (pignon à pignon distants de 15 m max.)	<div>lame d'air ou comble ventilé</div> <div><math>h_{\min} = 6 \text{ cm}</math> en tous points</div>	support d'étanchéité en bois largeur des ouvertures : 1,5 cm min. et section des ouvertures : 100 cm <sup>2</sup> min. si rampant de plus de 15 m, ouvertures à répartir sur des lignes distantes de 15 m max.	<div>1/500 S pour l'ensemble des orifices</div> <div>réduction si extraction mécanique judicieusement répartie</div>
Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern	1975	toits plats : $0 \leq p \leq 9,1 \%$  toits plats : $9,1 \leq p \leq 40,4 \%$	— en général pas — indispensable chaque fois que le support situé sous l'isolation est perméable à l'air		$h_{\min} = 20 \text{ cm}$	ouverture continue ou fente de 2 cm min. de largeur	<div>1/150 S pour l'ensemble des orifices</div> <div>1/600 S</div> <div>1/500 S</div>

(\*) Voir bibliographie (p. 39).

(\*\*)  $\varphi_i$  : taux d'humidité intérieure.(\*\*\*)  $\mu$  : facteur de résistance à la diffusion de la vapeur d'eau.  
e : épaisseur de la membrane

Le tableau 2 indique effectivement que la vitesse de l'air est environ 5 fois plus élevée pour une inclinaison de 5° par rapport à une inclinaison nulle du toit.

**2.09** Le compartimentage de la lame d'air est à proscrire et la répartition des orifices doit être telle qu'un balayage se produise uniformément sur toute l'étendue de la lame d'air.

**2.10** L'épaisseur de l'espace d'air joue également un grand rôle et il est généralement conseillé de ne pas descendre en dessous de 20 cm. On observe en effet lors de la ventilation de toitures plates légères une très nette incidence de cette épaisseur sur le dimensionnement des orifices de ventilation.

**2.11** Dans le cas de versants de grandes dimensions (versants dont la distance entre les entrées et les sorties de ventilation est > 15 m), il faut envisager le placement en toiture de tuyaux de ventilation intermédiaires.

Leurs emplacements devront nécessairement correspondre à des points hauts et leur hauteur sera déterminée de façon à favoriser autant que possible l'effet de cheminée.

**2.12** Une ventilation dans le sens perpendiculaire à la ligne de plus grande pente des versants ne facilite évidemment pas l'écoulement de l'air et des orifices de ventilation largement dimensionnés devront être prévus (1/300 minimum de la surface couverte pour l'ensemble des orifices).

**2.13** Les orifices de sortie d'air seront de section légèrement supérieure à celle des orifices d'entrée. Les raisons en sont :

- l'augmentation en volume de l'air lors de son échauffement dans le complexe
- le souci de réduire les résistances à l'écoulement de l'air à sa sortie
- les apports additionnels d'air et de vapeur provenant des locaux sous-jacents.

**2.14** Il faut souligner que le dimensionnement des orifices de ventilation doit se faire en supposant une action du vent nulle et les conditions climatiques les plus sévères (il faut tenir compte d'un changement de destination ou d'utilisation des locaux sous-jacents).

Etant donné les caractères de direction et d'intensité variables du vent lorsque ce dernier se met à souffler, il est probable qu'une inversion du sens de circulation se produira dans le complexe.

Cela n'a pas d'importance puisque l'essentiel consiste à obtenir un balayage d'air sur toute la superficie du toit, que ce soit dans un sens ou dans un autre, qu'il y ait ou non du vent.

**2.15** Dans le cas de placement de panneaux à base d'anas de lin ou de particules de bois, on

peut estimer, d'après des résultats expérimentaux français et néerlandais, à environ 1 à 2 kg/m<sup>2</sup> la quantité d'eau qui traverse les panneaux en hiver (période de chauffage) pour se déposer dans la couche supérieure des panneaux et cela dans des conditions favorables de ventilation (c'est-à-dire locaux bien ventilés avec évacuation de la vapeur d'eau, sans qu'il soit possible à celle-ci de se répandre dans les autres pièces).

Si l'étanchéité est collée en plein, cette quantité d'eau contribuera à porter à une humidité équivalente à 50 % en volume (\*) un panneau d'une épaisseur de  $\pm 2$  mm. Cette quantité d'eau sera éliminée en été après quelques journées ensoleillées.

En moyenne, d'une année à l'autre, il ne doit pas y avoir de risque d'accumulation d'humidité à l'intérieur des panneaux à condition que la ventilation des locaux soit favorable.

Toutefois, les mouvements d'humidité et les variations de température entraînent des déformations des panneaux perpendiculairement à leur plan (bombement vers l'extérieur en hiver et vers l'intérieur en été).

De plus, si les panneaux ligno-cellulosiques peuvent se dilater ou se contracter librement, les variations en longueur ou en largeur pourraient atteindre et même dépasser 1 à 2 mm/m.

La sensibilité des panneaux de particules à l'action conjuguée de la température et de l'humidité est notoire et des essais réalisés au Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (France) (\*\*) ont eu pour but d'étudier le comportement de différents panneaux de particules, sous l'action conjuguée de l'humidité (de 0,5 à 1 ou 2 kg/m<sup>2</sup>) et de la température (70 °C) :

- panneaux de particules de bois agglomérées avec des résines urée-formol
- panneaux de particules de bois agglomérées avec des résines phénoliques (\*\*\*)
- panneaux de particules de lin agglomérées avec des résines urée-formol.

Les essais ont mis en évidence ce qui suit :

- les panneaux agglomérés aux résines phénoliques ne sont pratiquement pas altérés (faible diminution du module de flexion pour des teneurs élevées d'humidité (1 à 2 kg/m<sup>2</sup>))
- les panneaux agglomérés aux résines urée-formol (à base de lin ou de bois) sont profondément altérés et cela d'autant plus que la quantité d'humidité absorbée est plus forte; pour une teneur en humidité de 2 kg/m<sup>2</sup>, le module de flexion descend au 1/4 de sa valeur initiale après environ 10 cycles d'humidification-séchage; la résistance à la rupture en flexion est donc réduite au 1/4 de sa valeur initiale

(\*) Humidité critique.

(\*\*) Voir bibliographie n° 1.

(\*\*\*) D'autres panneaux contenant des produits spéciaux présentent également les mêmes propriétés (voir bibliographie n° 12).



- bien que l'aspect de la face intérieure des panneaux n'ait pratiquement pas changé, la face extérieure, mouillée, se détériore progressivement sur une épaisseur de plusieurs mm.

### 3. CONCLUSIONS

**3.01** L'expérience pratique acquise en Allemagne dans le domaine de la ventilation des toitures plates semble avoir incité les Allemands à préconiser une nette augmentation de la section des orifices de ventilation et cela plus particulièrement dans le cas de toitures plates de pente  $< 9\%$  ( $1/150$  S (\*) à partir de 1973 pour l'ensemble des orifices alors que la règle empirique en application en 1967 préconisait au moins  $1/500$  S et dans les années 1960 à 1966 au moins  $1/1.000$  S pour chacune des séries d'orifices).

**3.02** Les chiffres donnés dans les prescriptions et la littérature technique pour le dimensionnement de la lame d'air ventilée et de ses orifices d'entrée et de sortie d'air ne constituent jamais que des valeurs empiriques parfois contradictoires qui doivent être appliquées avec beaucoup de prudence.

**3.03** Chaque toiture plate à ventiler constitue un cas précis exigeant un calcul de la ventilation.

(\*) S : surface en projection horizontale.

Les toitures plates à pente nulle sont à déconseiller; il faut prévoir au minimum une pente de 2 à 3° pour les versants (ou rampants) tout en assurant un maximum de différence de hauteur entre les orifices d'entrée et de sortie.

Toute lame d'air en toiture doit être ventilée, que la construction soit légère ou lourde, en béton ou en bois.

Il faut proscrire le compartimentage de la lame d'air à ventiler et assurer à celle-ci en tous points une hauteur de 20 cm minimum.

Une membrane souple, du type synthétique ou asphaltique, disposée sous l'isolant thermique est indispensable chaque fois que l'élément porteur inférieur est perméable à l'air (toiture légère en bois par exemple). Sa résistance à la diffusion de vapeur sera fonction de l'utilisation des locaux sous-jacents.

Il ne faut jamais se fier au mouvement de l'air par action du vent, car le bâtiment peut très bien être abrité ou son comportement être très peu influencé par le vent dans des conditions particulièrement défavorables rencontrées en hiver (gel et air calme ou changement de l'environnement).

La répartition des orifices de ventilation doit être telle qu'un balayage se produise uniformément sur toute l'étendue de la lame d'air.

## Bibliographie

- Berthier, J. et Delcelier, P.  
Etude expérimentale des mouvements d'humidité dans une dalle de toiture. Paris, Cahiers du C.S.T.B., livraison n° 133, cahier 1136, octobre 1972.
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
DTU 43 - Cahier des charges applicable aux travaux d'étanchéité des toitures-terrasses et des toitures inclinées. Paris, Cahiers du C.S.T.B., livraison n° 47, cahier n° 375, décembre 1960.
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
DTU 43 - Cahier des charges applicable aux travaux d'étanchéité des toitures-terrasses et des toitures inclinées, suivi du Cahier des prescriptions communes et du Cahier des clauses spéciales. Paris, Cahiers du C.S.T.B., livraison n° 68, cahier n° 576, juin 1964.
- Centre Scientifique et Technique du Bâtiment  
DTU 43 - Cahier des charges applicable aux travaux d'étanchéité des toitures-terrasses et des toitures inclinées, suivi du Cahier des charges spéciales. Paris, Cahiers du C.S.T.B., livraison n° 165, cahier n° 1353, décembre 1975.
- De Bruyckere, R. et Wagneur, M.  
Quelques cas typiques de dégradations des toitures plates. Bruxelles, C.S.T.C.-revue, n° 4, hiver 1974.
- Deutsches Institut für Normung  
DIN 18530 - Massive Deckenkonstruktionem für Dächer; Richtlinien für Planung und Ausführung. Berlin-Köln, Beuth Verlag GmbH, décembre 1974.
- Fédération Royale des Sociétés d'Architectes de Belgique, Confédération Nationale de la Construction et Centre Scientifique et Technique de la Construction  
Cahier général des charges pour travaux de construction privée. 2° partie. Clauses techniques. Tome I. Bruxelles, F.A.B.-C.N.C.-C.S.T.C., 1970.
- Internationale Federation des Dachdeckerhandwerks  
Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern mit bituminösen- und Kunststoff-Dachbahnen. Vienne, Internationale Federation des Dachdeckerhandwerks, 1975.
- Moritz, K.  
Manuel des toits plats. Paris, Dunod, 1967.
- Moritz, K.  
Richtig und Falsch in Wärmeschutz, Feuchtigkeitsschutz, Bautenschutz. Wiesbaden-Berlin, Bauverlag, 1965.
- Rick, A. W.  
Das Flach Dach. 4° édition. Heidelberg, Strassenbau, Chemie und Technik Verlagsgesellschaft, 1963.
- Quewet, Ch.  
Déformation d'une couverture en bardeaux bitumés sur panneaux de particules de bois. Bruxelles, C.S.T.C.-revue, n° 1, mars 1977.
- Seifert, K.  
Richtig belüftete Flachdächer ohne Feuchtluftprobleme. Wiesbaden/Berlin, Bauverlag, 1973.
- Zentralverband des Dachdeckerhandwerks  
Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern. Berlin, Helmut Gros Fachverlag, 1962.
- Zentralverband des Dachdeckerhandwerks  
Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern. Berlin, Helmut Gros Fachverlag, 1967.
- Zentralverband des Dachdeckerhandwerks  
Richtlinien für die Ausführung von Flachdächern. Berlin, Helmut Gros Fachverlag, 1973.

## ON NOUS QUESTIONNE, NOUS RÉPONDONS

La complexité croissante des techniques modernes de construction place les entrepreneurs devant des problèmes de tout genre.

Pour résoudre les difficultés avec lesquelles ils sont ainsi confrontés, nombre d'entre eux font appel au département information du Centre. Le département est à la disposition des entrepreneurs ressortissants en règle de redevance et l'aide qu'il peut apporter à ceux-ci est gratuite.

Il est vivement recommandé de poser les questions suffisamment à temps et de les formuler avec un maximum de précision.

### CONDENSATION SUR DES LINTEAUX EN BÉTON

G. Carpentier (\*)

*On a construit récemment une habitation dont les murs creux ont été complètement remplis avec de la laine minérale. Toutes les battées des châssis en bois à double vitrage sont pourvues de garnitures d'étanchéité.*

*Des taches noires sont apparues sur les linteaux au-dessus des châssis et le plafonnage est devenu humide. Le phénomène se manifeste surtout dans les chambres à coucher, orientées à l'est et rarement chauffées. On ne remarque pas de dommages similaires dans la salle de séjour.*

*Comment peut-on expliquer le phénomène constaté? Quels sont les remèdes possibles?*

Les linteaux en béton sont en contact direct avec la paroi extérieure en maçonnerie du mur creux. La valeur  $k$  de la construction à l'emplacement des linteaux est plus de quatre fois supérieure à celle du mur creux isolé. Les linteaux constituent donc un pont thermique.

En outre, comme les châssis sont pourvus de garnitures d'étanchéité, le taux de ventilation est faible.

Les personnes séjournant dans les chambres à coucher produisent une certaine quantité d'humidité sous forme de vapeur. Comme la ventilation est insuffisante, cette humidité n'est pas évacuée et se condense aux endroits les plus froids, c'est-à-dire sur les doubles vitrages ainsi que sur les ponts thermiques. Il faut noter aussi que les angles sont moins atteints par la ventilation.

Le fait que les phénomènes constatés dans les chambres à coucher ne se produisent pas dans

la salle de séjour alors que les linteaux des châssis sont identiques, peut s'expliquer comme suit :

- la salle de séjour est chauffée, ce qui n'est pas le cas pour les chambres à coucher; dans celles-ci, l'humidité relative sera plus élevée que dans la salle de séjour
- les portes intérieures de la salle de séjour sont souvent ouvertes, ce qui favorise la ventilation et donc aussi l'évacuation de la vapeur
- la salle de séjour est orientée vers le sud et les chambres à coucher à l'est; en hiver, la température de la façade est légèrement inférieure à celle de la paroi sud.

On peut remédier à la condensation en diminuant l'influence des ponts thermiques et en favorisant la ventilation des chambres à coucher.

Pour améliorer la ventilation, on conseille soit d'aménager des ouvertures de ventilation ré-

(\*) Ing., conseiller principal, département de l'information, C.S.T.C.

glables, soit d'enlever les garnitures d'étanchéité des battées qui ne sont pas exposées à la pluie (par exemple, les battées supérieures).

L'effet des ponts thermiques peut être réduit grâce à une isolation supplémentaire le long du côté intérieur des linteaux (fig. 1).

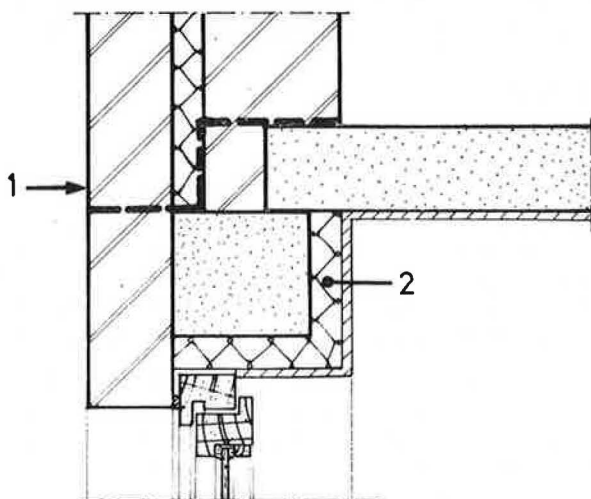


Fig. 1.  
1. joint vertical ouvert  
2. isolation complémentaire

Il est nécessaire d'utiliser un matériau isolant à grande résistance au passage de la vapeur d'eau ( $\mu > 100$ ), mousse de polystyrène extrudé ou mousse de polyuréthane par exemple, ou de placer un pare-vapeur le long de la paroi intérieure. On obtiendra ainsi une surépaisseur. à l'endroit des linteaux.

Pour les nouvelles constructions, on peut procéder de deux façons :

- séparer par un matériau isolant le linteau de la paroi extérieure du mur creux; dans ce cas, la paroi extérieure doit être soutenue par une cornière par exemple (fig. 2).

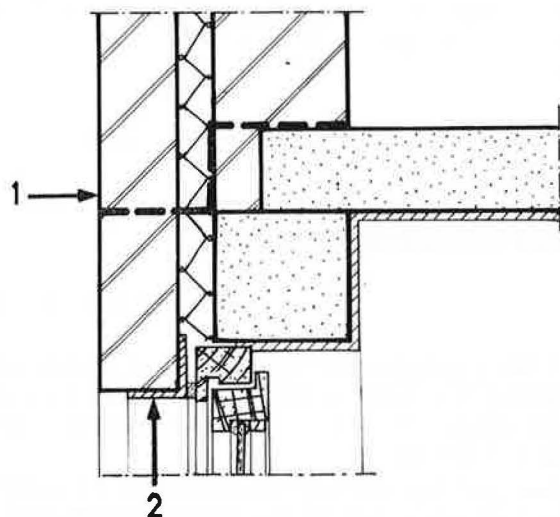


Fig. 2.  
1. joint vertical ouvert  
2. cornière

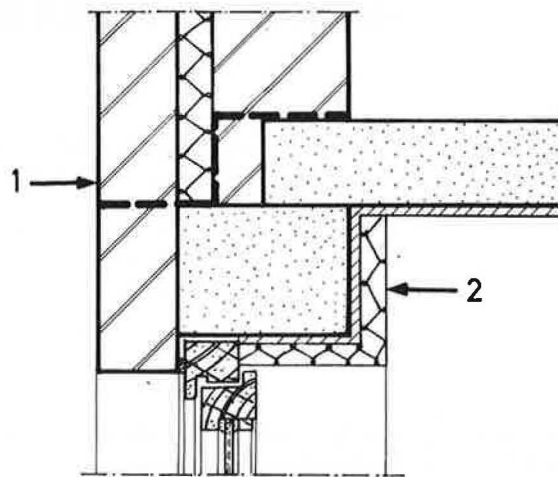


Fig. 3.  
1. joint vertical ouvert  
2. matériau isolant utilisé comme coffrage perdu

- utiliser un matériau isolant comme coffrage perdu (fig. 3).

Il faut insister sur l'importance de la couche d'étanchéité au-dessus des linteaux. En feutre bitumé surfacé R 500, elle doit couvrir toute l'épaisseur de la paroi extérieure du mur creux, être repliée contre la paroi intérieure du mur et elle y sera ancrée.

Cette couche d'étanchéité est également nécessaire lorsque la paroi extérieure du mur creux et les linteaux ne sont pas en contact. L'eau qui s'infiltre par la paroi extérieure du mur creux doit pouvoir être évacuée par des joints verticaux ouverts, par exemple un joint vertical ouvert toutes les trois panneresses.

Les arêtes des châssis de fenêtres et de portes sont souvent réalisées comme le montre la figure 4, ce qui constitue également un pont thermique. Il faut préférer l'exécution donnée à la figure 5.

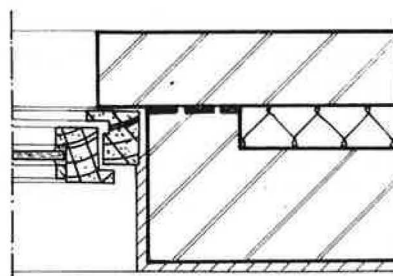


Fig. 4.

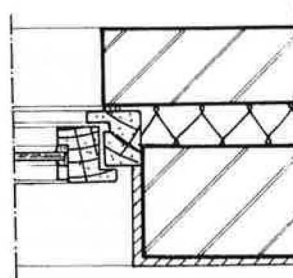


Fig. 5.

## FORMATION DE TACHES SUR UN REVÊTEMENT DE MURS EN VINYL

J. Reygaerts (\*)

*Il y a environ un mois on a collé sur un enduit au plâtre pur un revêtement en vinyl possédant des propriétés fongicides, au moyen d'une colle fongicide à l'acétate de polyvinyle.*

*On a constaté après peu de temps la formation de taches colorées qui se sont développées d'abord entre l'enduit et le revêtement en vinyl et sont ensuite apparues en surface.*

*Quel est l'explication de ce phénomène ?*

Les taches constatées sont provoquées par le développement de moisissures entre l'enduit en plâtre et le revêtement sous l'action conjuguée de différents facteurs.

**1.** Les enduits et les maçonneries conservent un certain pourcentage d'humidité.

On admet habituellement qu'un enduit peut être tapissé si sa teneur en humidité est inférieure à 3 %. Selon le DTU nr. 25.1 (\*\*), un enduit est sec si sa teneur en humidité est inférieure à 1 %. On trouve les mêmes renseignements dans les prescriptions allemandes; celles-ci acceptent une teneur en humidité de 2 % pour les enduits à base de plâtre et de chaux.

Dans le cas étudié ici, on n'a pas effectué de mesures d'humidité en cours d'exécution; on peut cependant supposer que le degré d'humidité atteignait environ 3 % parce que lors de l'examen des dégâts on a relevé sous le revêtement un taux d'humidité de 3,5 % maximum, surtout dans les coins mal aérés.

Normalement on a relevé 1 à 1,5 % d'humidité et aux endroits sans revêtement 0 à 0,5 %.

Toutes les mesures ont été effectuées au carbure de calcium et au moyen d'un hygromètre électrique.

On peut donc affirmer que l'humidité de l'enduit était supérieure à 1 % lors du placement du revêtement en vinyl.

**2.** On sait que dans des climats bien déterminés, où la teneur en humidité et la température de la surface ainsi que le pH des matériaux adjacents sont « idéaux », les colles à base d'acétate de polyvinyle et les revêtements en vinyl sont sensibles à l'attaque des moisissures.

Dans le cas étudié, les mesures ont révélé que le pH était neutre et que, suivant les endroits, la température atteignait 12 à 30 °C. Les conditions étaient très favorables à la prolifération des moisissures.

Il est étonnant d'apprendre que, selon le fabricant, aussi bien la colle que le revêtement vinyl contiennent des matières fongicides.

Une analyse plus poussée a révélé que si ces matières étaient bien présentes, elles l'étaient en quantités si faibles que la prolifération des moisissures était cependant possible dans une ambiance favorable à leur développement.

Cette ambiance ne se modifie d'ailleurs pas étant donné l'étanchéité relativement élevée au passage de la vapeur d'eau du matériau de revêtement. On ne pouvait donc pas escompter un séchage ultérieur de l'enduit.

Le fabricant aurait dû préciser de façon tout à fait exacte l'action fongicide de ses produits.

**3.** En conclusion, on peut se demander si les dégâts constatés se seraient produits si le revêtement en vinyl avait été posé un peu plus tard sur un support plus sec.

(\*) Ing., chef du département de l'information, C.S.T.C.

(\*\*) DTU n° 25.1 Enduits intérieurs en plâtre. Paris, Cahiers du C.S.T.B., livraison 161, cahier n° 1.327, juillet/août 1975.

## OBSTRUCTION DU VENTURI D'UNE CHAUDIERE MURALE

M. Storms (\*)

*Une installation de chauffage central d'appartement comprend une chaudière murale à gaz mixte (puissance calorifique : 20.000 kcal/h) et cinq radiateurs à panneaux en acier. L'installation est réalisée en système bitube (tuyaux de Ø 15 et 18 mm) et a une teneur en eau de 40 à 50 l (fig. 1).*

*La régulation de l'installation s'opère par des robinets thermostatiques à bulbe incorporé montés sur les radiateurs (il n'y a pas de thermostat d'ambiance). La température de départ est réglée en permanence à 70 °C.*

(\*) Ing., conseiller, département de l'information, C.S.T.C.

Trois semaines après la première mise en service, il s'est produit une obstruction de chaudière (obstruction du venturi équipant le retour de la chaudière). Le corps de chauffe a subi une dégradation par surchauffe et on a dû procéder au renouvellement de la chaudière murale.

Quatre à cinq jours après, le même accident s'est à nouveau produit, sans toutefois causer un préjudice à la chaudière. On a désobstrué le venturi et on a rincé toute l'installation.

Très peu de temps après, on a encore eu la même panne. On a incriminé les radiateurs et on a décidé de les remplacer par d'autres de mêmes type et marque.

Quelques semaines plus tard, malgré les renouvellements de chaudière et de radiateurs et les rinçages de l'installation, le même incident s'est produit pour la quatrième fois.

On a prélevé des échantillons de l'eau de l'installation. Cette eau a un aspect brun-rougeâtre et son analyse qualitative en laboratoire confirme la présence de fer et de carbonate de calcium.

Quelles sont les causes du phénomène observé ?

Quels sont les remèdes à apporter afin de préserver l'installation contre une dégradation accélérée et généralisée ?

## 1. Causes du phénomène observé

**1.1** Les impuretés occluses dans l'installation lors de son montage (grains de sable ou copeaux par exemple) et véhiculées par l'eau lors de la première mise en fonctionnement sont parmi les causes.

L'installation était dépourvue d'un élément filtrant à tamis en treillis métallique fin (ou de pot décanteur), ce qui a pu dès le départ provoquer une destruction du venturi de la chaudière.

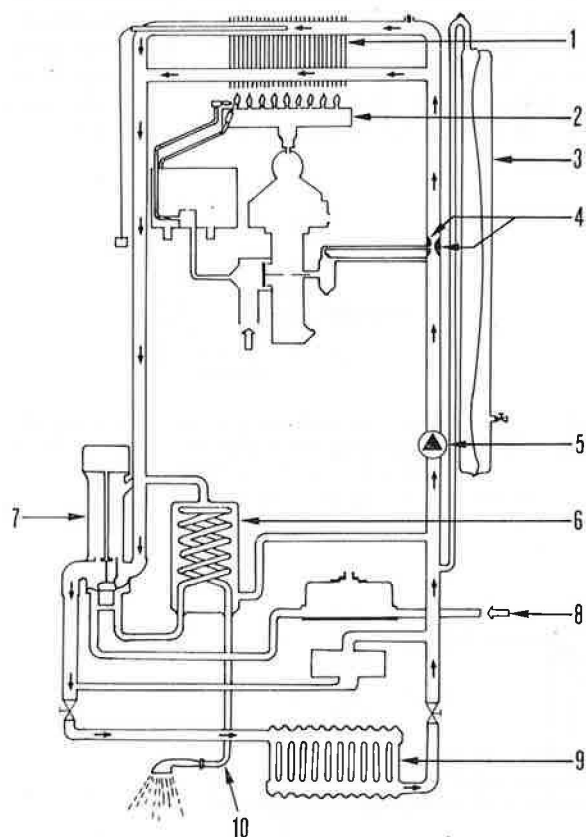


Fig. 1.

1. corps de chauffe de la chaudière murale - 2. brûleur atmosphérique au gaz - 3. vase d'expansion - 4. tube venturi - 5. circulateur - 6. soupape de priorité eau chaude sanitaire - 7. échangeur préparation eau chaude sanitaire - 8. circuit radiateurs - 9. distribution eau chaude sanitaire - 10. alimentation eau froide.

**1.2** Les chaudières murales à gaz sont dotées d'un serpentin qui est un échangeur à haute densité de flux, travaillant, pour réduire les surfaces d'échange, très près de la limite de vaporisation. Il suffit dès lors d'un léger entartrage, d'une accumulation de boue, d'une mauvaise circulation de l'eau (par obstruction du venturi dans le cas étudié) pour que l'homogénéité de la répartition des flux soit détruite et que des points chauds apparaissent sur le serpentin.

La température de la paroi du serpentin peut alors atteindre et même dépasser 100 °C à l'endroit considéré et provoquer l'ébullition de l'eau en contact immédiat avec le serpentin.

Les phénomènes de vaporisation sont favorisés en cas de remplissage insuffisant (diminution de la température de saturation de la vapeur d'eau) et sont d'autant plus préjudiciables au bon fonctionnement des installations que celles-ci sont à faible contenance en eau.

**1.3** Des anomalies de fonctionnement peuvent se produire lorsque tous les robinets thermostatiques des radiateurs sont fermés. A cause de l'absence d'un by-pass en fin de circuit il n'est pas possible d'assurer un débit horaire minimal en eau de la chaudière murale (1000 l/h pour une puissance de 20.000 kcal/h et un écart de température de 20 °C entre le départ et le retour).

**1.4** L'eau de distribution servant au remplissage des installations de chauffage contient du bicarbonate de calcium qui se décompose lors de l'élévation de la température en donnant naissance à un précipité de carbonate de chaux insoluble avec parallèlement un dégagement de gaz carbonique.

Le précipité de carbonate de chaux se dépose surtout dans l'élément de chauffe de la chaudière murale. La surchauffe de la chaudière suivie d'un refroidissement a pour effet de provoquer un décollement du film de carbonate de chaux qui est ensuite véhiculé en fines particules (formation de boues).



Quant à la présence d'oxyde de fer dans l'eau, elle trouve son explication dans le phénomène de corrosion des parois en acier sous l'action de l'air occlus dans l'installation et de l'oxygène et d'autres gaz présents dans l'eau de distribution lors du remplissage (\*). Cette corrosion n'est que temporaire et prend fin après le dégazage de l'eau pour autant que celle-ci ne soit pas constamment renouvelée.

Les vidanges, rinçages et remplissages successifs accélèrent la formation de boues composées d'oxyde de fer et de particules de carbonate de chaux.

## 2. Remèdes préconisés

On peut déduire de ce qui précède qu'il est important de réduire autant que possible l'introduction régulière d'eau fraîche dans l'installation, surtout si cette dernière est à faible teneur en eau.

Le bon fonctionnement des installations de chauffage à chaudière murale, à régulation par thermostats de radiateurs et à faible contenance en eau ne peut être garanti que si les conditions suivantes sont respectées.

**2.1** Un by-pass doit être prévu sur l'installation; il doit pouvoir assurer à lui seul un certain débit minimal dans la boucle de chauffage (circulation permanente à pression constante).

Toute élévation de pression créée par la fermeture des robinets thermostatiques sera compensée par ce by-pass, ce qui évitera des anomalies de fonctionnement de la chaudière, des bruits de circulation et des surchauffes éventuelles (fig. 2 et 3).

Dans le cas d'utilisation d'un ou de plusieurs (en fonction du débit d'eau à recycler) robinets thermostatiques avec by-pass, l'eau de chauffage est by-passée directement vers le retour lorsque le ou les robinets se trouvent en position fermée.

**2.2** Les robinets thermostatiques doivent être bien dimensionnés (pour éviter les bruits de circulation et une mauvaise qualité de régulation).

**2.3** On doit prévoir un filtre ou pot décanteur sur le retour de la chaudière.

**2.4** On doit utiliser une pression de remplissage à froid suffisante et en tout cas supérieure à la pression statique de l'installation de chauffage (généralement très faible puisque l'installation ne concerne dans la plupart des cas qu'un seul niveau, un appartement par exemple).

Il est conseillé pour ce genre d'installation de dimensionner largement le vase d'expansion afin de créer une réserve tampon d'eau. Le dimensionnement du compensateur de dilatation se fera à partir d'une contenance en eau de l'installation doublée et en fixant une capacité totale minimale du vase égale à 7 l. Cette méthode suppose une déformation initiale de l'élément élastique du vase après remplissage à froid de l'installation, c'est-à-dire que, la pression de gonflage étant égale à la pression statique, on adoptera une majoration de 0,5 kgf/cm<sup>2</sup> lors du remplissage, ce qui aura pour effet de déformer la membrane ou la vessie du vase d'expansion et de pourvoir ainsi à la réserve tampon d'eau (le but étant d'augmenter la température de vaporisation de l'eau et d'obvier à la mise en dépression des radiateurs pouvant subir l'aspiration maximale de la pompe de circulation).

**2.5** On doit éviter la « fabrication » de boues par introduction de produits destinés à traiter l'eau et à précipiter les sels.

**2.6** La conduite de l'installation, c'est-à-dire le remplissage, la mise en service et la compensation des pertes en eau doit se faire de telle façon que dans les conditions de pression et de température de fonctionnement normal, aucun dégazage ne puisse plus avoir lieu (\*).

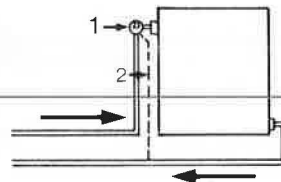


Fig. 3 — Installation de chauffage avec chaudière murale. Régulation par thermostat de radiateur et vanne à trois voies constituant by-pass.

1. robinet thermostatique à by-pass - 2. by-pass

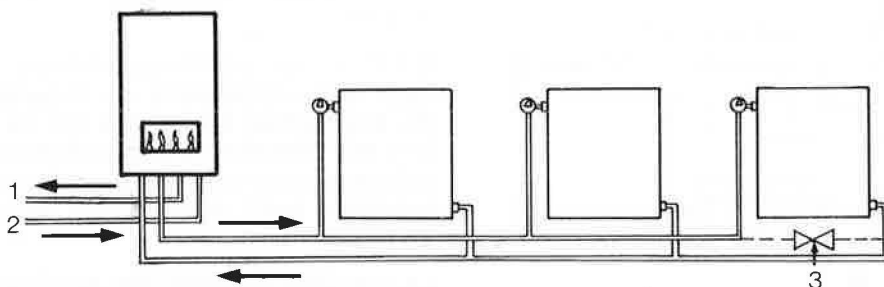


Fig. 2 — Installation de chauffage avec chaudière murale. Régulation par thermostats de radiateurs et vanne à deux voies placée sur un by-pass.

1. eau chaude - 2. eau froide - 3. by-pass obligatoire

(\*) Storms, M. Le vase d'expansion automatique dans les installations de chauffage central à eau chaude basse pression. Bruxelles, C.S.T.C.-revue, n° 2, été 1974.

# PARUS AU C.S.T.C.

## *N.I.T. 111 - Calcul automatique d'un réseau d'extraction et de pulsion d'air (20 p., 80 F) (\*)*

Cette note a été rédigée à l'initiative du groupe de travail Ordinateur, dans le cadre des activités du Comité technique Chauffage et Climatisation présidé par M. Fr. van Heeswijk.

Le document décrit les utilisations possibles et les moyens d'exécution d'un programme dénommé AIRDUCT 2 conçu pour calculer les circuits de distribution et de reprise d'air.

## *N.I.T. 112 - Code de bonne pratique des travaux de peinture (bâtiment et génie civil). 1<sup>re</sup> partie. Vocabulaire du peintre (46 p., 80 F) (\*)*

Le Comité technique Peinture a entrepris la rédaction d'un code de bonne pratique des travaux de peinture dans les domaines du bâtiment et du génie civil.

Il a estimé nécessaire et utile de faire précéder ce code d'un Vocabulaire du peintre précisant la signification des termes généralement utilisés dans la profession.

La note d'information a été rédigée par un groupe de travail comprenant des entrepreneurs de peinture et décor et des délégués de l'industrie des peintures et vernis.

Ce vocabulaire du peintre donne la signification de plus de 300 termes généralement utilisés en Belgique dans la profession. La note est complétée par un lexique français-néerlandais et un lexique néerlandais-français.

## *N.I.T. 113 - Vitrerie (64 p., 150 F) (\*)*

Cette note a été rédigée par le Comité technique Vitrerie présidé par M. E. Markus.

Le document traite

- des matériaux intéressant la mise en œuvre du vitrage (verre, châssis, produits de calfeutrement)
- de la mise en œuvre du vitrage (des travaux préparatoires à l'étanchéité)
- des travaux spéciaux
- de l'entretien, point important trop souvent négligé.

Il tient compte de toute une série de nouvelles exigences : isolation thermique et phonétique améliorée, étanchéité au vent et à la pluie plus efficace, sécurité des personnes, améliorations au point de vue optique et décoration.

## *Compte rendu d'étude et de recherche n° 19 - Comptabilité analytique (120 p., 300 F) (\*)*

La définition et le domaine d'application de la comptabilité analytique sont suivis de l'explication de la méthode des centres de production. Le chapitre 3 donne la relation entre la comptabilité générale et la comptabilité analytique ainsi que la structure de cette dernière. Les chapitres 4 à 10 traitent successivement des grands groupes de comptes. L'étude est complétée par une série de graphiques.

## *Compte rendu d'étude et de recherche n° 20 - Recherches sur les performances du bâtiment (40 p., 100 F) (\*)*

Ce rapport fait la synthèse d'un ensemble de travaux réalisés par le Centre Scientifique et Technique de la Construction et le Bureau SECO, sous l'égide du Syndicat d'études Interindustries - Construction (IC-IB) et ayant pour but de contribuer au développement de l'industrialisation du bâtiment en général et du logement en particulier.

Les travaux qui ont reçu l'appui de toutes les fédérations et groupements industriels constituant l'IC-IB ont été réalisés du 1<sup>er</sup> décembre 1973 au 31 mai 1975. Ils ont reçu l'aide financière de l'Institut pour l'Encouragement de la Recherche Scientifique dans l'Industrie et l'Agriculture.

L'étude comprend divers chapitres ou recherches partielles dont le déroulement est conduit par des Comités de recherches dont chaque rapporteur est un ingénieur du C.S.T.C. ou du Bureau SECO.

Les thèmes abordés, qui constituent un ensemble coordonné, sont les suivants :

- guide des performances du bâtiment
- durabilité des constructions : agents d'agression, durée de vie, performance limite d'utilisation
- tolérances dimensionnelles de fabrication en usine, d'implantation et de montage sur chantier des éléments de construction
- déformations admissibles des éléments de construction, compatibles avec leur stabilité, le comportement des assemblages et des finitions, les conditions d'habitabilité et de confort
- confort acoustique (critères et méthodologie)
- confort hygrothermique des bâtiments : expériences sur ensembles construits en laboratoire et in situ et méthodologie de la conductivité thermique des matériaux
- étanchéité des façades à l'air et à l'eau, connaissance des facteurs climatiques (vent, pluie, température) et observation des mouvements des joints de façade.

## *Planification des chantiers (84 p. + 48 annexes sous encartage séparé, 400 F) (\*)*

Cet ouvrage condense toutes les expériences de planning faites par les ingénieurs du département gestion des entreprises sur les chantiers d'une vingtaine d'entreprises.

On y trouve l'exposé didactique et la démonstration complète de la manière d'organiser différents types d'ouvrages, depuis la maison familiale jusqu'à la grosse entreprise à multiples sous-traitants.

## *Cahier général des charges pour travaux de construction privée. 2<sup>e</sup> partie. Clauses techniques (édition commune F.A.B.-C.N.C.-C.S.T.C.) (Tome I, fascicules 1 à 12, 300 p., 400 F, Tome II, fascicules 13 à 19, 239 p., 400 F) (\*)*

### *Fascicule 13 - Installations sanitaires et hydraulique du bâtiment (47 p., 80 F) (\*)*

### *Fascicule 14 - Installations de gaz (30 p., 65 F) (\*)*

### *Fascicule 15 - Installations d'électricité des bâtiments (14 p., 50 F) (\*)*

### *Fascicule 16 - Installations électro-mécaniques (19 p., 50 F) (\*)*

### *Fascicule 17 - Isolement acoustique (30 p., 65 F) (\*)*

### *Fascicule 18 - Isolation thermique (25 p., 55 F) (\*)*

### *Fascicule 19 - Chauffage, ventilation, climatisation (55 p., 100 F) (\*)*

## *Isolation thermique des immeubles. Conseils pratiques (affiche, gratuit)*

Cette affiche donne des renseignements pratiques pour réaliser ou améliorer l'isolation thermique des bâtiments ainsi que les économies de combustibles qui en résultent.

## *Recherches belges en matière de protection des bâtiments contre l'incendie. Rapports présentés à la Journée d'Information du 29 mai 1975 (168 p., 300 F., T.V.A. comprise)*

Les rapports présentés à cette Journée d'information constituent une synthèse des résultats des recherches effectuées en Belgique en 1973-74 par la Commission Nationale de Recherches Incendie.

Ces recherches ont été subventionnées par l'I.R.S.I.A. et le Ministère de l'Intérieur et financées également par un grand nombre d'organismes et de centres de recherches.

(\*) Les entreprises reçoivent gratuitement C.S.T.C.-revue et les N.I.T. et, sur demande, les comptes rendus d'étude et de recherche; ils payent un prix réduit pour les autres publications; les prix indiqués s'entendent T.V.A. comprise. Des réductions sont également prévues pour l'enseignement et l'administration.

Les organismes et personnes intéressés peuvent s'abonner aux publications du C.S.T.C. (950 F par an; ce prix est ramené à 500 F pour les professeurs, les étudiants et l'administration).

Pour tout renseignement, prière de s'adresser à la Documentation-Publications (02/511.06.83 - poste 20).



DVODECEDRON PLANVS  
VACVVS.

