



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

84, AVENUE JEAN JAURES - CHAMPS-SUR-MARNE - B.P. 02 - 77421 MARNE-LA-VALLÉE Cedex 2
Tél. : (1) 64.68.82.82 - Télex : 694282 F - Télécopie : 60.05.70.37

CENTRE DE RECHERCHE
DE MARNE-LA-VALLÉE

DEPARTEMENT DE L'ENERGETIQUE
ET DE LA PRODUCTIQUE

GEC n° 89-4747
Avril 1989

FASCICULE DE DOCUMENTATION DU CODE DE CALCUL GAIN

DIFFUSION : *Libre*

Service **GENIE ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE**

Redwan MOUNAJED

Division **AEREAULIQUE ET CLIMATISATION**

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

1000

C S T B

Centre de Recherche de Marne la Vallée

GEC n° 89-4747
CP/RM - 12.04.89

Service Génie Energétique et Climatique

Fascicule de documentation
du Code de Calcul GAINE

Redwan MOUNAJED

Division Aéraulique et Climatisation

Avril 1989

RESUME

Le code GAINÉ est destiné à calculer, en régime permanent, les débits d'air extraits et les pressions dans un immeuble de plusieurs étages équipé d'une ou plusieurs gaines de ventilation. Il se prête aussi bien à l'étude du fonctionnement des installations de VMC, de VMC-Gaz qu'à celle des installations de ventilation à tirage naturel par gaine verticale.

Ce programme, rédigé en langage FORTRAN, est implanté sur l'ordinateur DEC VAX 11/780 (système d'exploitation VMS) du Centre de Recherche de Marne-La-Vallée du CSTB. Il a été porté sur micro-ordinateur PC compatible IBM (système d'exploitation MS-DOS).

Le temps d'exécution du programme, pour un immeuble de dix étages considéré comme un empilement de dix volumes reliés par un seul conduit est de l'ordre d'une seconde CPU sur VAX et de quinze à trente secondes sur PC selon la configuration du système.

MOTS CLES

Code de calcul - modélisation - réseau aéraulique - ventilation.

SOMMAIRE

| | |
|--|-----------|
| 1 - OBJET | 5 |
| 2 - UTILISATION DU PROGRAMME..... | 5 |
| 3 - DOMAINE D'UTILISATION..... | 5 |
| 3.1 - Type de réseau..... | 5 |
| 3.2 - Limitation d'emploi..... | 7 |
| 4 - MODELISATION | 10 |
| 4.1 - Le logement..... | 10 |
| 4.2 - Champs de pression dans les zones..... | 10 |
| 4.3 - Champs de pression en présence du vent..... | 10 |
| 4.4 - Les bouches..... | 11 |
| 4.5 - Perméabilité..... | 14 |
| 4.6 - Perte de charge dans le réseau..... | 15 |
| 4.7 - Ventilateurs et aspirateurs statiques..... | 16 |
| 4.8 - Déperditions thermiques dans les conduits..... | 17 |
| 4.9 - Cas où des chaudières à gaz sont raccordées..... | 18 |
| 5 - ALGORITHME DE RESOLUTION..... | 21 |
| 6 - DONNEES D'ENTEE..... | 22 |
| 6.1 - Liste de variables..... | 22 |
| 6.1.1 - variables communes aux versions 1 et 2 du code gaine..... | 22 |
| 6.1.2 - variables relatives à la version 1 du code de calcul GAINE (VN - VMC)..... | 23 |
| 6.1.3 - variables relatives à la version 2 du code de calcul GAINE (VMC - VMC GAZ)..... | 23 |
| 6.2 - Option pour GAINE version 1..... | 26 |
| 7 - FICHER D'ENTREE ET DE SORTIE..... | 26 |
| 7.1 - Gaine version 1..... | 27 |
| 7.2 - Gaine version 2..... | 27 |
| 7.3 - Exemples..... | 27 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES..... | 34 |

1 - OBJET

Le code GAINÉ a pour objet de déterminer le débit d'air extrait à chaque étage d'un immeuble pour une configuration donnée du réseau de ventilation (c'est à dire diamètres des conduits, diamètres de piquages, entrées d'air, bouches d'extraction et caractéristiques de l'extracteur mécanique, ou, dans le cas de gaine de ventilation naturelle, de l'aspirateur statique utilisé ...).

Ce code a notamment servi de support à l'élaboration de règles de dimensionnement des installations.

Le développement de ce code est intervenu dans le cadre d'actions de recherches menées sur les crédits propres du CSTB avec le soutien de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (AFME). Il s'inscrit dans le cadre du travail de thèse de Monsieur Redwan MOUNAJED sur la modélisation des transferts d'air dans les bâtiments [1].

2 - UTILISATION DU PROGRAMME

Le présent manuel d'utilisation est exclusivement rédigé pour les versions 1 et 2 du code GAINÉ développé pour la recherche. La version 1 traite le cas d'un seul conduit collecteur (conduit vertical). La version 2 traite simultanément le cas de plusieurs conduits collecteurs reliés entre eux par un conduit horizontal en terrasse. Ce logiciel est implanté sur l'ordinateur DEC VAX 11/780 (système d'exploitation VMS) du centre de recherche de Marne-la-Vallée du CSTB. Il utilise des routines de la bibliothèque mathématique IMSL [2]. La version 1 du code GAINÉ a été portée sur micro-ordinateur PC compatible IBM (système d'exploitation MS-DOS).

S'il est fait référence à GAINÉ où à des résultats fournis par le code, on doit faire apparaître explicitement la mention suivante :

*Code GAINÉ d'Etude des Transferts d'Air dans les Réseaux de Ventilation
(versions 1 et 2)*

R. MOUNAJED et D. BIENFAIT

Division Aéraulique et Climatisation

Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

84, Avenue Jean Jaurès

CHAMPS-SUR-MARNE - BP 02

77421 - MARNE-LA-VALLEE Cedex 2 - FRANCE.

3 - DOMAINE D'UTILISATION

3.1 - Type de réseau

Le réseau est constitué de plusieurs conduits verticaux (collecteurs) dont les extrémités supérieures débouchent, selon le cas :

- dans des aspirateurs statiques (ventilation naturelle),
- dans un conduit horizontal en terrasse (ventilation mécanique).

Chaque collecteur est constitué de plusieurs tronçons (hauteur d'étage) pour lesquels on peut choisir des diamètres différents. A chaque étage, ce conduit collecte, à l'aide d'un piquage de diamètre variable, les débits à extraire.

Lorsqu'on a deux piquages sur la même hauteur, le cas est traité comme s'il y en a un (voir figure 1).

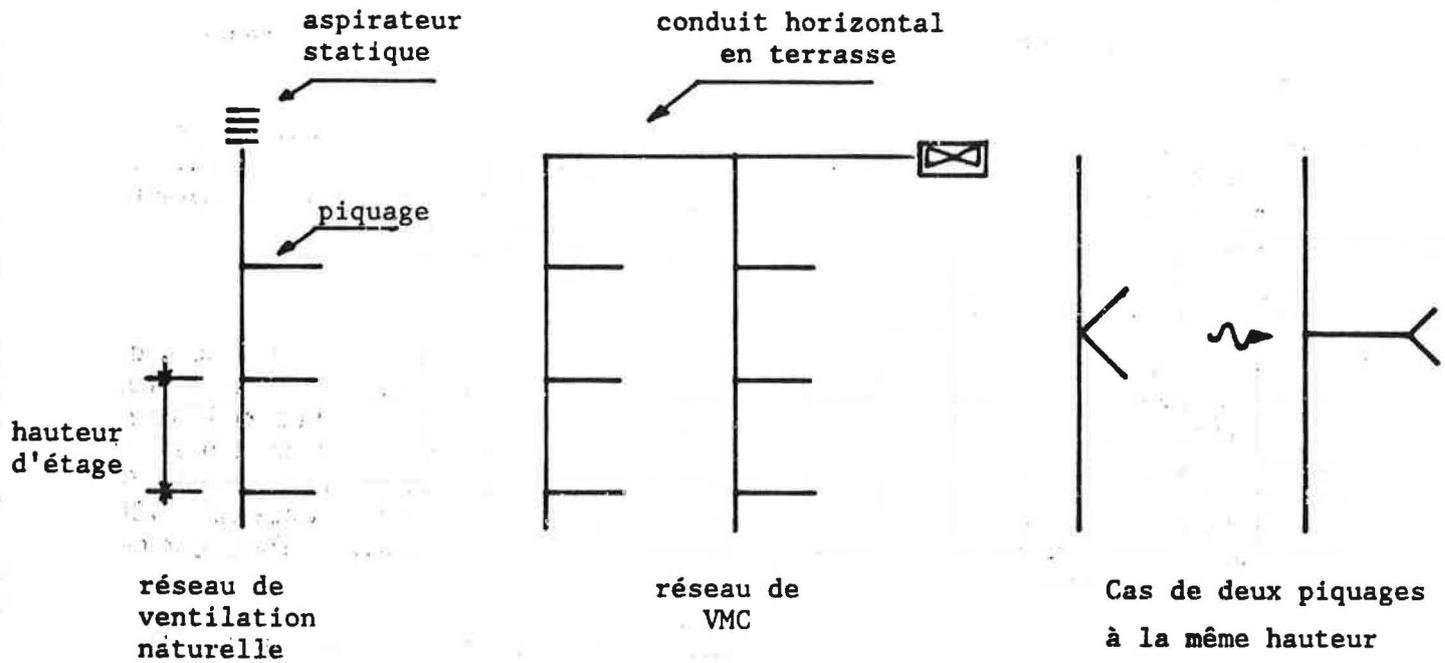


Figure 1

Le conduit horizontal dans le cas d'une VMC est de même type ; il recueille les débits extraits par les collecteurs et débouche à son extrémité dans un extracteur mécanique.

Ce conduit est constitué de plusieurs tronçons de diamètres et longueurs variables, reliant les différents collecteurs (voir figure 1).

3.2 - Limitation d'emploi

1/ On note que le code GAINE ne traite pas les réseaux de type différent (voir figure 2).

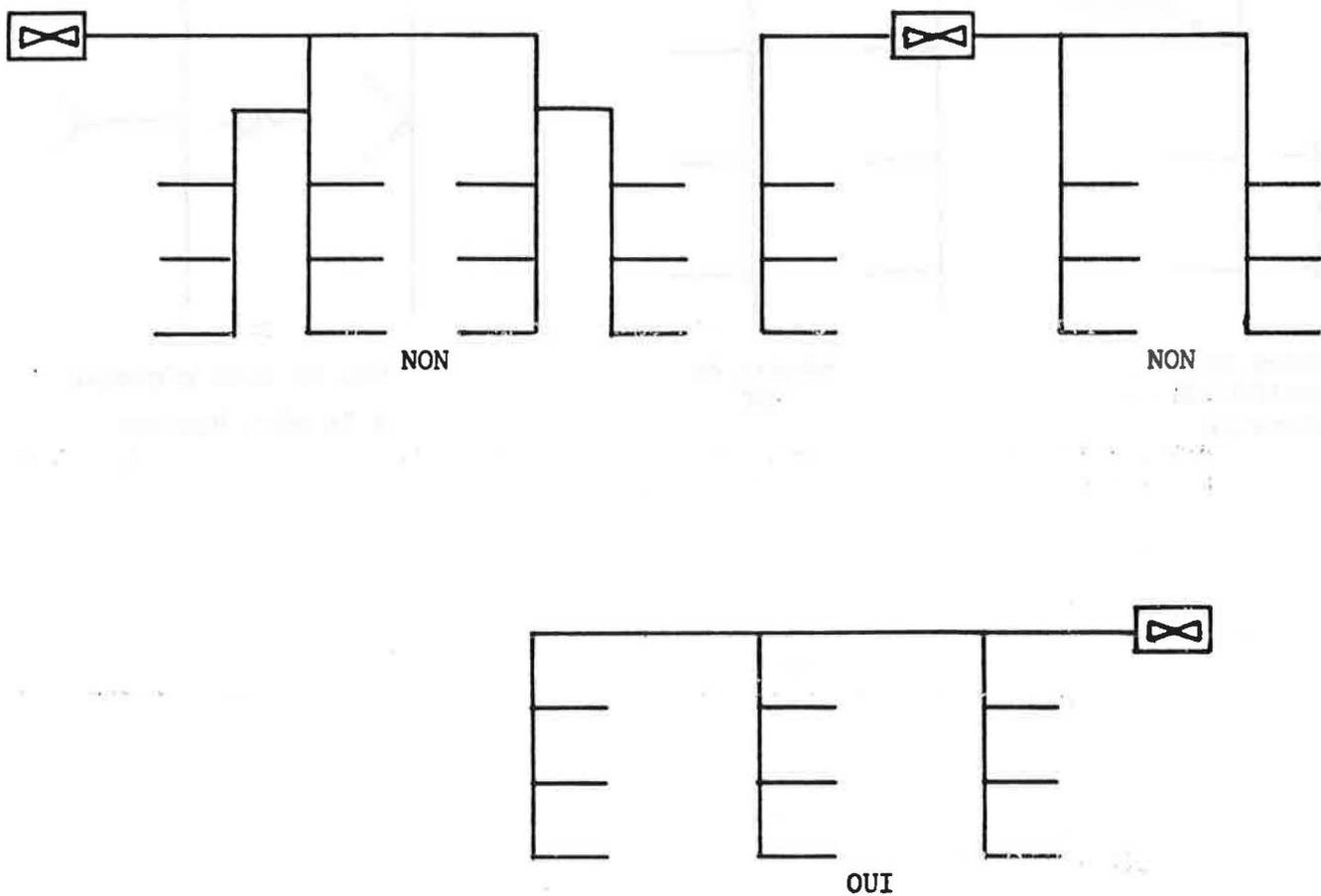


Figure 2

- 2/ Le type de réseau n'a été développé que pour des conduits sans changement de direction ; il y a donc lieu, si on veut traiter des cas réels (dévoisement, élargissement du conduit, accident de parcours ...) d'introduire un tronçon de conduit rectiligne équivalent de diamètre D_e qui présenterait la même perte de charge que le tronçon réel de diamètre D (voir figure 3).

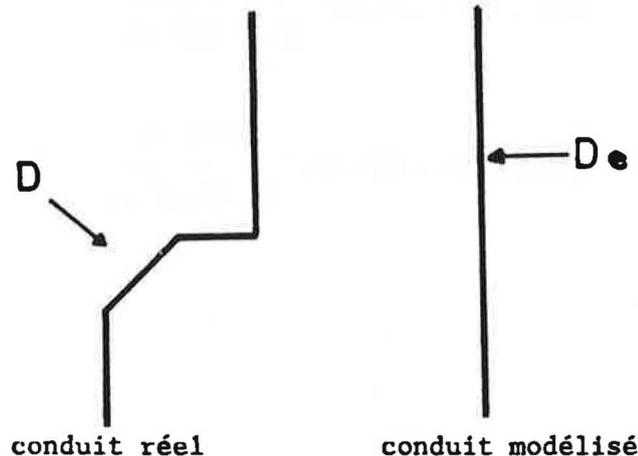


Figure 3 : Cas d'un dévoiement et/ou d'un accident dans un tronçon

3/ Sens d'écoulement

Actuellement le code GAINÉ ne permet de calculer les températures exactes que lorsque le débit dans le collecteur est ascendant (voir figure 4).

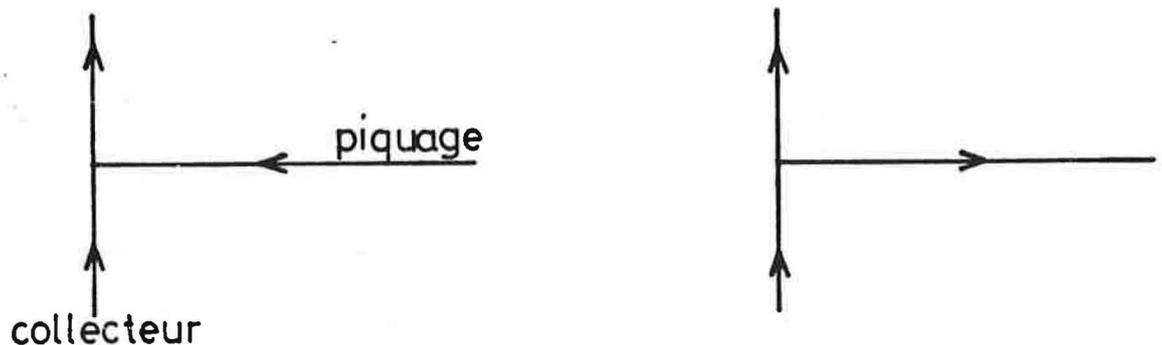


Figure 4

Les cas contraires, qui, pour les installations de VMC, ne se produisent que dans des circonstances exceptionnelles (arrêt de l'extracteur) sont traités, en retenant une hypothèse simplificatrice :

Pour chaque tronçon collecteur on a admis, en première approximation que la température de l'air dans le tronçon est égale à la moyenne arithmétique entre la température de l'air ambiant autour du conduit et la température de l'air extérieur.

Il est à noter que cette hypothèse n'affecte en rien les résultats dans la mesure où elle intervient pour décrire schématiquement le cas à ne pas retenir.

4/ Le code GAINE traite le réseau de ventilation conduit par conduit pour cela il faut introduire pour chaque logement la part des entrées d'air et des perméabilités imputables à chaque bouche d'extraction :

si QVENT est le débit total des entrées d'air, QPERMT la perméabilité totale à l'air du logement et si QEXT (I) est le débit type de chaque bouche d'extraction dans le logement, alors la part des débits type des entrées d'air et de perméabilité à introduire pour chaque extraction, I, est :

$$QVEN (I) = QVENT \frac{QEXT (I)}{\sum_I QEXT (I)}$$

$$QPERM (I) = QPERMT \frac{QEXT (I)}{\sum_I QEXT (I)}$$

4 - MODELISATION

4.1 - Le logement

On modélise les logements collectifs comme étant d'empilement de plusieurs appartements monozones reliés par des conduits d'extraction.

Les entrées d'air et la perméabilité de chaque logement sont réparties sur deux faces opposées et situées au même niveau que les bouches d'extraction.

On considère que chaque zone est à une température constante, T_{int} , qui peut être différente selon les logements.

4.2 - Champs de pression dans les zones

On retient l'hypothèse d'un champ de pression hydrostatique, l'air étant assimilé à un gaz parfait, on peut écrire :

$$P(z) = P_0 - \rho g z$$

où $P(z)$ = Pression de l'air au niveau z (Pa)

P_0 = Pression de l'air au niveau du sol (Pa)

ρ = Masse volumique de l'air dans la zone considérée (kg/m³)

g = 9.81 accélération de la pesanteur (m/s²)

z = niveau où l'on calcule la pression. (m)

4.3 - Champs de pression en présence du vent

La pression dynamique du vent est supposée uniforme sur deux faces opposées et en toiture de l'immeuble.

Elle est caractérisée par la vitesse moyenne du vent au niveau du toit UREF (m/s) et par les coefficients de pression moyens et uniformes C_{p1} , C_{p2} et C_{p3} sur les deux faces et en toiture.

Sur une face i de l'immeuble, la pression totale est égale à :

$$P_i(z) = P_{0ext} - \rho_{ext} g z + C_{pi} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho_{ext} U_{REF}^2$$

En ventilation naturelle, on tient compte de la perturbation du vent au niveau du débouché en toiture (aspirateur statique ...) par l'intermédiaire d'un coefficient correcteur adimensionnel ALPHA. La pression au débouché de conduit s'écrit :

$$P_{0ext} - \rho_{ext} g h + (C_{p3} - CAS \cdot ALPHA^2) \cdot \frac{1}{2} \rho_{ext} U_{REF}^2$$

CAS = coefficient de dépression du débouché en toiture.

4.4 - Les bouches

Les bouches sont modélisées par des caractéristiques quadratiques.

1/ bouche fixe

- définition : C'est une bouche dont la section de passage ne peut pas être modifiée
- modélisation : Caractéristique quadratique sur toute la plage de la pression (voir figure 5)

$$\dot{m} = \varepsilon \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T_0}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}}$$

avec

\dot{m} : débit masse de l'air (kg/s)

ΔP : différence de pression de part et d'autre de l'ouverture (Pa)

T : température de l'air traversant l'ouverture (K)

$\dot{m}_0, \Delta P_0, T_0$: sont respectivement le débit masse, la différence de pression (ex. 10Pa) et la température de l'air (ex. 20°C) de référence.

$$\varepsilon = \begin{cases} +1 & \text{si } \Delta P \geq 0 \\ -1 & \text{si } \Delta P < 0 \end{cases}$$

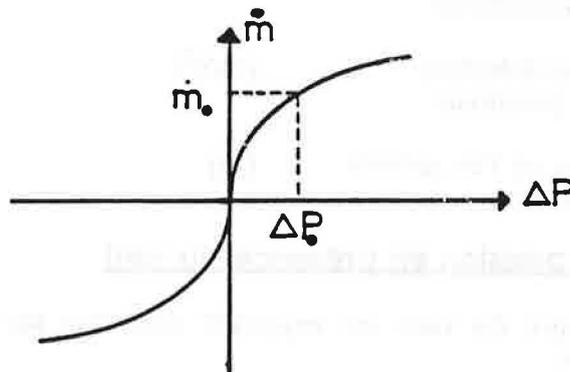


Figure 5 : Courbe débit-pression d'une bouche fixe

2/ Bouche autoréglable :

. Définition : c'est une bouche dont la section de passage de l'air se modifie automatiquement pour maintenir le débit indépendant de la différence de pression de part et d'autre de la bouche.

. Modélisation :

Caractéristique quadratique sur toute la plage de pression, sauf sur la plage de régulation $\Delta P_0 - \Delta P_1$ sur laquelle le débit reste égal à une valeur appelée débit-type \dot{m}_0 (voir figure 6) :

$$\dot{m} = \begin{cases} \varepsilon \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T_0}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } \Delta P < \Delta P_0 \\ \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T_0}{T}} & \text{si } \Delta P_0 \leq \Delta P \leq \Delta P_1 \\ \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T_0}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_1}} & \text{si } \Delta P_1 < \Delta P \end{cases}$$

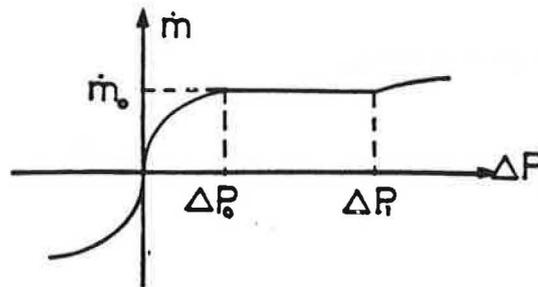


Figure 6 : Courbe débit-pression d'une bouche autoréglable

3/ Bouche thermoréglable :

- **Définition** : Une bouche est dite thermoréglable si la section de passage de l'air se modifie automatiquement pour maintenir le débit indépendant de la température de l'air qui traverse la bouche.
- **Modélisation** : Caractéristique quadratique sur toute la plage de la pression, le débit est indépendant de la température dans l'intervalle $[T_1, T_2]$ (voir figure 7) :

$$\dot{m} = \begin{cases} \varepsilon \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T_1}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } T < T_1 \\ \varepsilon \dot{m}_0 \sqrt{\frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } T_1 \leq T \leq T_2 \\ \varepsilon \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T_2}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } T_2 < T \end{cases}$$

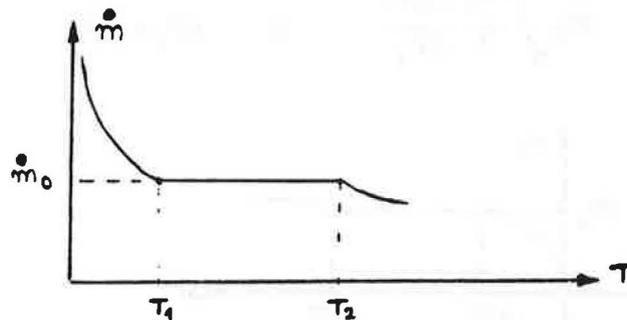


Figure 7 : Régulation du débit sur la plage $T_1 - T_2$ pour une différence de pression donnée ΔP_0

4/ Bouche thermomodulante :

. **Définition** : Une bouche est dite thermomodulante si la section de passage de l'air se modifie automatiquement pour faire varier le débit en fonction de la température qui traverse la bouche.

. **Modélisation** : Caractéristique quadratique sur toute la plage de la pression, le débit type varie linéairement de \dot{m}_{01} à \dot{m}_{02} ($\dot{m}_{01} < \dot{m}_{02}$) dans l'intervalle de température $[T_1, T_2]$ (voir figure 8).

$$\dot{m} = \begin{cases} \varepsilon \dot{m}_{01} \sqrt{\frac{T_1}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } T < T_1 \\ \varepsilon \left[(\dot{m}_{02} - \dot{m}_{01}) \frac{T - T_1}{T_2 - T_1} + \dot{m}_{01} \right] \sqrt{\frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } T_1 \leq T \leq T_2 \\ \varepsilon \dot{m}_{02} \sqrt{\frac{T_2}{T} \frac{|\Delta P|}{\Delta P_0}} & \text{si } T_2 < T \end{cases}$$

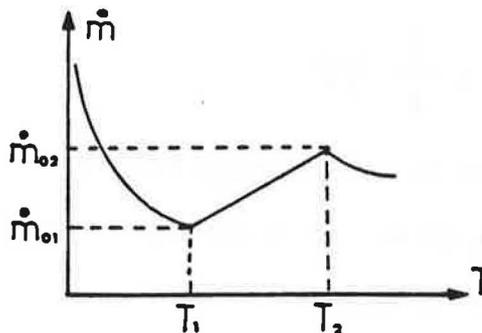


Figure 8 : Variation du débit en fonction de la température sous une différence de pression donnée ΔP_0 (bouche thermomodulante)

4.5 - Perméabilité.

La perméabilité de chaque logement est prise en compte par un modèle de type :

$$\dot{m} = \varepsilon P \left(\frac{T_0}{T} |\Delta P| \right)^{2/3}$$

avec P = perméabilité du logement sous 1 Pa à la température T_0 ($\text{kg/s} \cdot \text{Pa}^{-2/3}$).

4.6 - Perte de charge dans le réseau.

1/ Equation de Bernoulli.

Pour un tronçon de conduit, compris entre deux sections S_1 et S_2 , le calcul des pressions s'effectue par l'équation de Bernoulli. La section S_2 étant en aval de la section S_1 et la perte de charge ΔP_t étant comptée positivement, on a :

$$\left(P_1 + \frac{1}{2} \rho_1 v_1^2 \right) - \left(P_2 + \frac{1}{2} \rho_2 v_2^2 \right) - \rho_m g (z_2 - z_1) = \Delta P_t$$

| | | | |
|----|--------------|---|----------------------|
| où | P_i | = Pression statique au niveau i | (Pa) |
| | ρ_i | = Masse volumique de l'air au niveau i | (Kg/m ³) |
| | v_i | = Vitesse de l'air au niveau i | (m/s) |
| | ρ_m | = Masse volumique moyenne de l'air sur la hauteur $(z_2 - z_1)$ | (kg/m ³) |
| | ΔP_t | = Pertes de charges (linéique et singulière) dans le conduit | (Pa) |

2/ Perte de charge linéique

La perte de charge linéique peut se mettre sous la forme :

$$\Delta P = \Lambda \frac{L}{D} \times \frac{1}{2} \rho v^2$$

| | | | |
|----|-----------|---|-----------------|
| où | Λ | = Coefficient de perte de charge linéique | (adimensionnel) |
| | L | = Longueur du tronçon du conduit | (m) |
| | D | = Diamètre du conduit | (m) |

Lorsque la section du conduit n'est pas circulaire, il convient d'introduire le diamètre hydraulique défini par le rapport de l'aire de la section au périmètre.

On utilise pour déterminer le coefficient de perte de charge, la formule de perte de charge des conduits industriels établie par Colebrook [3] :

$$\frac{1}{\sqrt{\Lambda}} = -2 \log_{10} \left(\frac{ks/D}{3.71} + \frac{2.51}{Re \sqrt{\Lambda}} \right)$$

| | | | |
|------|------|-----------------------------------|-----|
| où : | ks | = rugosité équivalente du conduit | (m) |
|------|------|-----------------------------------|-----|

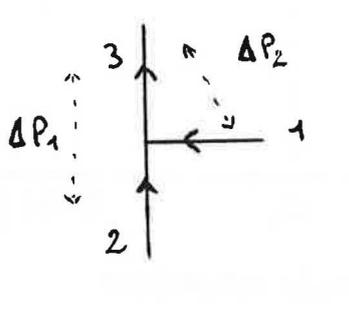
$$Re : \frac{v \times D}{\nu} = \text{nombre de Reynolds}$$

| | | | |
|------|-------|----------------------------------|---------------------|
| avec | ν | = viscosité cinématique de l'air | (m/s ²) |
|------|-------|----------------------------------|---------------------|

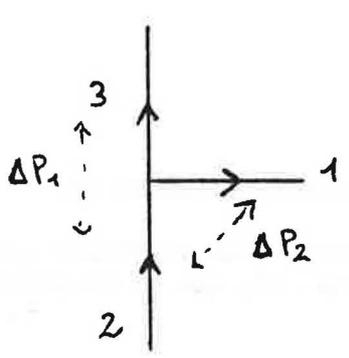
3/ Perte de charge par confluence

Les pertes de charge par confluence sont dues à la réunion ou à la séparation des écoulements d'air au niveau de chaque piquage. Les piquages étant perpendiculaires aux conduits collecteurs, on utilise pour déterminer la perte de charge par confluence les relations suivantes [4] :

1°) Cas où il n'y a pas de refoulement dans les collecteurs :



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_2 = \frac{1}{2} \rho_3 V_3^2 \cdot A \left[1 + \left(\frac{V_1}{V_3} \right)^2 - 2 \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^2 \right] \\ A = 0,92 - 0,35 \frac{S_1}{S_3} + \frac{0,01}{\left(\frac{S_1}{S_3} + 0,25 \right)^2} \\ \Delta P_1 = \frac{1}{2} \rho_3 V_3^2 \left[1 - \left(\frac{V_2}{V_3} \right)^2 \right] \end{array} \right.$$



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_2 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \cdot B \left[1 + \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right] \\ B = 1 \quad \text{si} \quad \frac{V_1}{V_2} \leq 0,8 \\ B = 0,9 \quad \text{si} \quad \frac{V_1}{V_2} > 0,8 \\ \Delta P_1 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \cdot 0,4 \left(1 - \frac{V_3}{V_2} \right)^2 \end{array} \right.$$

où V_1 , V_2 et V_3 sont les vitesses de l'air en 1, 2 et 3,

ρ_1 , ρ_2 et ρ_3 les masses volumiques de l'air en 1, 2 et 3,

S_1 , S_2 et S_3 les sections des conduits en 1, 2 et 3.

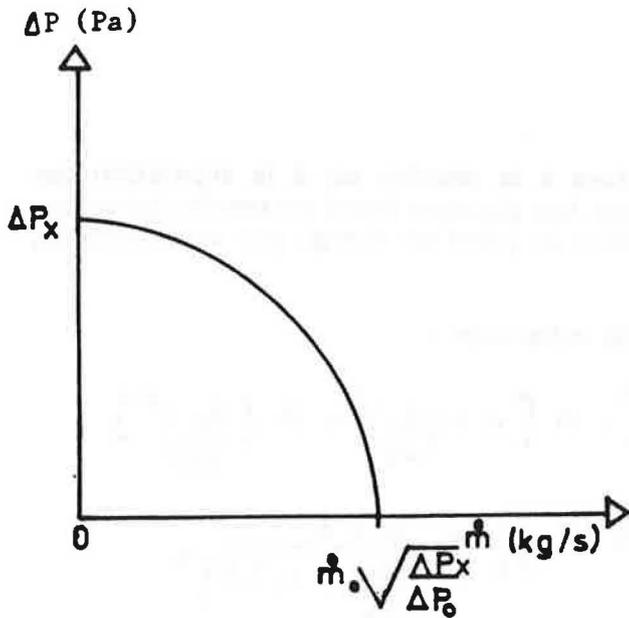
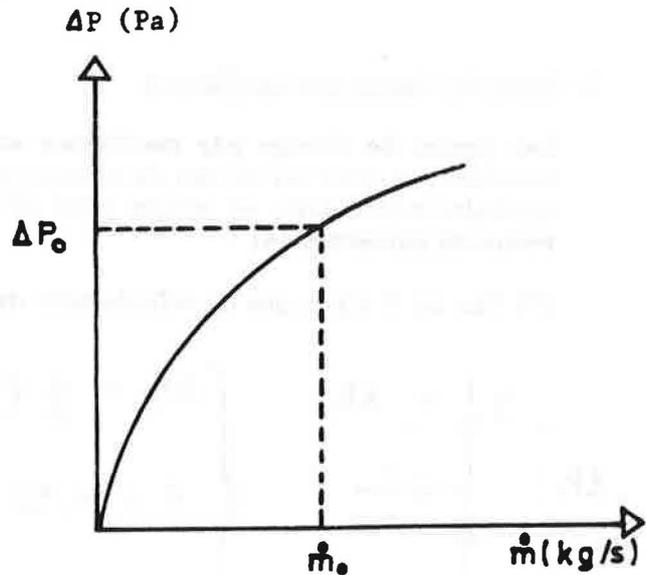
2/ Pour les autres configurations la perte de charge par confluence est supposée nulle.

4.7 - Ventilateurs et aspirateurs statiques

On retient une forme quadratique pour caractériser aussi bien les ventilateurs que les aspirateurs statiques (voir fig. 9) :

$$\Delta P = \frac{T}{T_0} \left(-\Delta P_x + \Delta P_0 \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_0} \right)^2 \right)$$

où : $\Delta P_x =$ dépression disponible pour un extracteur mécanique (Pa)
elle est nulle dans le cas d'un aspirateur statique.

Extracteur mécaniqueAspirateur statiqueFigure 9

4.8 - Déperditions thermiques dans les conduits

On suppose que l'ambiance autour des conduits est à une température constante T_a .

Les déperditions thermiques sont prises en compte en introduisant un coefficient global d'échange superficiel α_m ($\text{W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$) supposé constant de telle sorte que la température dans le conduit peut être calculée par l'expression suivante :

$$T(z) = T_a + (T_o - T_a) \cdot \exp(-W \alpha_m z)$$

avec
$$W = \frac{\pi D}{\dot{m} C_p}$$

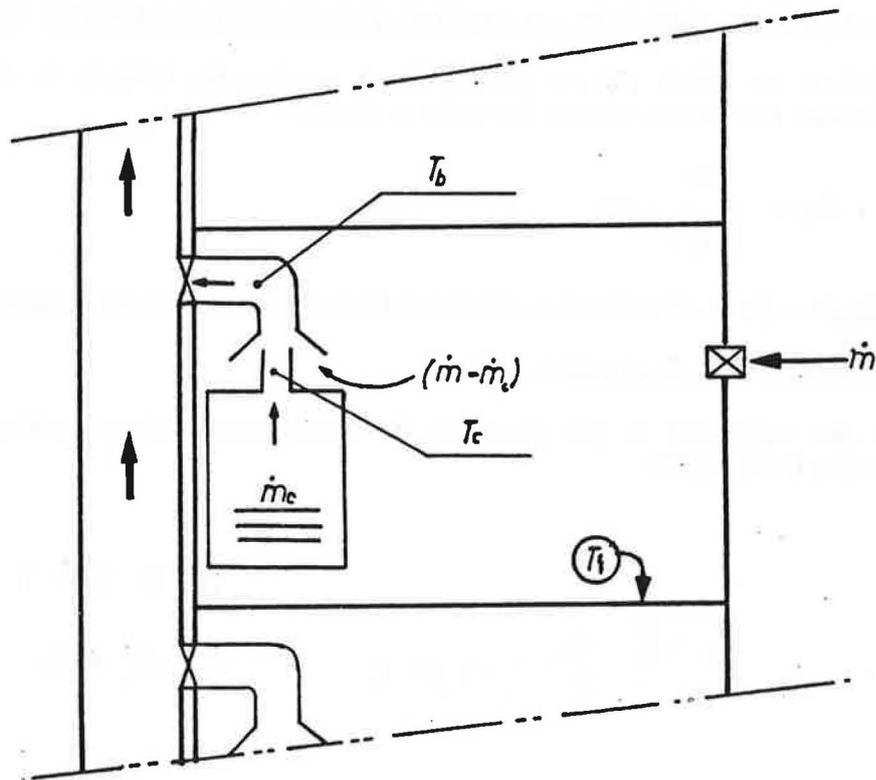
où $C_p = 1020 \text{ J}/\text{Kg} \cdot ^\circ\text{K}$ est la chaleur spécifique de l'air dans le conduit

Dans la version 1 $\alpha_m = 7 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

4.9 - Cas où des chaudières à gaz sont raccordées.

Un modèle simplifié est utilisé pour représenter le fonctionnement des appareils à combustion raccordés au réseau de ventilation : pour une chaudière de puissance donnée, le débit d'air au brûleur est supposé constant, la température des fumées est également supposée constante.

1/ Schéma de principe



Etage courant

| | | | |
|-------------|---|--|--------|
| T_i | = | Température de l'air intérieur | (K) |
| T_c | = | Température des fumées dégagées de la chaudière | (K) |
| T_b | = | Température de l'air à l'amont de la bouche d'extraction | (K) |
| \dot{m} | = | Débit masse d'extraction de l'air | (kg/s) |
| \dot{m}_c | = | Débit masse des fumées dégagées par la chaudière | (kg/s) |

2/ Débit masse nécessaire pour le fonctionnement de la chaudière

On suppose que le débit masse d'air nécessaire pour le fonctionnement de la chaudière [5] est constant et égal à :

$$\dot{m}_c = \frac{1,81}{3.600} \cdot P_u$$

où P_u = puissance de la chaudière (kW)

3/ Débit masse total d'air à ne pas dépasser dans le cas d'une sécurité intégrée

On définit un débit dit de débordement au-dessous duquel la chaudière cesse de fonctionner automatiquement (sécurité intégrée) :

$$\dot{m}_d = \frac{5,1}{3,600} \cdot P_u$$

4/ Modélisation de la température de l'air à l'amont de la bouche d'extraction

a) Cas où il n'y a pas de sécurité

Dans ce cas l'appareil à gaz continue de fonctionner même au-dessous du débit de débordement (voir fig.10)

$$T_b = \left\{ \begin{array}{ll} T_c & \text{si } 0 \leq \dot{m} \leq \dot{m}_c \\ \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}} (T_c - T_i) + T_i & \text{si } \dot{m}_c < \dot{m} \end{array} \right\}$$

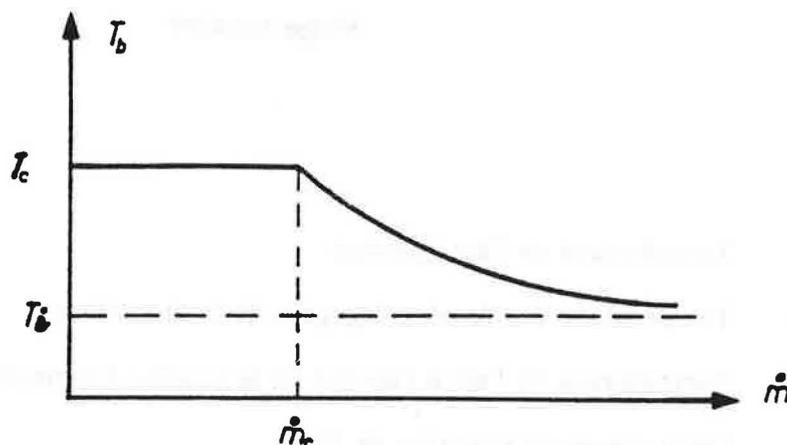


Figure 10

Chaudière sans sécurité intégrée

5 - ALGORITHME DE RESOLUTION

Pour un conduit vertical (collecteur), le calcul se fait par une double itération utilisant la méthode de Newton.

Dans une première étape, on choisit une valeur arbitraire de la pression dans le logement du premier niveau, ce qui permet de calculer le débit jusqu'au piquage suivant, puis de proche en proche les débits jusqu'au débouché du collecteur. proche en pro la pression ainsi calculée au débouché du conduit et la pression atmosphérique.

On réitère ce calcul avec une nouvelle valeur de la pression dans le logement du premier niveau et ce, autant de fois qu'il est nécessaire jusqu'à ce que l'écart obtenu soit négligeable.

Dans le cas d'une installation de VMC ou VMC-Gaz comportant plusieurs collecteurs reliés par un conduit horizontal en terrasse, on utilise la même méthode en s'imbriquant sur les conduits verticaux.

6 - DONNEES D'ENTREE.

6.1 - Liste de variables.

6.1.1 - VARIABLES COMMUNES AUX VERSIONS 1 ET 2 DU CODE GAINÉ.

| Nom de la variable | Unité | Signification | Nombre maximal de valeurs |
|-------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------|
| NETAGE | - | Nombre d'étages | 1 à 100 |
| TEXT | °C | Température de l'air extérieur | 1 |
| TAMB | °C | Température de l'air ambiant autour des conduits collecteurs | 1 |
| TINT (1,...,NETAGE) | °C | Température de l'air intérieur de chaque logement | 1 à 100 |
| QPERM | $m^3/h.Pa^{-2/3}$ à 20°C | Part de la perméabilité totale à l'air d'un logement sous <u>1 Pa</u> | 1 |
| HDEB | m | Hauteur du débouché en toiture au dessus du dernier piquage ou du dernier tronçon du conduit collecteur débouchant dans le conduit horizontal en terrasse | 1 |
| HETAGE | m | Hauteur d'étage ce qui inclut l'épaisseur de la dalle | 1 |
| RUG | m | Rugosité équivalente des conduits | 1 |
| QVX | m^3/h à 20°C | Débit type sous <u>1 Pa</u> caractérisant la perte de charge de l'extracteur mécanique ou de l'aspirateur statique | 1 |
| DPX | Pa | Dépression disponible de l'extracteur mécanique. Elle est nulle dans le cas d'un aspirateur statique | 1 |
| PWIND 1 PWIND 2 PWIND 3 | Pa Pa Pa | Pression dynamique du vent respectivement sur la face 1, 2 et en toiture 3 | 1 1 1 |

6.1.2 - VARIABLES RELATIVES A LA VERSION 1 DU CODE DE CALCUL GAIN (VN - VMC).

| Nom de la variable | Unité | Signification | Nombre maximal de valeurs |
|--------------------------|--------------------------|--|---------------------------|
| QVEN (1,...,NETAGE) | m ³ /h à 20°C | Part du débit type total des entrées d'air sous (DPEN 1) Pa pour chaque logement | 1 à 100 |
| DPEN 1 DPEN 2 | Pa Pa | Plage de régulation des entrées d'air autoréglables. Lorsque DPEN 1 = DPEN 2 les entrées d'air sont du type fixe. | 1 1 |
| QVEX (1,...,NETAGE) | m ³ /h à 20°C | Débit type de chaque bouche d'extraction à chaque étage sous DPEX 1 (Pa) | 1 à 100 |
| DPEX 1 DPEX 2 | Pa Pa | Plage de régulation des bouches d'extraction autoréglables. Lorsque DPEX 1 = DPEX 2 les bouches sont du type fixe. | 1 1 |
| DCOND (1,...,NETAGE) | m | Diamètre de chaque tronçon du conduit collecteur | 1 à 100 |
| DPIQUE (1,...,NETAGE) | m | Diamètre de chaque piquage à chaque étage | 1 à 100 |

6.1.3 - VARIABLES RELATIVES A LA VERSION 2 DU CODE DE CALCUL GAIN (VMC - VMC GAZ).

| Nom de la variable | Unité | Signification | Nombre maximal de valeurs |
|-----------------------|----------------------|---|---------------------------|
| NC | - | Nombre de conduits collecteurs | 1 à 10 |
| TTAMB | °C | Température ambiante autour du conduit horizontal en terrasse | 1 |
| DPIQUEC (1,...,NC) | m | Diamètres des conduits de piquage pour chaque collecteur | 1 à 10 |
| DALPHA | W/m ² .°C | Coefficient de déperdition thermique des conduits | 1 |
| DCONDC (1,...,NC) | m | Diamètre de chaque collecteur | 1 à 10 |
| TDCOND (1,...,NC) | m | Diamètre de chaque tronçon du conduit horizontal en terrasse | 1 à 10 |
| TLCOND (1,...,NC) | m | Longueur de chaque tronçon du conduit horizontal en terrasse | 1 à 10 |

Données relatives au fonctionnement des chaudières et de la position de la bouche d'extraction (petit débit - grand débit).

| Nom de la variable | Choix | Signification |
|--------------------|-------|--|
| ICHAU | 1 | Chaudière éteinte (ou pas de chaudière) et petit débit |
| | 2 | Chaudière allumée et petit débit |
| | 3 | Chaudière éteinte (ou pas de chaudière) et grand débit |
| | 4 | Chaudière allumée et grand débit |

Données relatives au système entrée d'air - bouche d'extraction.

- Toutes les entrées d'air sont autoréglables et régulent dans la plage de la pression DPEN 1 = 10 Pa - DPEN 2 = 100 Pa.
- Lorsque les bouches d'extraction sont autoréglables, elles régulent dans la plage de pression DPEX 1 = 30 Pa - DPEX 2 = 200 Pa ; sinon :

$$DPEX 1 = DPEX 2 = 100 \text{ Pa.}$$

- On définit trois types de systèmes bouche d'extraction - entrée d'air :

F_i : bouche d'extraction fixe et entrée d'air autoréglable,

A_i : bouche d'extraction et entrée d'air autoréglable,

T_i : bouche d'extraction thermomodulante et entrée d'air autoréglable.

Les débits type des entrées d'air et des bouches d'extraction sont donnés, selon les types de système aux tableaux 1 et 2.

| TYPE du système | Q _{VEN} débit type des entrées d'air sous DPEN 1 Pa m ³ /h à 20°C | Q _{VEX} m ³ /h à 20°C débit type des bouches d'extraction sous DPEX1 Pa | |
|--------------------|--|---|-------------|
| | | Petit débit | Grand débit |
| F1 ou A1 | 75 | 20 | 75 |
| F2 ou A2 | 90 | 30 | 90 |
| F3 ou A3 | 105 | 45 | 105 |
| F4 ou A4 | 120 | 45 | 120 |
| F5 ou A5 | 135 | 45 | 135 |
| F6 ou A6 | 30 | 0 | 30 |
| F7 ou A7 | 30 | 30 | 30 |

TABLEAU 1 : Système de type F_i ou A_i

| TYPE du système | Q _{VEN} débit type des entrées d'air sous DPEN 1 Pa m ³ /h à 20°C | Q _{VEX} m ³ /h à 20°C débit type des bouches d'extraction sous DPEX1 Pa | | |
|--------------------|--|---|----------|-------------|
| | | Petit Débit | | Grand débit |
| | | t < 70°C | t > 70°C | |
| T1 | 75 | 20 | 75 | 75 |
| T2 | 90 | 30 | 90 | 90 |
| T3 | 105 | 45 | 105 | 105 |
| T4 | 120 | 45 | 120 | 120 |
| T5 | 135 | 45 | 135 | 135 |

TABLEAU 2 : Système de type T_i

Les débits type d'extraction sont donnés pour différentes valeurs de la température t de l'air traversant la bouche d'extraction.

6.2 – Option pour GAIN version 1.

| Nom de la variable | Choix | Signification |
|--------------------|-------|---|
| ICP | 0 | Pressions du vent PWIND 1, PWIND 2, PWIND 3, en données d'entrée |
| | 1 | Pressions du vent calculées à partir d'une vitesse de vent et de valeurs de coefficients de pression sur deux faces opposées et en toiture |

. Si ICP = 1 . Introduire les données suivantes :

| Nom de la variable | Unité | Signification | Nombre maximal de valeurs |
|-----------------------------|-------|--|---------------------------|
| UREF | m/s | Vitesse de référence du vent au niveau du toit de l'habitation | 1 |
| ALPHA | - | Coefficient correcteur de la vitesse UREF pour exprimer la vitesse locale autour du débouché en toiture | 1 |
| CAS | - | Coefficient de dépression à débit nul de l'aspirateur statique ; il est nul dans le cas d'une VMC | 1 |
| NVAL | - | Nombre de série de valeurs des coefficients de pression. (Si NVAL > 1 régime dynamique) | |
| CP1, CP2, CP3 (1...NVAL) | - | Coefficients de pression du vent respectivement sur deux faces opposées et sur le toit | 1 à NVAL |

7 – FICHER D'ENTREE ET DE SORTIE.

7.1 – Gaine version 1 .

Le fichier d'entrée est assigné à l'unité logique 10. Les données d'entrée, dont la présentation est faite au paragraphe 6, sont écrites en format libre.

Le fichier de sortie est assigné à l'unité logique 6. Il contient, après un rappel des principales données d'entrée, les résultats de simulation suivants, accompagnés d'une représentation schématique de l'immeuble et du réseau de ventilation :

- pour chaque étage, les débits d'air traversant les façades ainsi que le débit extrait,

- les pressions à l'intérieur du réseau de ventilation et à l'intérieur des pièces,
- pour chaque étage les températures d'air à la bouche d'extraction, dans la pièce, et aux extrémités haute et basse de chaque tronçon du conduit de ventilation (la longueur d'un tronçon est égale à la hauteur d'un étage),
- le débit total extrait.

Tous les débits d'air exprimés en m^3/h , sont ramenés à une température de 20°C . Toutes les pressions, exprimées en Pa, sont corrigées par le terme $\rho_{\text{ext}} g h$.

7.2 - Gaine version 2.

Le fichier d'entrée est assigné à l'unité logique 10. Les données d'entrées dont la présentation est faite au paragraphe 6 sont écrites en format libre.

Dans cette version du code de calcul, le logement modélisé est à simple exposition, aussi une seule valeur PWIND de la pression dynamique du vent doit être introduite. Les pertes par confluence aux jonctions entre le conduit horizontal en terrasse et les conduits collecteurs peuvent être négligées en donnant la valeur 0 à la variable IPERTE.

Le fichier de sortie est assigné à l'unité logique 6. On a adopté la même présentation de résultats que dans la version 1 du code de calcul. Le fichier de sortie contient les résultats suivants :

- pour chaque conduit collecteur :
 - . le débit d'air entrant à chaque étage,
 - . la pression à l'intérieur de chaque pièce,
 - . les pressions dans le réseau de ventilation,
 - . pour chaque étage, les températures d'air dans la pièce, à la bouche d'extraction, et aux extrémités haute et basse de chaque tronçon de conduit,
 - . le débit extrait,
- les pressions dans le conduit horizontal en terrasse ("*un conduit trainasse*"),
- les températures d'air en différents points du conduit horizontal en terrasse,
- le débit total extrait.

7.3 - Exemples.

Deux exemples de résultats de simulations sont présentés ci-après en figure 12 et 13.

```

*NETAGE HETAGE(m) HDEB(m) TAMB(deg C) RUG(m)
5 3. 4 20. 0.001
*TEXT(deg C) TINT(1,...,NETAGE)(deg C)
0. 19. 20. 21. 18. 15.
*QVEN(1,...,NETAGE)(m3/h a 20 deg C) DPEN1(Pa) DPEN2(Pa)
90. 90. 90. 90. 90. 20. 100.
*QVEX(1,...,NETAGE)(m3/h a 20 deg C) DPEX1(Pa) DPEX2(Pa)
90. 90. 90. 90. 90. 70. 120.
*QPERM(m3/h a 20 deg C sous 1 Pa) QVX(m3/h...) PX(Pa)
10. 100. 170.
*DPIQUE(1,...,NETAGE)(m)
0.125 0.125 0.125 0.125 0.125
*DCOND(1,...,NETAGE)(m)
0.160 0.160 0.160 0.160 0.160
*** ICP(0 OU 1)
0
*(0):PWIND1(Pa) PWIND2(Pa) PWIND3(Pa)
5. -4. -1.
*(1):UREF(m/s) ALPHA CAS NVAL (si NVAL > 1 calcul dynamique)
2. 1. 0.0 1
*(1): CP1 CP2 CP3 (nbre de lignes effectives = NVAL)
1.16 -0.773 0.0
1.16 -0.773 0.0

```

Figure 12a : Code de calcul GAINÉ - version 1
Fichier d'entrée

* NOMBRE D"ETAGES : 5 * HAUTEUR D"ETAGE (m) : 3.00
 * TEXT (deg C) : .00 * TAMB (deg C) : 20.00
 * EXTRACTEUR: PX =170.00 Pa , QVX =100.00 m3/h sous 1 Pa
 * PWIND1 = 5.00 Pa , PWIND2 = -4.00 Pa , PWIND3 = -1.00 Pa

 * TOUS LES DEBITS SONT RAMENES A LA TEMP ERATURE 20 deg C
 * TOUTES LES PRESSIONS SONT CORRIGEES PAR (roext*g*h)

DEBIT EXTRACTION= 452.61 m3/h

| | | <^> | | | | |
|---------|----|------|--------|----|------|----------------------|
| -151.29 | Pa | I | 1 | | 1 | |
| | | I | ----- | | | DEBIT ENTREE/EXTRAIT |
| -134.80 | Pa | I | 1 | | 1 | 46.62 |
| -137.87 | Pa | à--# | -22.09 | Pa | \$-: | 90.96 m3/h |
| -128.47 | Pa | I | 1 | | 1 | 44.34 |
| | | I | ----- | | | |
| -121.45 | Pa | I | 1 | | 1 | 46.62 |
| -120.99 | Pa | à--# | -21.80 | Pa | \$-: | 90.60 m3/h |
| -116.62 | Pa | I | 1 | | 1 | 43.98 |
| | | I | ----- | | | |
| -113.77 | Pa | I | 1 | | 1 | 46.62 |
| -111.21 | Pa | à--# | -21.63 | Pa | \$-: | 90.39 m3/h |
| -110.38 | Pa | I | 1 | | 1 | 43.77 |
| | | I | ----- | | | |
| -110.46 | Pa | I | 1 | | 1 | 46.62 |
| -107.25 | Pa | à--# | -21.57 | Pa | \$-: | 90.32 m3/h |
| -108.53 | Pa | I | 1 | | 1 | 43.70 |
| | | I | ----- | | | |
| -110.39 | Pa | I | 1 | | 1 | 46.62 |
| -107.91 | Pa | à--# | -21.59 | Pa | \$-: | 90.34 m3/h |
| -109.87 | Pa | I | 1 | | 1 | 43.72 |
| | | I | ----- | | | |

|TEMPERATURES DE L"AIR..(deg C)..... | | | | |
|--|-----------------|--------------|------------|--------------|
| N | PIECE/CHAUDIERE | BOUCHE EXTR. | BAS TRONC. | HAUT T RONC. |
| 1 | 19.00 | 19.00 | 19.00 | 19.29 |
| 2 | 20.00 | 20.00 | 19.65 | 19.70 |
| 3 | 21.00 | 21.00 | 20.14 | 20.12 |
| 4 | 18.00 | 18.00 | 19.59 | 19.62 |
| 5 | 15.00 | 15.00 | 18.69 | 18.81 |

*ECART SUR LA PRESSION DE SORTIE : -1.687622E-02Pa

Stop - Program terminated.

Figure 12 b : code de calcul GAINÉ version 1
 fichier de sortie

```

2 0. 0. 20. !NETAGE,NC,TEXT,TTAMB,TAMB(deg c)
. 150. 0.1E-04 !FWIND,PX,KX
.125 0.125 0.2 0.25 !DPIQUEC(1,...,NC),DCOND(1,...,NC)
.35 0.35 5. 5. !TDCOND(1,...,NC),TLCOND(1,...,NC)
7. !IFERTE(O/1),DALPHA(W/M**2.C)
0. 20. 20. 20. 20. 20. 20. 20. !TINT(1,..NETAGE) (
3 1 3 1 3 1 3 1 !ICHAU(1,..NETAGE) )collecteur 1
1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' !B(1,.....NETAGE) (-----
0. 20. 20. 20. 20. 20. 20. 20. !
3 1 3 1 3 1 3 1 ! )collecteur 2
2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' ! (-----

```

Figure 13a : Code de calcul GAINÉ - version 2
Fichier d'entrée

Figure 13 b : Code de calcul GAINÉ - version 2
fichier de sortie

```

* NOMBRE D'ETAGES      : 8      * HAUTEUR D'ETAGE (m)      : 2.90
* TEMP EXTERIEURE(C):  0.00  * TEMP AMBIANTE GAINÉ(C): 20.00
* EXTRACTEUR: Pextr =150.00 Pa , Kextr = 0.10E-04 Pa/(m3/h)**2
*****
***** COLONNE NO: 1 *****
* TOUS LES DEBITS SONT RAMENES A LA TEMPERATURE 20 deg.C
* DIAM CONDUIT (m)    : 0.200 * DIAM PIQUAGE (m)      : 0.125
* TOUTES LES PRESSIONS SONT CORRIGÉES PAR (rhoext*g*h)
    
```

DEBIT COLONNE = 497.27 m3/h

```

<^>
-123.11 Pa I 1 1
I ----- DEBIT ENTREE D'AIR
-120.39 Pa I 1 1
-120.39 Pa a--* -13.85 Pa $-: 62.16 m3/h
I 1 1
I -----
-118.85 Pa I 1 1
-118.85 Pa a--* -11.52 Pa $-: 62.16 m3/h
I 1 1
I -----
-118.36 Pa I 1 1
-118.36 Pa a--* -11.03 Pa $-: 62.16 m3/h
I 1 1
I -----
-118.76 Pa I 1 1
-118.76 Pa a--* -11.44 Pa $-: 62.15 m3/h
I 1 1
I -----
-119.90 Pa I 1 1
-119.90 Pa a--* -12.57 Pa $-: 62.15 m3/h
I 1 1
I -----
-121.62 Pa I 1 1
-121.62 Pa a--* -14.29 Pa $-: 62.15 m3/h
I 1 1
I -----
-123.76 Pa I 1 1
-123.76 Pa a--* -16.43 Pa $-: 62.16 m3/h
I 1 1
I -----
-126.16 Pa I 1 1
-126.16 Pa a--* -18.84 Pa $-: 62.15 m3/h
I 1 1
I -----
    
```

.....TEMPERATURES DE L'AIR..(deg C).....

| N | PIECE/CHAUDIERE | BOUCHE EXTR. | BAS TRONC. | HAUT TRONC. |
|---|-----------------|--------------|------------|-------------|
| 1 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 2 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 3 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 4 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 5 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 6 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 7 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |
| 8 | 20.00 | 20.00 | 20.00 | 20.00 |

```

*****
***** COLONNE NO: 2 *****
* TOUS LES DEBITS SONT RAMENES A LA TEMPERATURE 20 deg.C
* DIAM CONDUIT (m)    : 0.250 * DIAM PIQUAGE (m)      : 0.125
    
```

Figure 13b : Suite

* TOUTES LES PRESSIONS SONT CORRIGÉES PAR (rhoext*g*h)

DEBIT COLONNE = 699.59 m3/h

| Pression (Pa) | Unité | Point | Différence (Pa) | Debit (m3/h) |
|---------------|-------|-------|-----------------|--------------|
| -125.19 | Pa | I 1 | | |
| -127.14 | Pa | I 1 | | |
| -127.14 | Pa | a--s | -1.64 Pa | 50.41 m3/h |
| -127.14 | Pa | I 1 | | |
| -129.92 | Pa | I 1 | | |
| -129.92 | Pa | a--s | -9.39 Pa | 118.51 m3/h |
| -129.92 | Pa | I 1 | | |
| -133.22 | Pa | I 1 | | |
| -133.22 | Pa | a--s | -1.72 Pa | 51.60 m3/h |
| -133.22 | Pa | I 1 | | |
| -137.39 | Pa | I 1 | | |
| -137.39 | Pa | a--s | -9.66 Pa | 122.20 m3/h |
| -137.39 | Pa | I 1 | | |
| -141.63 | Pa | I 1 | | |
| -141.63 | Pa | a--s | -1.33 Pa | 53.21 m3/h |
| -141.63 | Pa | I 1 | | |
| -146.89 | Pa | I 1 | | |
| -146.89 | Pa | a--s | -15.12 Pa | 124.32 m3/h |
| -146.89 | Pa | I 1 | | |
| -151.47 | Pa | I 1 | | |
| -151.47 | Pa | a--s | -1.96 Pa | 55.02 m3/h |
| -151.47 | Pa | I 1 | | |
| -157.77 | Pa | I 1 | | |
| -157.77 | Pa | a--s | -26.01 Pa | 124.32 m3/h |
| -157.77 | Pa | I 1 | | |

|TEMPERATURES DE L'AIR..(deg C)..... | | | | |
|--|-----------------|--------------|------------|-------------|
| N | PIECE/CHAUDIERE | BOUCHE EXTR. | BAS TRONC. | HAUT TRONC. |
| 1 | 20.00 | 86.72 | 56.72 | 65.62 |
| 2 | 20.00 | 20.00 | 51.62 | 44.30 |
| 3 | 20.00 | 86.72 | 61.66 | 55.66 |
| 4 | 20.00 | 20.00 | 50.34 | 46.59 |
| 5 | 20.00 | 87.87 | 57.11 | 53.62 |
| 6 | 20.00 | 20.00 | 50.35 | 47.77 |
| 7 | 20.00 | 89.99 | 55.49 | 52.98 |
| 8 | 20.00 | 20.00 | 50.61 | 46.61 |

Figure 13b : suite et fin

```

*****
***** CONDUIT TRAINASSE *****
# NC      DIAM.TRONCON (m)    LONG.TRONCON (m)
# 1      0.350              5.00
# 2      0.350              5.00
-137.08  Pa      I      DEBIT COLONNE
-137.08  Pa      a==()    497.27 m3/h
-137.08  Pa      I
-137.59  Pa      I
-137.59  Pa      a==()    699.59 m3/h
-137.59  Pa      I
-140.48  Pa      I
      [T*3]
DEBIT EXTRACTION= 1196.87 m3/h
*****TEMPERATURES DE L'AIR..(deg C)*****
NC      AMONT TRONCON      AVAL TRONCON
1      20.03              15.90
2      35.02              31.83
  
```

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) MOUNAJED, R. La modélisation des transferts d'air dans les bâtiments : application à l'étude de la ventilation. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Nolsy-le-Grand, 5 octobre 1989. 208 p.
- (2) Library reference manual. International Mathematical and Statistical Libraries. Vol 4. Houston : IMSL Library, June 1982.
- (3) COMOLET, R. Mécanique expérimentale des fluides. 2e éd. Tome II : Dynamique des fluides réels, turbomachines. Paris : Masson, 1976.
- (4) IDEL'CIK, I.E. Memento des pertes de charge (traduit du russe). Paris : Eyrolles, 1969.
- (5) Association Technique de l'Industrie du Gaz de France. Evacuation des produits de la combustion du gaz et ventilation des locaux. Paris : Collection des techniques gazières, 1981.

100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200

THE UNIVERSITY OF CHICAGO