



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT #4991

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

CENTRE DE RECHERCHE
DE MARNE-LA-VALLEE

DEPARTEMENT DE L'ENERGETIQUE
ET DE LA PRODUCTIQUE

GEC-89.4828
Juin 1989

**FASCICULE DE DOCUMENTATION
DU CODE DE CALCUL SIREN 2**

DIFFUSION : *Libre.*

Service **GENIE ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE**

Division **AERAUQUE ET CLIMATISATION**

Redwan MOUNAJED

C S T B

Centre de Recherche de Marne la Vallée

Service Génie Energétique et Climatique

GEC-89.4828
21/06/1989.

Fascicule de documentation
du code de calcul SIREN 2

Redwan MOUNAJED

Division Aéraulque et Climatiation

Juin 1989

RESUME

Le code SIREN 2 est destiné à déterminer les mouvements d'air entre les différentes zones d'un même bâtiment en vue d'apprécier la qualité de l'air à l'intérieur de ces zones. Il calcule, à un instant donné, les débits d'air et les pressions dans chaque zone en fonction de différents paramètres caractéristiques du logement de l'installation de ventilation et des conditions climatiques (température, bouches d'entrées d'air et d'extraction, dimensions des ouvrants, perméabilité à l'air du bâtiment, pression du vent, ...). Il se prête aussi bien au calcul des transferts d'air à l'intérieur des bâtiments équipés de ventilation mécanique contrôlée (V.M.C.), qu'à ceux équipés de ventilation naturelle ou mixte.

Le code SIREN 2 peut être utilisé dans deux configurations différentes selon que l'on souhaite ou non prendre en compte la compressibilité de l'air dans les pièces.

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 C.S.T.B..

Le temps d'exécution du programme pour un logement de dix zones et pour un état donné de température et de pression du vent est de l'ordre de trente secondes CPU.

MOTS-CLES

Code de calcul - Modélisation - Ventilation - Transferts d'air - Compressibilité de l'air - Fluctuations du vent.

SOMMAIRE

	<u>Pages</u>
1 - OBJET	5
2 - UTILISATION DU PROGRAMME.....	6
3 - DOMAINE D'UTILISATION	7
3.1 - Type de réseau	7
3.2 - Domaine d'utilisation	7
4 - MODELISATION	8
4.1 - Equation d'état	8
4.2 - Equation d'équilibre de l'air intérieur.....	9
4.3 - Champ de pression extérieur en présence du vent	9
4.4 - Masse de l'air à l'intérieur de chaque zone.....	10
4.5 - Equations de bilan de zones.....	10
4.6 - Bouches d'extraction.....	11
4.7 - Perméabilité à l'air	13
4.8 - Grandes ouvertures	13
4.9 - Feuillures des ouvrants (portes et fenêtres).....	19
4.10 - Perte de charge des conduits.....	19
4.11 - Ventilateurs et aspirateurs statiques.....	20
4.12 - Bilan de masse de polluant.....	21
5 - ALGORITHME DE RESOLUTION	22
6 - DONNEES D'ENTREE DU PROGRAMME	22
7 - FICHIER DE SORTIE.....	24
8 - EXEMPLES TRAITES	24
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	28

1 - OBJET

Le code SIREN 2 a pour objet de déterminer, à un instant donné, les débits et les pressions dans un logement multizone en fonction des températures et des pressions du vent pour une configuration donnée du réseau aéraulique (entrées d'air, bouches d'extraction, dimensions des ouvrants, perméabilité de l'enveloppe, conduits de ventilation, ...).

L'air est normalement considéré comme un fluide incompressible, mais on a la possibilité, pour des applications particulières, de prendre en compte la compressibilité de l'air dans le sens de grands volumes (pièces). Il permet le calcul instationnaire des transferts d'air entre zones dans le but d'apprécier la qualité de l'air intérieur.

Le développement de ce code est intervenu dans le cadre d'actions de recherche menées sur les crédits propres du C.S.T.B. avec le soutien de l'Agence Française pour la Maîtrise de l'Energie (A.F.M.E.). Il s'est inscrit dans le cadre du travail de thèse de Monsieur MOUNAJED [1] sur la modélisation des transferts d'air dans les bâtiments.

2 - UTILISATION DU PROGRAMME

Le présent manuel d'utilisation est exclusivement rédigé pour la version 1 du code SIREN 2 développé pour la recherche et implanté sur système DEC VAX/VMS de l'établissement de Marne-la-Vallée du C.S.T.B.. Ce logiciel utilise des routines de la bibliothèque mathématique IMSL [2]. Par conséquent, il conviendrait d'effectuer des aménagements nécessaires sur le programme pour que ce code puisse être utilisé sur d'autres machines.

Il est demandé, s'il est fait référence à SIREN 2 ou à des résultats fournis par le code, d'en faire apparaître l'origine en reproduisant la mention suivante :

Code SIREN 2 d'Etude des Transferts d'air
dans un logement multizone
(Version 1)

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT
MARNE LA VALLEE, FRANCE

3 - DOMAINE D'UTILISATION

3.1 - Type de réseau

L'objet du code SIREN 2 n'est pas de modéliser de façon fine les débits d'air dans les réseaux. Toutefois, afin d'assurer une bonne représentativité du code, on a été amené à développer des modèles simples de réseau :

Le réseau est constitué de plusieurs conduits verticaux ou non dont les extrémités supérieures débouchent selon le cas :

- dans des aspirateurs statiques (ventilation naturelle)
- dans des extracteurs mécaniques individuels (ventilation mixte)
- dans un caisson relié à un extracteur mécanique (ventilation mécanique).

On note que le code SIREN 2 permet de simuler le cas où les débits d'extraction sont fixes.

3.2 - Domaine d'utilisation

Le code SIREN 2 ne tient pas compte des déperditions thermiques dans les conduits. La perte de charge totale de chaque conduit (y compris les singularités) est introduite en un seul paramètre (voir paragraphe 4.10).

4 - MODELISATION

Les échanges aérauliques entre les différents volumes du bâtiment sont calculés sur la base d'une représentation dite "nodale" (ou multizone en pression).

Cette méthode consiste à considérer chaque volume du logement comme le volume de contrôle d'un sous-ensemble du système complet du bâtiment et d'étudier ses interactions avec les autres zones en écrivant les équations de bilans de masse (voir figure 1).

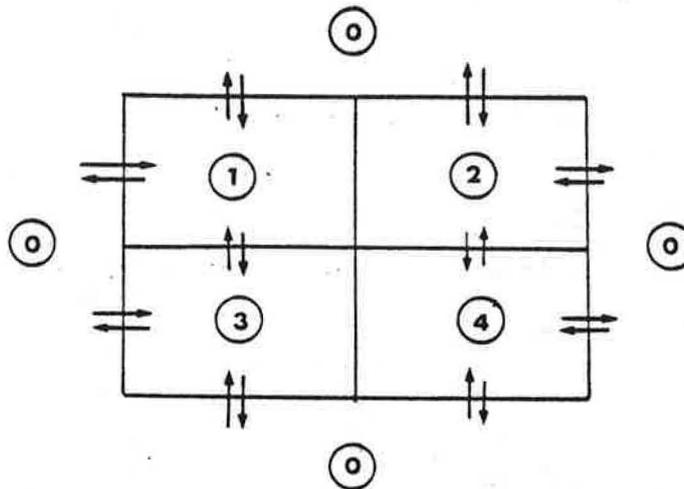


Figure 1 :

Exemple dans le cas d'un logement à quatre zones du schéma des flux d'air entre zones et avec l'extérieur 0.

4.1 - Equation d'état

En chaque point de la zone i (numéro de la zone), l'air est assimilé à un gaz parfait dont l'équation d'état est :

$$\rho_i = \frac{P_i}{r T_i} \quad (1)$$

- où :
- ρ_i : Masse volumique de l'air de la zone i (kg/m³)
 - P_i : Pression absolue de la zone i (Pa)
 - T_i : Température de la zone i (K)
 - r : Constante de l'air = 287 (J/kg).

4.2 - Equation d'équilibre de l'air intérieur

On suppose que le champ de pression dans chaque zone est celui du champ "hydrostatique" :

$$\frac{dP_i}{dz} = -\rho_i g$$

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

z : niveau par rapport à un plan de référence (m)

On suppose que la température dans chaque pièce est uniforme ce qui, en se limitant à un développement au premier ordre, peut s'écrire :

$$P_i(z) = P_{i0} - \rho_i g z$$

4.3 - Champ de pression extérieur en présence du vent

On suppose que le modèle "hydrostatique" précédent reste valable et qu'on lui ajoute un effet de pression dynamique du vent sur les façades du logement et en particulier sur ses ouvertures.

En un point M de la structure et à l'instant t, la pression du "node extérieur" sera dès lors :

$$P_e(M) = P_{e0} + \frac{1}{2} \rho_e U_0^2 C_p(M) - \rho_e g z$$

où : U_0 : Vitesse du vent en un point de référence du bâtiment (m/s)

C_p : Coefficient de pression du vent mesuré en soufflerie (-)

En ventilation naturelle, on tient compte de la perturbation du vent au niveau du débouché en toiture par l'intermédiaire d'un coefficient correcteur adimensionnel α , de telle sorte que la pression extérieure en ce point soit :

$$P_e(M) = P_{e0} + (C_p(M) - C \alpha^2) \frac{1}{2} \rho_e v_0^2 - \rho_e g z$$

où : C : Coefficient de dépression à débit nul du débouché en toiture (-).

4.4 - Masse de l'air à l'intérieur de chaque zone

Par définition, pour chaque zone, la masse de l'air intérieur peut s'écrire :

$$M_i = \rho_i V_i \quad (2)$$

où : V_i est le volume (m^3) de la zone i .

On admettra que l'équation (2) reste vraie même si la masse volumique dépend des fluctuations de la pression.

4.5 - Equations de bilan de zones

Pour chaque zone i le bilan de masse de l'air peut s'écrire :

$$\frac{d M_i}{dt} = \sum_{\substack{i \neq j \\ j = 1 \\ j = N}}^N (\dot{m}_{ji} - \dot{m}_{ij})$$

où : \dot{m}_{ji} : débit d'air transitant de la zone j vers la zone i (kg/s)

N : nombre de zones

$$\text{Soit } Q_i = \sum (\dot{m}_{ji} - \dot{m}_{ij})$$

ou encore, compte tenu de (1) et (2) :

$$\frac{V_i}{r T_i} \frac{d P_i}{dt} = Q_i \quad (3)$$

$$\text{avec } P_i = P_{i0} - \rho_i g z$$

En négligeant les variations temporelles du terme $\rho_i g z$ vis-à-vis de P_{i0} l'équation (3) devient :

$\frac{V_i}{r T_i} \frac{d P_{i0}}{dt} = Q_i$

4.6 - Bouches d'extraction

On admet que les bouches présentent une caractéristique quadratique :

1/ Bouche fixe

- définition : Bouche dont la section de passage ne peut pas être modifiée
- modélisation : Caractéristique quadratique sur toute la plage de la pression (voir figure 2).

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

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.

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

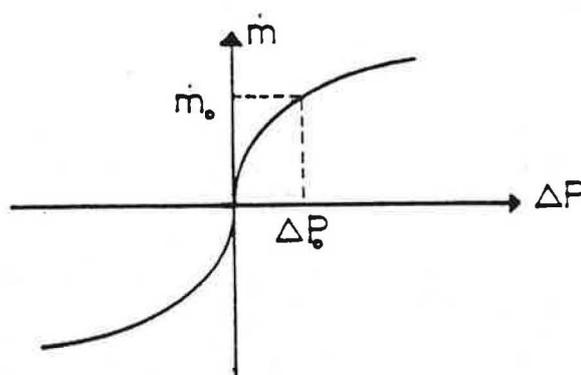


Figure 2 : Courbe débit-pression d'une bouche fixe

2/ Bouche autoréglable :

- Définition : 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 3) :

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

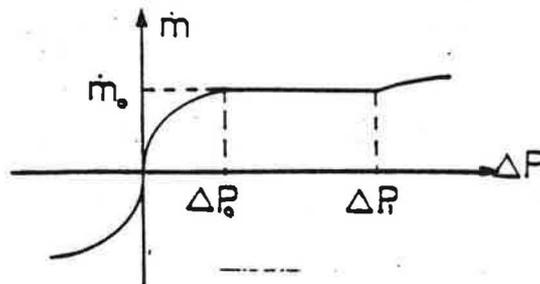


Figure 3 : Courbe débit-pression d'une bouche autoréglable

4.7 - Perméabilité à l'air.

On admet, en se basant sur différentes recherches [3] [4] [5], que le débit d'infiltration d'air à travers les défauts d'étanchéité d'une paroi peut s'écrire :

$$\dot{m} = \frac{P \rho_{20}}{3600} \left(\frac{\rho}{\rho_{20}} \right)^{2/3} \Delta P^{2/3}$$

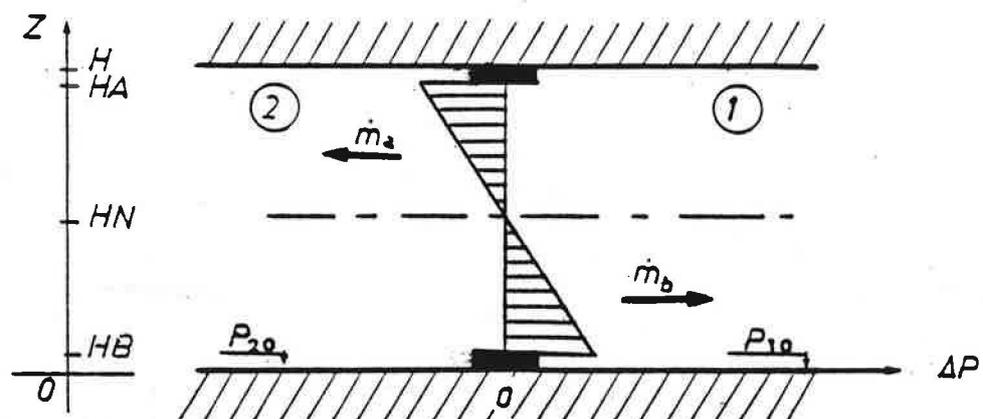
où	\dot{m} = débit masse d'infiltration d'air	(kg/s)
	P = perméabilité de la paroi	(m ³ /h.Pa ^{-2/3})
	ρ_{20} = masse volumique de l'air à 20 °C = 1.2	(kg/m ³)
	ρ = masse volumique de l'air	(kg/m ³)
	ΔP = différence de pression de part et d'autre de la paroi	(Pa)

On notera toutefois qu'aux faibles valeurs de P cette loi est mise en défaut ; on se reportera aux références [1] et [6] pour plus de précisions.

4.8 - Grandes ouvertures

Les modèles utilisés pour calculer les débits d'air au travers des grandes ouvertures sont présentés ci-après. Ils ont été établis sur la base de travaux de recherche menés au C.S.T.B. [1] [7] [8].

4.8.1 - SCHEMA DE PRINCIPE



4.8.2 - HYPOTHESES ET NOTATIONS

Par analogie à un écoulement "en nappe", on suppose que l'écoulement de l'air à travers une tranche de largeur L et de hauteur dz suit la loi d'orifice :

$$d\dot{m} = C L \sqrt{2 \rho_1 |\Delta P(z)|} dz \quad (4)$$

où :

$d\dot{m}$: débit masse de l'air à travers une tranche de hauteur dz	(kg/s)
L	: largeur de l'ouverture	(m)
$\Delta P(z)$: différence de pression de part et d'autre de l'ouverture	(Pa)
C	: coefficient de décharge supposé constant	(-)

Par définition, le plan neutre est situé à une hauteur, HN (m), telle que la différence de pression de part et d'autre de l'ouverture à cette même hauteur est nulle.

On désigne par HB (resp. HA) la hauteur basse (resp. haute) de l'ouverture (m).

On désigne par \dot{m}_a (resp. \dot{m}_b) le débit massique transitant à travers la grande ouverture au-dessus (resp. dessous) du plan neutre (kg/s).

Les conventions de signe sont les suivantes : le débit entrant dans la zone 1 est compté positivement et inversement pour le débit sortant.

4.8.3 - CALCUL DES DEBITS ECHANGES

4.8.3.1 - Calcul de $\Delta P(z)$ en fonction de HN

En se basant sur le paragraphe précédent, un calcul simple permet de déterminer la hauteur du plan neutre :

$$HN = \frac{\Delta P_0}{\Delta \rho g}$$

$$\text{où : } \Delta P_0 = P_{20} - P_{10}$$

$$\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$$

et la différence de pression de part et d'autre de l'ouvrant en fonction de z :

$$P(z) = \Delta \rho . g . (z - HN).$$

4.832 - Calcul des débits \dot{m}_a et \dot{m}_b

4.832.1 - Cas où les températures T_1 et T_2 sont égales

Dans ce cas, les transferts convectifs sont nuls et on est en présence d'un seul débit d'air traversant l'ouverture dans un sens ou dans l'autre. $\Delta P(z)$ est indépendante de z et l'intégration de l'équation (4) conduit à :

$$\dot{m} = \varepsilon C L (H_A - H_B) \sqrt{2 \rho |\Delta P|}$$

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

4.832.2 - Cas où T_1 est différent de T_2

Dans ce cas l'intégrale générale de l'équation (4) sur un intervalle $[z_1, z_2]$ dans lequel $\Delta P(z)$ ne change pas de signe, nous donne le débit :

$$\dot{m}(z_1, z_2) = \alpha \frac{2}{3} C L \sqrt{2 \rho |\Delta p| g} [|HN - z_1|^{3/2} - |HN - z_2|^{3/2}]$$

avec :

$$\alpha = \begin{cases} +1 & \text{si } \Delta p > 0 \\ -1 & \text{si } \Delta p < 0 \end{cases}$$

$$\rho = \frac{1}{2} [\rho_1 (1 - \varepsilon) + \rho_2 (1 + \varepsilon)]$$

où

$$\varepsilon = \begin{cases} +1 & \text{si } \Delta P \left(\frac{z_1 + z_2}{2} \right) > 0 \\ -1 & \text{si } \Delta P \left(\frac{z_1 + z_2}{2} \right) < 0 \end{cases}$$

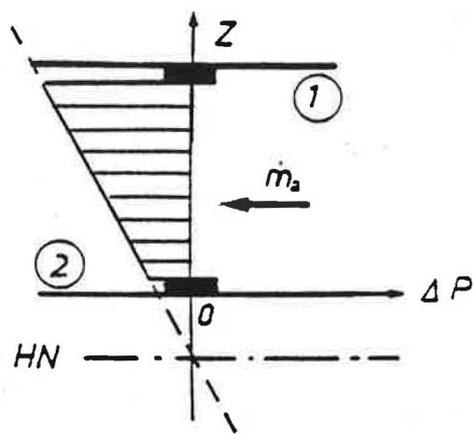
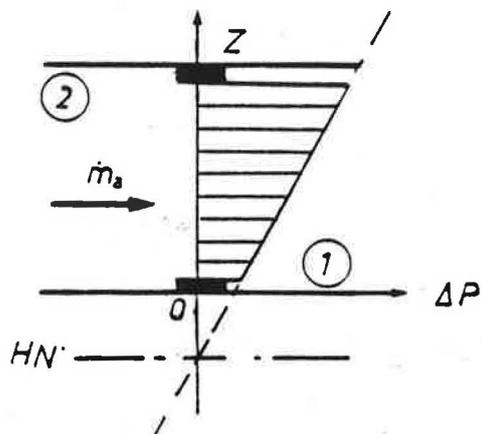
Suivant la position de la hauteur du plan neutre, HN, plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

Premier cas : $HN < HB$

L'écoulement s'effectue dans un seul sens suivant le signe de ΔT :

$$\dot{m}_a = \dot{m} (HB, HA)$$

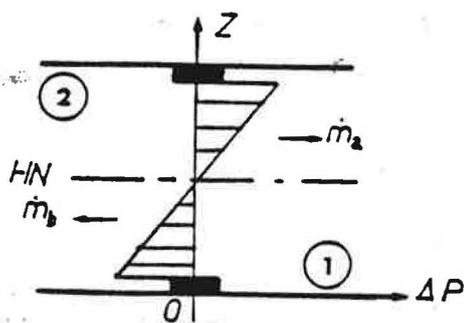
$$\dot{m}_b = 0$$



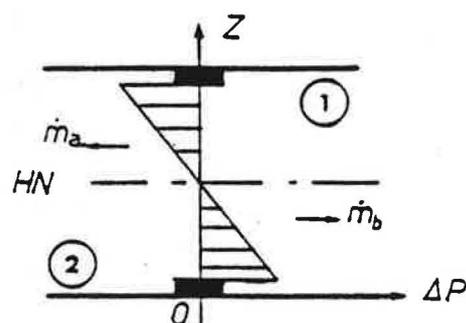
Deuxième cas : $HB < HN < HA$

Le sens de l'écoulement s'inverse de part et d'autre du plan neutre :

$$\begin{aligned} \dot{m}_a &= m (HN, HA) \\ \dot{m}_b &= m (HB, HN) \end{aligned}$$



$$\underline{T_2 > T_1}$$



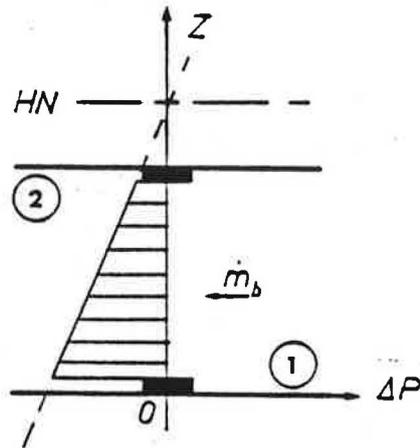
$$\underline{T_2 < T_1}$$

Troisième cas : $HN > HA$

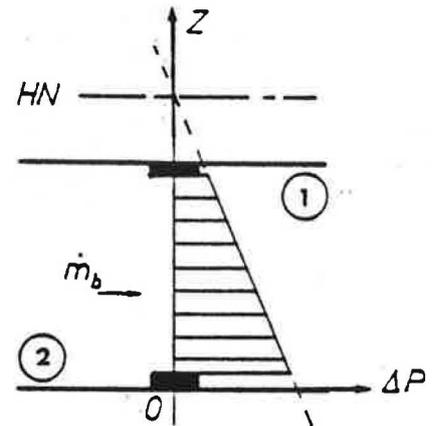
Ce cas est similaire au premier cas :

$$\dot{m}_a = 0$$

$$\dot{m}_b = \dot{m} \quad (HB, HA)$$



$$T_2 > T_1$$



$$T_2 < T_1$$

4.8.4 - MODELE MATHEMATIQUE POUR DETERMINER LE COEFFICIENT DE DECHARGE D'UNE GRANDE OUVERTURE

La vitesse de l'air à travers les grandes ouvertures est généralement très faible ; on ne peut en conséquence négliger les forces de viscosité (écoulement laminaire). Le coefficient de décharge est dans ce cas fonction du nombre de Reynolds.

Par analogie avec les écoulements dans les conduits de grande dimension, on obtient l'expression suivante du coefficient de décharge [1] :

$$C = a_0 + a_1 \left(\frac{\eta}{D_H \sqrt{2 \rho \Delta P}} \right)^{0.2} + a_2 \left(\frac{\eta}{D_H \sqrt{2 \rho \Delta P}} \right)^{0.5}$$

a_0, a_1, a_2 , sont des coefficients adimensionnels fonction de la géométrie de l'ouverture. Ils sont déterminés en ajustant les résultats expérimentaux d'IDELCICK [9] au présent modèle.

Pour une porte de dimensions courantes entre deux volumes égaux, on a :

$$a_0 = 0,68$$

$$a_1 = 1,66$$

$$a_2 = -5,62.$$

Pour les autres formes d'ouvertures, les coefficients a_0, a_1 et a_2 sont peu différents.

On donne ci-après les formules pratiques permettant de calculer les transferts entre deux zones séparées par une grande ouverture selon que l'écart de température entre zones est nul ou non nul.

4.8.5 - FORMULES PRATIQUES

	$C = 0.68 + 1.66 \left(\frac{\eta}{D_H \sqrt{2 \rho \Delta P_d}} \right)^{0.2} - 5.62 \left(\frac{\eta}{D_H \sqrt{2 \rho \Delta P_d}} \right)^{0.5}$	
$\Delta T = 0$	$\dot{m} = \epsilon_1 C L (H_A - H_B) \sqrt{2 \rho \Delta P_0 }$	
	$D_H = \frac{2 L (H_A - H_B)}{H_A - H_B + L} \quad ; \quad \Delta P_d = \Delta P_0 $	
$\Delta T \neq 0$	$\Delta P(z) = \Delta P_0 - \Delta \rho g z \quad , \quad H_N = \frac{\Delta P_0}{\Delta \rho g}$	
	$\dot{m}(z_1, z_2) = \epsilon_2 \frac{2}{3} C L \sqrt{2 \rho \Delta \rho g} [H_N - z_1 ^{3/2} - H_N - z_2 ^{3/2}]$	
	$D_H = \frac{2 L (z_2 - z_1)}{z_2 - z_1 + L} \quad ; \quad \Delta P_d = \left\{ \frac{2}{3} \Delta \rho g [H_N - z_1 ^{3/2} - H_N - z_2 ^{3/2}] \right\}^2$	
	HN < HB	$\begin{aligned} \dot{m}_a &= m(H_A, H_B) \\ \dot{m}_b &= 0 \end{aligned}$
	HB ≤ HN ≤ HA	$\begin{aligned} \dot{m}_a &= m(H_N, H_A) \\ \dot{m}_b &= m(H_B, H_N) \end{aligned}$
	HA < HN	$\begin{aligned} \dot{m}_a &= 0 \\ \dot{m}_b &= m(H_B, H_A) \end{aligned}$

avec $\Delta T = T_2 - T_1$; $\Delta \rho = \rho_2 - \rho_1$; $\Delta P_0 = P_{20} - P_{10}$

$$\rho = \frac{1}{2} [\rho_1 (1 - \epsilon_1) + \rho_2 (1 + \epsilon_1)] \quad ; \quad \eta = \frac{1}{2} [\eta_1 (1 - \epsilon_1) + \eta_2 (1 + \epsilon_1)]$$

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta P \left(\frac{z_1 + z_2}{2} \right)}{|\Delta P \left(\frac{z_1 + z_2}{2} \right)|} \quad ; \quad \epsilon_2 = \frac{\Delta T}{|\Delta T|}$$

4.9 - Feuillures des ouvrants (portes et fenêtres)

On localise les interstices en partie haute et basse de l'ouvrant et on utilise l'expression suivante qui résulte de travaux expérimentaux [10] :

$$\frac{\Delta P}{\Delta P_0} = \left(\frac{e_0}{e}\right)^2 \left(\frac{L_0 \rho \dot{m}}{L \rho_0 \dot{m}_0}\right)^{1.8}$$

Dans cette expression ΔP_0 , e_0 , L_0 , ρ_0 et \dot{m}_0 sont respectivement : la différence de pression, l'épaisseur, la largeur, la masse volumique et le débit masse de référence

pour $\Delta P_0 = 1 \text{ Pa}$, $e_0 = 3 \text{ mm}$, $L_0 = 1 \text{ m}$ et $T_0 = 20^\circ\text{C}$; le débit \dot{m}_0 est donné dans le tableau ci-après suivant le type de l'interstice (voir figure 4).

	Type de l'interstice		
	1	2	3
\dot{m} (kg/h)	10.9	7.940	6.586

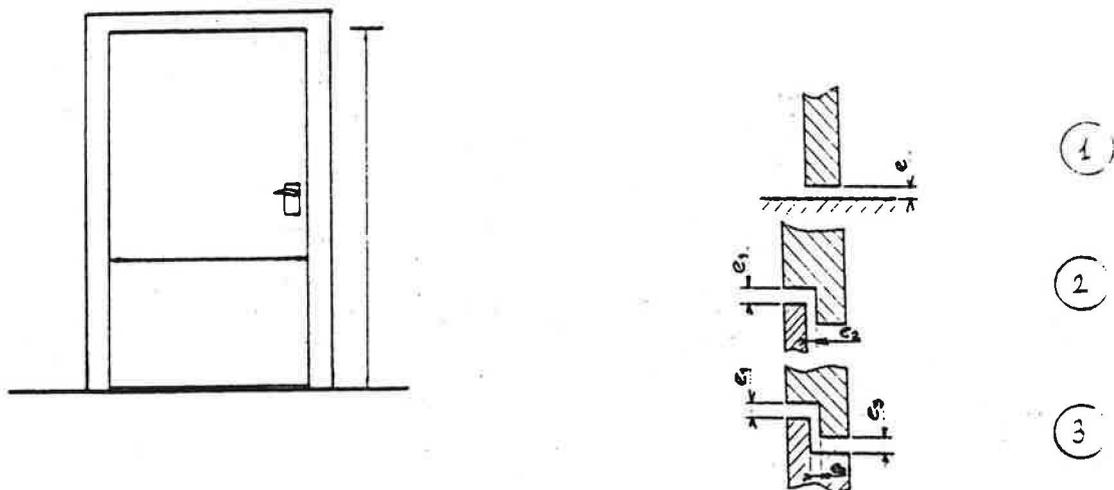


Figure 4

4.10 - Perte de charge des conduits

La perte de charge du conduit est caractérisée par le débit d'air \dot{m}_0 , exprimé en kg/s dans le conduit lorsque la différence de pression est $\Delta P_0 = 1 \text{ Pa}$ et que la température d'air est $T_0 = 293^\circ \text{ K}$.

Le débit pour d'autres différences de pression ΔP et d'autres températures T , est calculé par la relation :

$$\dot{m} = \dot{m}_0 \sqrt{\frac{T}{T_0} \cdot \frac{P}{P_0}}$$

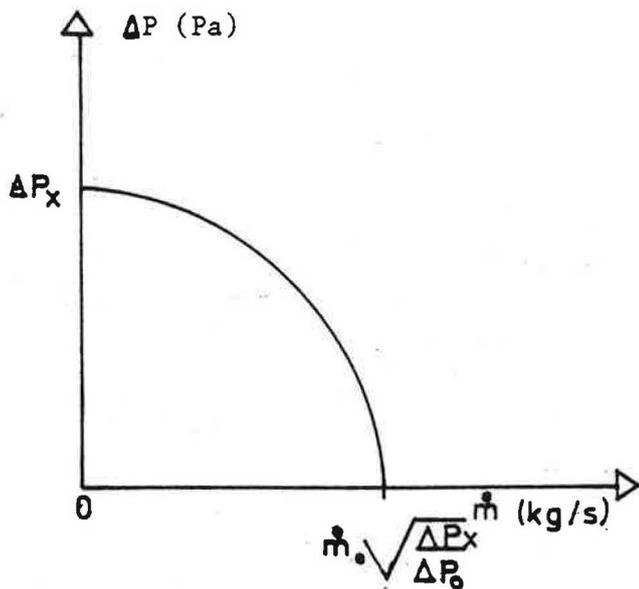
ce qui suppose l'écoulement turbulent.

4.11 - Ventilateurs et aspirateurs statiques

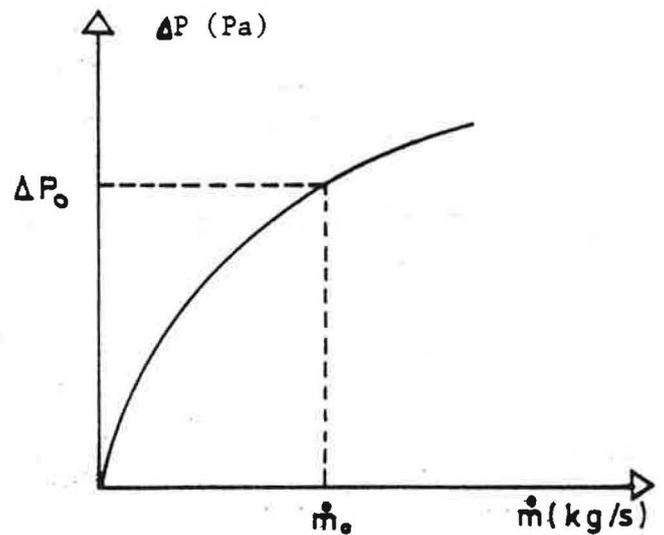
On retient une forme quadratique pour caractériser aussi bien les ventilateurs que les aspirateurs statiques (voir figure 5) :

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

où ΔP_x : dépression disponible pour un extracteur mécanique (Pa) ; elle est nulle dans le cas d'un aspirateur statique.



Extracteur mécanique

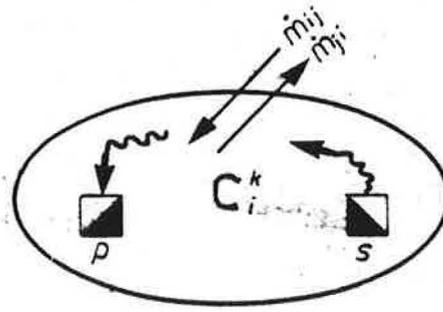


Aspirateur statique

Figure 5

4.12 - Bilan de masse de polluant

Considérons pour chaque volume i du logement un polluant k de concentration C_i^k et supposons qu'il existe une source s et un puits p de production et d'absorption du polluant k .



volume V_i

On suppose que le mélange du polluant avec l'air de la zone est parfait et instantané.

Pour un intervalle de temps dt , l'accroissement de la masse du polluant k dans la zone i est égale à la somme algébrique des débits échangés avec les autres zones et des quantités de polluants produits et absorbés dans le volume étudié.

L'équation de conservation du débit-masse du polluant k s'écrit alors :

$$\rho_i V_i \frac{dC_i^k}{dt} = \sum (\dot{m}_{j \rightarrow i} C_j^k - \dot{m}_{i \rightarrow j} C_i^k) + \dot{m}_s^k + \dot{m}_p^k$$

où

ρ_i	: masse volumique de l'air dans la zone i	(kg/m ³)
V_i	: volume de la zone i	(m ³)
C_i^k	: concentration de polluant k dans la zone i	(-)
\dot{m}_{ij}	: débit masse d'air sortant de la zone i vers j	(kg/s)
\dot{m}_{ji}	: débit masse d'air entrant de la zone j vers i	(kg/s)
\dot{m}_s^k	: source débit masse de production de polluant k dans la zone i	(kg/s)
\dot{m}_p^k	: puits ; débit masse d'absorption de polluant k dans la zone i	(kg/s)

5 - ALGORITHME DE RESOLUTION

Pour chaque zone i , la somme S_i des débits d'air à travers les ouvertures la reliant aux autres zones doit être égale à :

$$\frac{d\rho}{dt} \quad (\text{si } \rho = \text{cte}, S_i = 0)$$

Comme ces débits ne sont fonction que des pressions dans les différentes zones et que $\rho = f(P_i)$, on obtient un système de n équations différentielles non linéaire du premier ordre:

$$\left\{ S_i \frac{d\rho(P_i)}{dt} = 0 \right\} \quad i = 1 \text{ à } n$$

n est le nombre de zones.

La résolution de ce système s'effectue en utilisant le sous-programme ZXSSQ de la bibliothèque IMSL [2]. Ce sous-programme est basé sur l'algorithme de Levenberg-Marquardt (recherche du minimum de la somme des carrés d'une fonction).

6 - DONNEES D'ENTREE DU PROGRAMME

Ce sont :

1) Choix de la configuration :

- 1 : fluide incompressible $\rho = \text{cte}$
- 2 : fluide compressible (barotrope) $\rho = f(p)$

2) Données générales :

- Hauteur totale du logement (au débouché du conduit de ventilation) (m)
- Coefficients de pression du vent sur le toit et au niveau de chaque communication sur les façades du logement. Suivant le cas :
 - . *première configuration* : coefficients de pression constants ou fichier de coefficients de pression spatio-temporels,
 - . *deuxième configuration* : fichier de coefficients de pression spatio-temporels.
- Vitesse de référence et incidence du vent (m/s)
- Coefficient multiplicateur de la vitesse de référence du vent au niveau du toit (dans le cas de la ventilation naturelle)
- Nombre de zones (pièces) du logement ; chaque zone est identifiée par un numéro d'ordre (la zone correspondant à l'extérieur du logement est repérée par l'indice zéro).
- Température extérieure et températures de chaque zone (pièce) du logement (°C).

3) Données relatives au réseau de ventilation

Les caractéristiques relatives à la perte de charge linéique du conduit de ventilation :
le débit \dot{m}_0 (kg/s sous 1 Pa à 20°C).

Selon le cas :

- les caractéristiques de l'extracteur mécanique,
- les caractéristiques de l'aspirateur statique.

4) Données relatives aux ouvertures

Pour chaque ouverture, le numéro d'ordre de chacune des deux zones délimitées par cette ouverture.

Le type de l'ouverture :

a) petite ouverture :

- la hauteur de l'ouverture au-dessus du plancher (m),
- les caractéristiques de l'ouverture (entrées d'air, bouches d'extraction, perméabilité ...)

b) grandes ouvertures :

- la hauteur de l'allège de l'ouvrant (m),
- la hauteur de la retombée en linteau de l'ouvrant (m),
- la largeur de l'ouvrant (m).

Dans le cas où la porte (ou la fenêtre) est fermée :

- l'épaisseur du passage d'air en feuillure basse (m),
- l'épaisseur du passage d'air en feuillure haute (m).

5) Données relatives à l'indicateur k de qualité de l'air

- Emission du polluant k dans chaque zone (kg/s)
- Concentration initiale du polluant k dans chaque zone (ppm).

7 - FICHER DE SORTIE

Après rappel des données d'entrées, à chaque instant les résultats sont les suivants :

- 1/ Le débit d'air dans chaque ouverture. Dans le cas d'ouverture de larges dimensions il y a deux débits dont l'un est nul si le plan neutre est en dehors de l'ouverture (voir paragraphe 4.8).
- 2/ La pression dans chaque zone (pièce) au niveau du plancher.
- 3/ La valeur de l'indicateur de qualité de l'air (CO, CO₂, HR ...) dans chaque zone (pièce).

8 - EXEMPLES TRAITES

On considère un logement type F4 maison individuelle (voir figure 6 ou 7) constitué de trois chambres à coucher, une salle de séjour, la cuisine, la salle de bains, un W.C et une entrée (dégagement).

Les calculs sont faits en régime permanent avec des conditions moyennes de températures et de pression du vent (configuration 1).

1/ Données d'entrée :

- . La hauteur du débouché du conduit en toiture est de 4,30 m au-dessus du sol,
- . La perméabilité du logement, supposée également répartie sur deux faces (Sud et Nord) du logement est :

$$P = 100 \text{ m}^3/\text{h à } 20^\circ\text{C sous } 1 \text{ Pa.}$$

- . Une entrée autoréglable dans chacune des pièces principales (séjour et chambres) de débit type 30 m³/h installée à une hauteur de 2 m.
- . Toutes les portes sont ouvertes sauf la porte d'accès du logement ; dimensions : 2,10 m x 0,80 m.
- . Vitesse de référence du vent (à une hauteur de 10 m, dans l'écoulement d'air non perturbé par la construction) : 5 m/s.

On admet que la direction du vent est perpendiculaire à la face sud du logement, ce qui conduit aux valeurs suivantes des coefficients de pression moyens :

. façade au vent (face Sud)	:	0,60
. façade sous le vent (face Nord)	:	- 0,35
. toiture	:	0,00

et la valeur $\alpha = 0,7$ du coefficient multiplicateur permettant d'obtenir la vitesse locale du vent.

La perte de charge de chaque conduit de ventilation est prise égale à 1 Pa lorsque le débit est égal à 100 m³/h et la température à 20°C.

Les températures dans chaque zone sont les suivantes :

Extérieur	(zone 0) = 0°C
Cuisine	(zone 1) = 20°C
Séjour	(zone 2) = 22°C
Chambre 1	(zone 3) = 23°C
Chambre 2	(zone 4) = 24°C
Chambre 3	(zone 5) = 25°C
Salle de bains	(zone 6) = 26°C
W.C.	(zone 7) = 21°C
Dégagement	(zone 8) = 19°C.

2/ Résultats

Premier cas : Système d'extraction mécanique simple flux :

- différence de pression de l'extracteur à débit nul : 140 Pa à 20°C
- débit volumique pour une différence de pression nulle de part et d'autre de l'extracteur : 300 m³/h à 20°C
- bouches d'extraction fixes permettant d'évacuer un débit de 120 m³/h en cuisine et de 30 m³/h dans les autres pièces de service pour une température de 20°C et une différence de pression de 120 Pa.

Deuxième cas : Ventilation naturelle par trois conduits verticaux :

- caractéristiques des aspirateurs statiques utilisés :
 - coefficient de dépression à débit nul : 0,5
 - débit type sous 1 Pa : 100 m³/h à 20°C
- grilles d'extraction fixes permettant d'évacuer un débit de 120 m³/h en cuisine et de 30 m³/h dans les autres pièces de service pour une température de 20°C et une différence de pression de 1 Pa.

Les résultats, en débits et pressions, pour les deux cas sont exposés sur les figures 6 et 7.

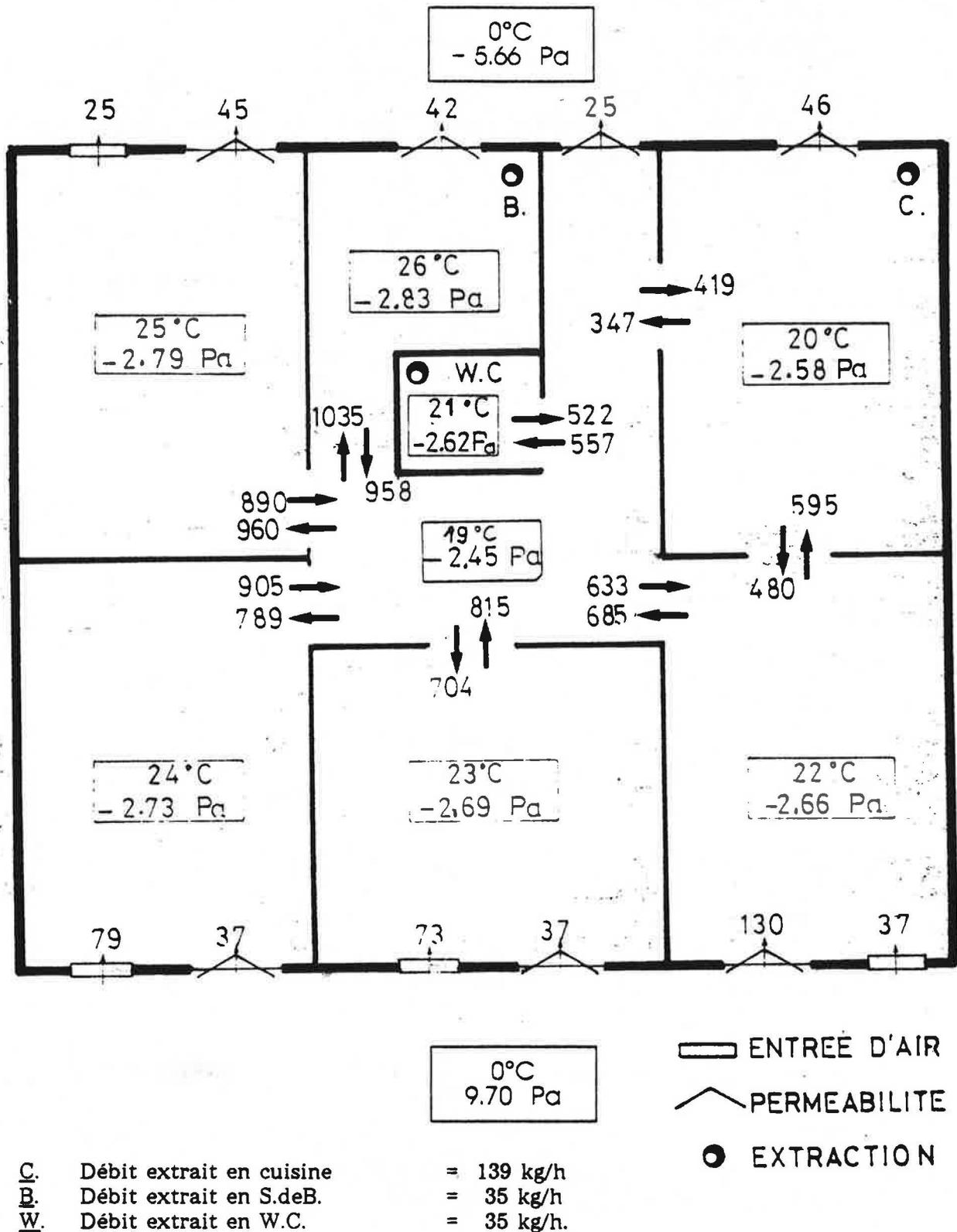


Figure 6

Carte des débits (exprimés en kg/h) dans le cas d'une EXTRACTION MECANIQUE par une température extérieure de 0°C et un vent de 5 m/s.

Pour chaque zone, la pression au niveau du sol et la température figurent dans le cartouche central.

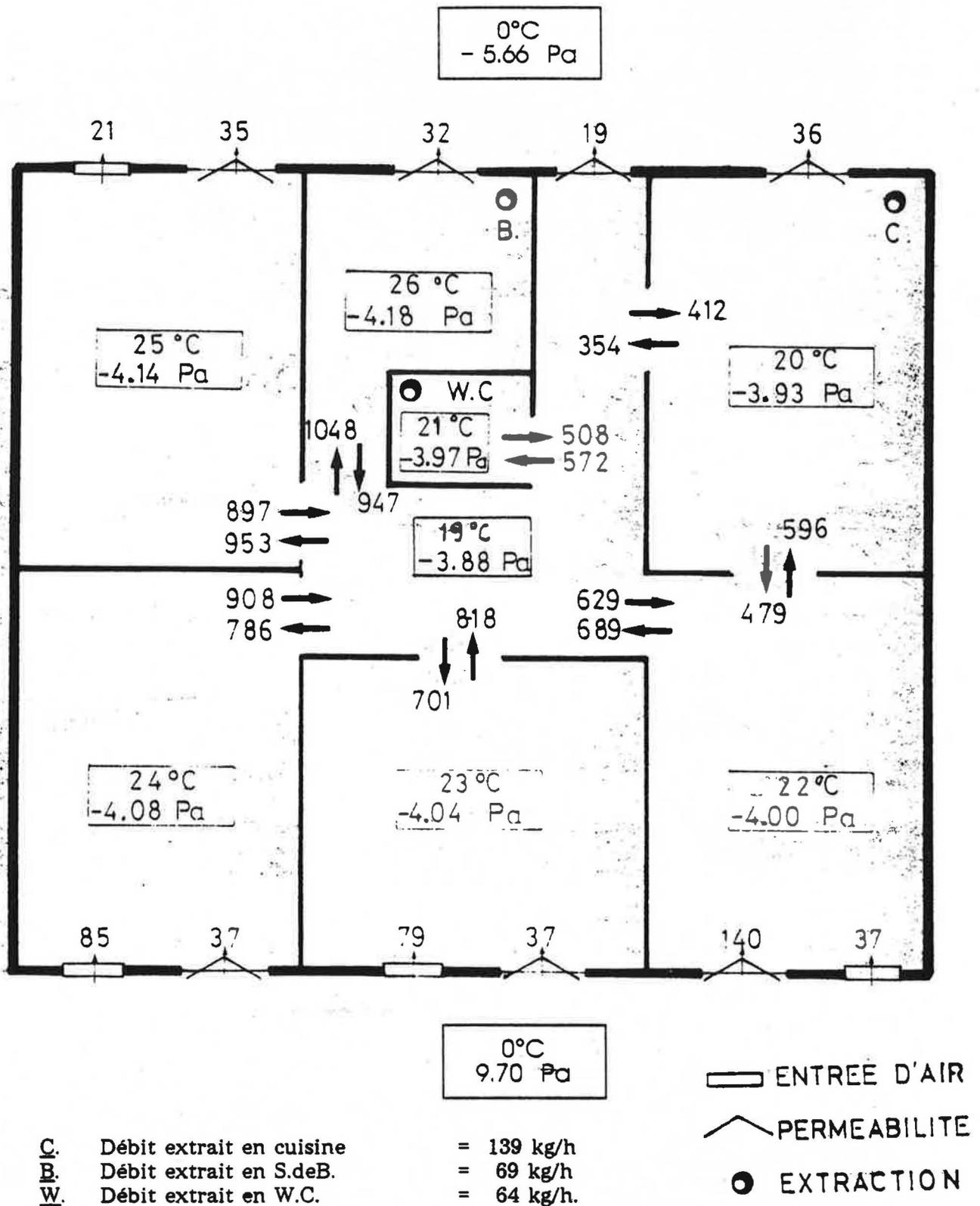


Figure 7

Carte des débits (exprimés en kg/h) dans le cas d'une VENTILATION NATURELLE par conduits séparés par une température extérieure de 0°C et un vent de 5 m/s.

Pour chaque zone, la pression au niveau du sol et la température figurent dans le cartouche central.

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. Noisy-le-Grand, Octobre 1989.
- [2] Library reference manual. International Mathematical and Statistical Libraries. Vol. 4. Houston : IMSL Library, June 1982.
- [3] CIBSE GUIDE A4. *Air infiltration*. Chartered institution of building services. London, 1976.
- [4] MOYE C. *La perméabilité à l'air des bâtiments d'habitation*. Cahiers du C.S.T.B. n° 2019. Livraison 262, Septembre 1985.
- [5] SHAW C.Y., TAMURA G.T. *The calculation of air infiltration rates caused by wind and stack action for tall buildings*. ASHRAE Transactions. Vol. 83, part II, paper n° 2359, 1977.
- [6] GIBERT J.P. *Etude de l'écoulement à travers les défauts d'étanchéité du bâtiment : extrapolation des mesures aux petits débits*. Direction de la Construction. C.E.T.E. de Lyon, Janvier 1988.
- [7] LAMRANI A. *Transferts thermiques et aérauliques à l'intérieur des bâtiments*. Thèse de Doctorat de 3^{ème} cycle. Université de Nice, Mars 1987.
- [8] KHODR H., PELLETRET R. *Transferts aérauliques entre zones*. Journées "Ventilation" 1987, Séminaire A.F.M.E., Sophia-Antipolis, 17 et 18 Novembre 1987.
- [9] IDEL'CIK I.E. *Memento des pertes de charges* (traduit du russe). Paris : Eyrolles, 1969.
- [10] BECIRSPAHIC S., BIENFAIT D. *Catalogue provisoire de coefficients de pertes d'énergie mécanique nécessaires pour le calcul des installations de ventilation (V.M.C.)*. CETIAT, SB/BC, Octobre 1986.