



CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BÂTIMENT # 5000

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 n° 89-5006
Novembre 1989

MODELISATION DES SYSTEMES DE VENTILATION

Rapport final

DIFFUSION : *Restreinte*

Service **GENIE ENERGETIQUE ET CLIMATIQUE**

Division **AERAUQUE ET CLIMATISATION**

Jacques RIBERON
Dominique BIENFAIT
Redwan MOUNAJED

C S T B

Centre de Recherche de Marne la Vallée

GEC n° 89-5006
JR/CP - 23.11.89

Service Génie Energétique et Climatique

Modélisation des systèmes de ventilation

—
Rapport final

Jacques RIBERON, Dominique BIENFAIT, Redwan MOUNAJED

Division Aéraulique et Climatisation

Novembre 1989

N° contrat AFME :	8-04-0030
N° de la fiche :	GEA 2
Objet de la décision :	Convention annuelle de recherche 1988
Date de notification :	20 octobre 1988
Responsable AFME :	M. CARRE

C S T B

Centre de Recherche de Marne la Vallée

GEC n° 89-5006
JR/CP - 23.11.89

Service Génie Energétique et Climatique

Modélisation des systèmes de ventilation

Modelling of ventilation systems

Jacques RIBERON, Dominique BIENFAIT, Redwan MOUNAJED

Division Aéraulique et Climatisation

Novembre 1989

Rapport rendant compte de travaux
financés avec l'aide de l'AFME
Fiche GEA 2

RESUME

Ce rapport rend compte des travaux de recherche menés au CSTB dans le domaine de la modélisation des systèmes de ventilation. Ces recherches visent à apprécier l'efficacité et l'emploi de ces systèmes.

A l'aide de codes de calcul, on a étudié l'effet de la turbulence du vent sur la ventilation et l'incidence de la caractéristique des entrées d'air sur l'efficacité de la ventilation.

On présente également une méthode d'évaluation des déperditions par renouvellement d'air. Cette méthode permet de mieux prendre en compte le débit supplémentaire de ventilation transversale.

MOTS CLES.

Ventilation, Modélisation - Turbulence du vent - Entrées d'air - Déperditions thermiques
Codes de calcul.

SUMMARY.

This report deals with research work undertaken in CSTB in the sphere of systems modelling. The aim of these works is to assess the system efficiency.

Thanks to computer codes, the effects of wind turbulence on the ventilation efficiency and the influence of air inlet characteristic on the ventilation efficiency have been studied.

A method aiming at assessing the amount of heat losses due to air change is described. This method enables to better take into account flow rate due to cross ventilation.

KEY WORDS.

Ventilation - Modelling - Wind turbulence - Air inlet - Heat losses - Computer codes

SOMMAIRE

<u>CHAPITRE 1</u>	7
1 - INTRODUCTION.....	7
2 - PRESENTATION DES PRINCIPAUX RESULTATS.....	7
2.1 - Incidence de la turbulence du vent sur la ventilation.....	7
2.2 - Incidence de la caractéristique des entrées d'air sur la ventilation.....	7
2.3 - Méthode d'évaluation des déperditions par renouvellement d'air.....	8
2.4 - Codes de calcul.....	8
<u>CHAPITRE 2</u>	9
1 - INTRODUCTION.....	9
2 - MODELISATION.....	10
3 - CHAMP DE PRESSION SPATIO-TEMPOREL DU VENT.....	10
4 - EFFET DE LA TURBULENCE DU VENT EN HABITAT INDIVIDUEL.....	11
4.1 - Méthodologie.....	11
4.2 - Etude d'un logement comportant deux zones.....	11
4.3 - Etude d'un logement monozone.....	13
5 - EFFET DE LA TURBULENCE DU VENT SUR UN RESEAU COLLECTIF DE VENTILATION.....	14
6 - CONCLUSION.....	17
<u>CHAPITRE 3</u>	19
1 - ETUDE COMPARATIVE DES DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR.....	19
1.1 - Objet.....	19
1.2 - Modalités de calcul.....	19
1.3 - Résultats.....	20
2 - INCIDENCE DE LA CARACTERISTIQUE DES ENTREES D'AIR SUR LA QUALITE DE LA VENTILATION.....	20
2.1 - Position du problème.....	20
2.2 - Démarche.....	20
2.3 - Configurations étudiées.....	21
2.4 - Résultats de simulations.....	21
3 - CONCLUSIONS.....	22

CHAPITRE 4	28
1 - INTRODUCTION.....	28
2 - RENOUELEMENT D'AIR INDUIT PAR LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE ENTRE LE VOLUME HABITABLE ET L'AIR EXTERIEUR.....	28
2.1 - Position du problème.....	28
2.2 - Méthode.....	28
2.3 - Résultats.....	28
3 - REGLES TH G - DETERMINATION DES DEPERDITIONS PAR RENOUELEMENT D'AIR SUPPLEMENTAIRE.....	30
3.1 - Généralités.....	30
3.2 - Vitesses de vent à considérer.....	30
3.3 - Valeurs des coefficients de pression Cp.....	34
3.4 - Résultats.....	36
3.5 - Incidence du type d'entrée d'air sur le renouvellement d'air supplémentaire.....	40
4 - REGLES TH D - DETERMINATION DES COEFFICIENTS MAJORATEURS.....	41
4.1 - Objet.....	41
4.2 - Analyse.....	41
ANNEXE 1	46
ANNEXE 2	76

CHAPITRE 1

INTRODUCTION ET PRESENTATION DES PRINCIPAUX RESULTATS.

1 - INTRODUCTION.

La recherche vise à identifier les solutions les plus performantes du point de vue de la qualité et de la ventilation et à définir les améliorations qu'il est possible d'apporter à ces systèmes : diminuer les consommations d'énergie sans nuire à la qualité du renouvellement.

L'objet du présent rapport est d'exposer les principaux résultats de recherche, obtenus à l'aide de codes de calcul, concernant :

- les effets de la turbulence du vent,
- le rôle de la courbe caractéristique des entrées d'air,
- une méthode d'évaluation des déperditions par renouvellement d'air.

2 - PRESENTATION DES PRINCIPAUX RESULTATS.

2.1 - Incidence de la turbulence du vent sur la ventilation.

Les débits d'air sont fortement conditionnés par les fluctuations spatio-temporelles des pressions du vent en façade et en toiture. L'influence des effets du vent sur la ventilation a été étudiée au moyen d'un modèle prenant en compte la compressibilité de l'air, associé au champ de pression mesuré sur maquette en soufflerie atmosphérique.

Les résultats de cette étude, présentés au chapitre 2, font apparaître la nécessité de prendre en compte les fluctuations temporelles du vent et également la compressibilité de l'air dans le cas d'un logement à simple exposition. La turbulence du vent peut également provoquer des refoulements d'air dans les réseaux de ventilation lorsque la perte de charge y est importante.

Afin de valider le code de calcul, les résultats de simulations seront confrontés à des mesures de débits réels de renouvellement d'air obtenus à partir du Laboratoire Expérimental de Bouin.

2.2 - Incidence de la caractéristique des entrées d'air sur la ventilation.

Des travaux de recherche ont contribué à l'élaboration du projet de norme codifiant les caractéristiques des entrées d'air autoréglables. La caractéristique d'une entrée d'air doit être telle que la qualité de la ventilation soit assurée et que les déperditions par renouvellement d'air soient minimisées.

Pour réduire le débit supplémentaire de ventilation (débit traversant), le débit-type des entrées d'air doit être atteint pour une différence de pression de 20 Pa.

Des résultats de simulations ont également montré sous quelles conditions il est possible d'utiliser des entrées d'air présentant une courbe débit-pression décroissante au delà de 20 Pa, sans pour autant nuire à la qualité de la ventilation.

L'ensemble de ces résultats est présenté au chapitre 3.

2.3 - Méthode d'évaluation des déperditions par renouvellement d'air.

Dans le cadre de la révision des Règles Th G et de l'élaboration des Règles Th D, une étude justificative a été entreprise en se basant pour l'essentiel sur l'exploitation du code de calcul GAINÉ.

Les résultats de cette étude sont présentés au chapitre 4. Il en résulte notamment que :

- dans le cas de maison individuelle à deux niveaux, le renouvellement d'air induit par la circulation naturelle entre des orifices situés à des hauteurs différentes est faible devant le renouvellement d'air spécifique et peut être négligé dans les Règles de calcul,
- le débit supplémentaire de ventilation Q_s rapporté à la perméabilité à l'air du logement P (entrées d'air et défauts d'étanchéité) est une fonction décroissante du débit spécifique Q_v rapporté à cette même perméabilité. La formulation retenue rend mieux compte des phénomènes que celle qui consisterait à admettre que le ratio Q_s/P est indépendant du ratio Q_v/P .

On a également élaboré une méthode permettant de déterminer les déperditions de base par renouvellement d'air. Cette méthode consiste à majorer les valeurs moyennes des débits de ventilation par des coefficients multiplicateurs pour tenir compte du fait qu'en conditions de base ces débits sont plus élevés.

2.4 - Codes de calcul.

Les résultats de recherche, présentés ci-dessus, reposent sur des codes de calcul développés au CSTB. On trouvera en annexes 1 et 2 la documentation des deux codes utilisés :

- le code GAINÉ qui calcule les débits d'air dans les réseaux de ventilation naturelle ou mécanique,
- le code SIREN 2 qui calcule les mouvements d'air entre zones d'une même bâtiment.

CHAPITRE 2

TUBULENCE DU VENT ET VENTILATION.

1 - INTRODUCTION

L'un des moteurs essentiels de la ventilation des bâtiments est la pression due au vent. Par son caractère fluctuant, le vent génère autour d'un bâtiment un champ de pression lui-aussi fluctuant [1] [2]. Or, la plupart des modèles numériques multizones de transfert d'air font abstraction de ce phénomène en retenant un certain nombre d'hypothèses simplificatrices parmi lesquelles l'hypothèse d'incompressibilité de l'air et l'hypothèse de constance des pressions du vent au cours d'une même tranche horaire.

Ces simplifications conduisent, dans certains cas, à des conclusions erronées. On s'en convainc aisément en considérant le cas où, lorsqu'on admet la constance des pressions de vent au cours d'une même tranche horaire, la pression calculée à l'intérieur d'une pièce est égale à la pression moyenne du vent. Les calculs conduisent à un débit d'air nul alors qu'en réalité les fluctuations temporelles du vent induisent un certain renouvellement d'air.

Une étude destinée à évaluer l'incidence de la turbulence du vent sur la ventilation des logements a été entreprise par le C.S.T.B.. Elle fait appel à un modèle numérique associé au champ de pression mesuré en soufflerie. Ce modèle sera validé par des mesures de débits réels de ventilation effectuées sur la maison expérimentale du C.S.T.B. à Bouin (Vendée).

2 - MODELISATION.

Le code de calcul utilisé pour cette étude est le code SIREN 2, développé à la station de recherche de Marne-la-Vallée du C.S.T.B. [3]. Ce code est destiné à évaluer les mouvements d'air entre zones d'un même bâtiment pour des conditions données de température, pression de vent, et pour des caractéristiques données de l'installation de ventilation et du bâtiment.

Ce code prend en compte la compressibilité de l'air des grands volumes (pièces).

On écrit dans chaque zone du logement l'équation de conservation de la masse d'air : La variation de la masse d'air dans une zone donnée est égale à la somme des débits nets échangés avec la zone considérée.

Moyennant certaines hypothèses simplificatrices (loi des gaz parfaits, champ de pression hydrostatique,...) on obtient un système d'équations différentielles non linéaire du premier ordre, dont les inconnues sont les pressions dans chaque zone à un niveau de référence donné.

On résoud ce système d'équations en faisant appel à l'algorithme de Levenberg-Marquardt (recherche du minimum de la somme des carrés d'une fonction).

3 - CHAMP DE PRESSION SPATIO-TEMPOREL DU VENT.

Les champs de pression sont déterminés par des mesures en soufflerie atmosphérique :

A partir des mesures effectuées sur une maquette à l'échelle 1/150^e [4], on dispose du champ quasi-instantané et synchrone du vent sur les façades et la toiture d'un pavillon (voir figure 1). Les données, enregistrées pour différentes incidences du vent, ont permis de constituer un fichier de coefficients de pression spatio-temporels - à pas de temps égal en conditions réelles à 0,3 s - utilisable par les codes de calcul.

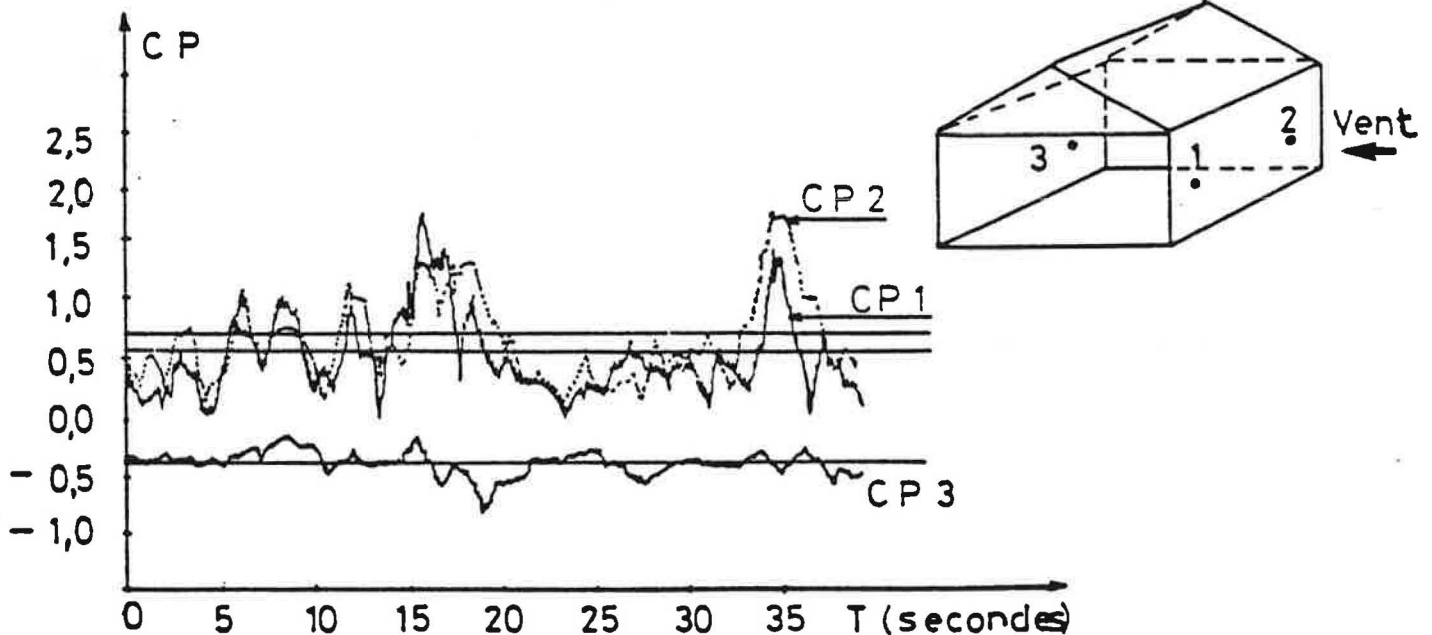


Figure 1 : Exemples de fluctuations spatio-temporelles des pressions de vent.

On dispose également du champ de pression instantanée et synchrone du vent en différents points de l'enveloppe d'un immeuble collectif, déterminé de même à partir de mesures effectuées en soufflerie atmosphérique [5].

4 - EFFET DE LA TURBULENCE DU VENT EN HABITAT INDIVIDUEL.

4.1 - Méthodologie.

Le calcul des transferts d'air s'est effectué, en utilisant le code SIREN 2, en considérant successivement différentes hypothèses selon que l'on prend en compte ou non les fluctuations spatio-temporelles de la pression du vent et la compressibilité de l'air. Pour quantifier la sensibilité des résultats à ces hypothèses, on a recours à un indicateur de pollution : la concentration en dioxyde de carbone.

On a d'abord traité le cas d'un pavillon comportant deux zones, puis celui d'une pièce sans communication aéraulique (porte étanche) avec le reste du logement [6].

4.2 - Etude d'un logement comportant deux zones.

On a considéré un pavillon à double exposition comportant deux pièces de volume identique égal à 162 m³, l'une (pièce n° 2) avec émission à flux constant de polluant (60 g/h de dioxyde de carbone), l'autre (pièce n° 1) sans émission. La pièce n° 1 est équipée d'une extraction à tirage naturel.

On a représenté en figure 2, pour différentes hypothèses, l'évolution au cours du temps du débit total d'air neuf pénétrant dans le logement pour un vent normal aux façades, lorsque la porte de communication entre les deux pièces est ouverte. On observe que la prise en compte des fluctuations temporelles du vent, et, à moindre degré, celle de la compressibilité de l'air, modifient de façon appréciable les débits instantanés.

Toutefois, en moyenne sur le temps, les différences s'atténuent, ce qui peut être mis en évidence par l'analyse de l'évolution des concentrations de gaz carbonique (figure 3).

On a porté au tableau 1 les valeurs de concentration en CO₂ atteintes au bout de huit heures dans chacune des deux pièces, selon l'incidence du vent et selon que la porte de communication est ouverte ou fermée.

Porte intérieure	ouverte				fermée			
	0°	0°	90°	90°	0°	0°	90°	90°
Angle d'incidence du vent								
Pièce n°	1	2	1	2	1	2	1	2
Air incompressible Pression constante du vent	680	750	720	790	620	1160	700	1280
Air incompressible Fluctuations temporelles du vent	670	740	660	700	660	1230	670	960
Air incompressible Fluctuations spatio- temporelles du vent	650	720	650	690	630	1160	670	950
Air compressible Fluctuations spatio- temporelles du vent	650	720	650	690	620	1150	670	950

Tableau 1 : Concentrations en dioxyde de carbone (ppm)

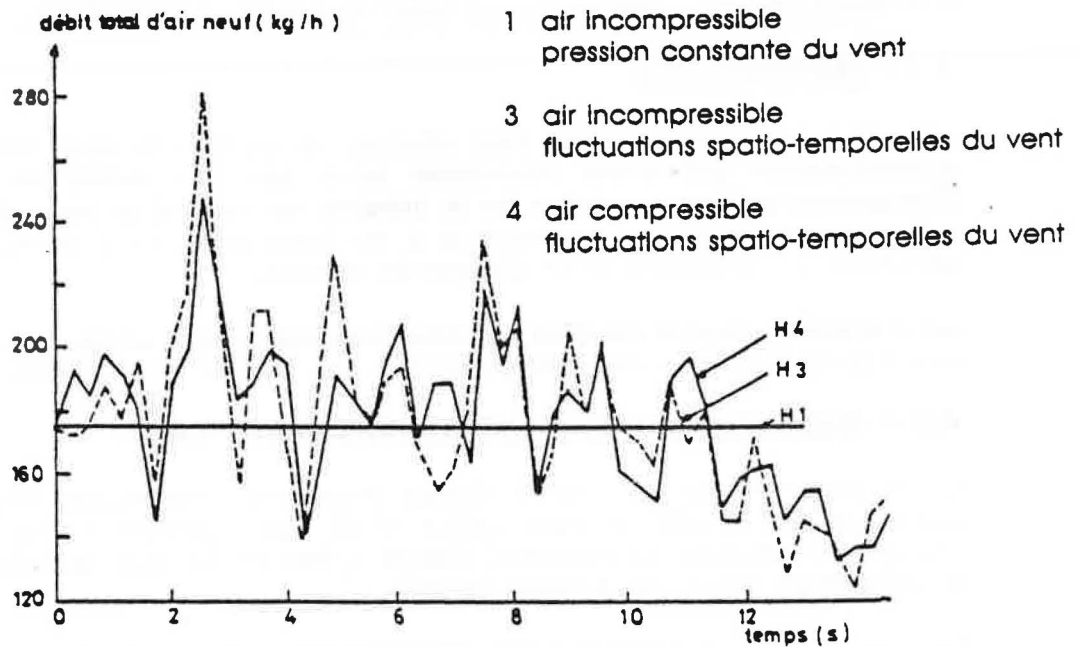


Figure 2

Evolution du débit d'air au cours du temps

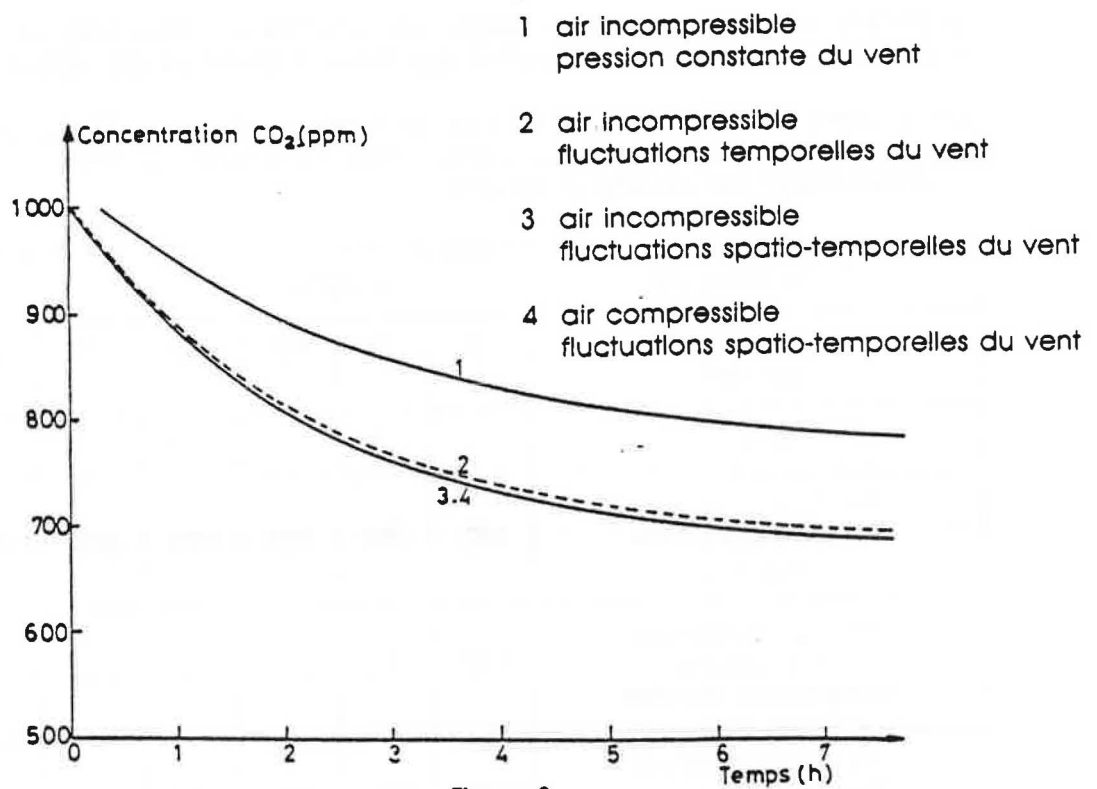


Figure 3

Evolution de la concentration en gaz carbonique au cours du temps dans la pièce n° 2.
Cas où le vent est parallèle aux façades et la porte de communication ouverte.

A l'examen des résultats, il apparaît que l'effet de la turbulence du vent ne peut, à la différence de la compressibilité de l'air, être négligé : l'effet des fluctuations temporelles du vent sur la ventilation est plus particulièrement important lorsque le vent est parallèle aux façades principales ; le négliger revient à commettre une erreur sur la concentration de CO_2 qui peut atteindre 35 %. L'erreur commise en négligeant les fluctuations spatiales de pression est inférieure à 10 %.

4.3 - Etude d'un logement monozone.

On a considéré le cas d'un logement à simple exposition sans dispositif spécifique de ventilation. Le passage d'air en façade s'opère à travers une section libre de 200 cm^2 , tandis que l'orifice en façade opposée - correspondant aux défauts d'étanchéité - n'est que de 10 cm^2 . Comme dans le cas précédemment traité, la concentration en dioxyde de carbone est de 300 ppm à l'extérieur et de 1000 ppm à l'intérieur de la pièce, à l'instant initial. On suppose qu'il n'existe aucune émission de gaz carbonique à l'intérieur du logement.

On a représenté en figure 4 l'évolution au cours du temps de la concentration en dioxyde de carbone pour différentes hypothèses. On constate que, à l'inverse de l'exemple précédent, l'hypothèse de compressibilité de l'air joue un rôle déterminant. Ceci s'explique par l'importante disproportion entre les sections des deux passages d'air (rapport 1 à 20).

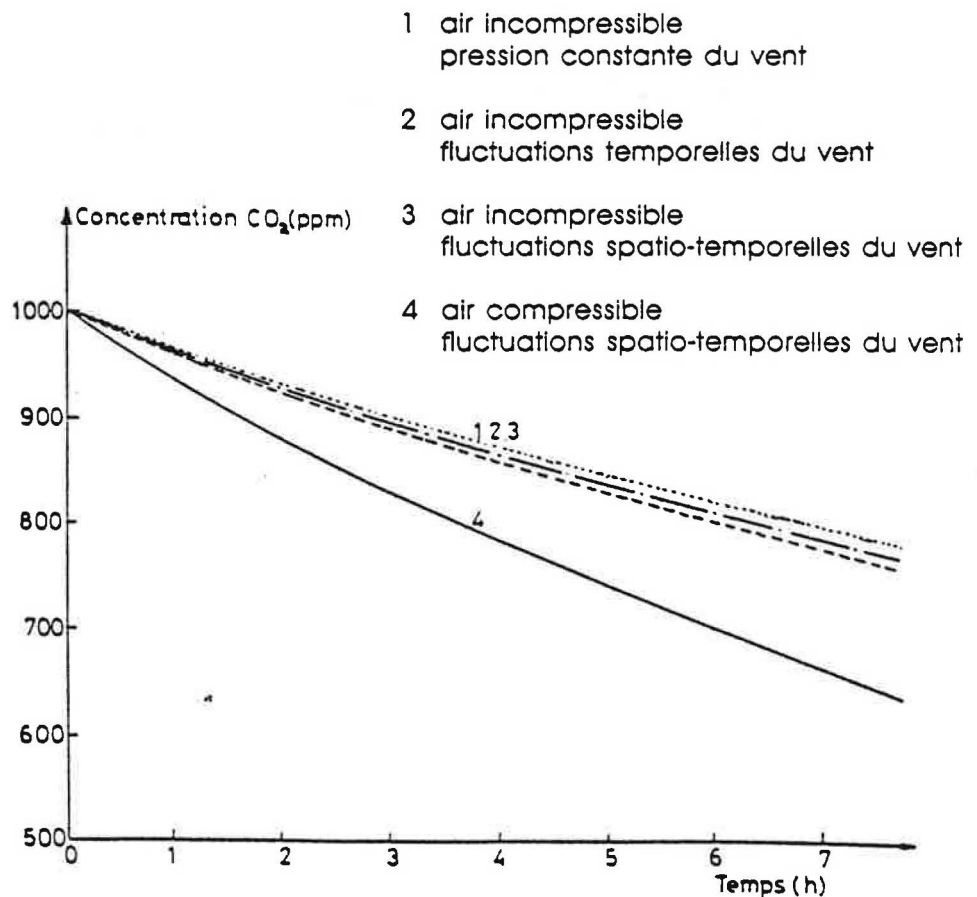


Figure 4

Evolution de la concentration en gaz carbonique au cours du temps

5 - EFFET DE LA TURBULENCE DU VENT SUR UN RESEAU COLLECTIF DE VENTILATION.

On a également étudié l'effet des fluctuations du vent sur un immeuble collectif ventilé par conduits à tirage naturel [7].

On considère des émissions de gaz carbonique à flux constants respectivement égaux à 1200 g/h et 60 g/h aux quatrième et dernier étages de l'immeuble. On analyse les transferts d'air pour différentes hypothèses selon que l'on tient compte ou non des fluctuations spatio-temporelles de la pression du vent (l'air est supposé incompressible), et que l'on considère un débouché en toiture de faible ($200 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa) ou de forte ($6 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa) perte de charge.

On représente en figure 5 l'évolution au cours du temps du débit total d'air extrait lorsque le débouché en toiture présente une faible perte de charge. On observe que la prise en compte des fluctuations du vent modifie de façon appréciable les débit instantanés.

On a également représenté l'évolution du débit total extrait et du débit extrait au dernier étage pour un débouché en toiture de forte perte de charge (figure 6).

A l'examen des résultats, on constate, lorsque la perte de charge du réseau est importante, des refoulements d'air au dernier étage qui ne sont pas décelables si on ne tient pas compte des fluctuations temporelles des pressions de vent.

Les figures 7 et 8 représentent, pour les différentes hypothèses retenues, l'évolution au cours du temps de la concentration en dioxyde de carbone au dernier étage.

On peut donc retenir que les fluctuations spatio-temporelles du vent ont un rôle d'autant plus important sur la qualité de l'air que la perte de charge du réseau (conduit plus débouché en toiture) est élevée ; l'erreur commise en négligeant les fluctuations temporelles peut atteindre 20 % sur la concentration en dioxyde de carbone.

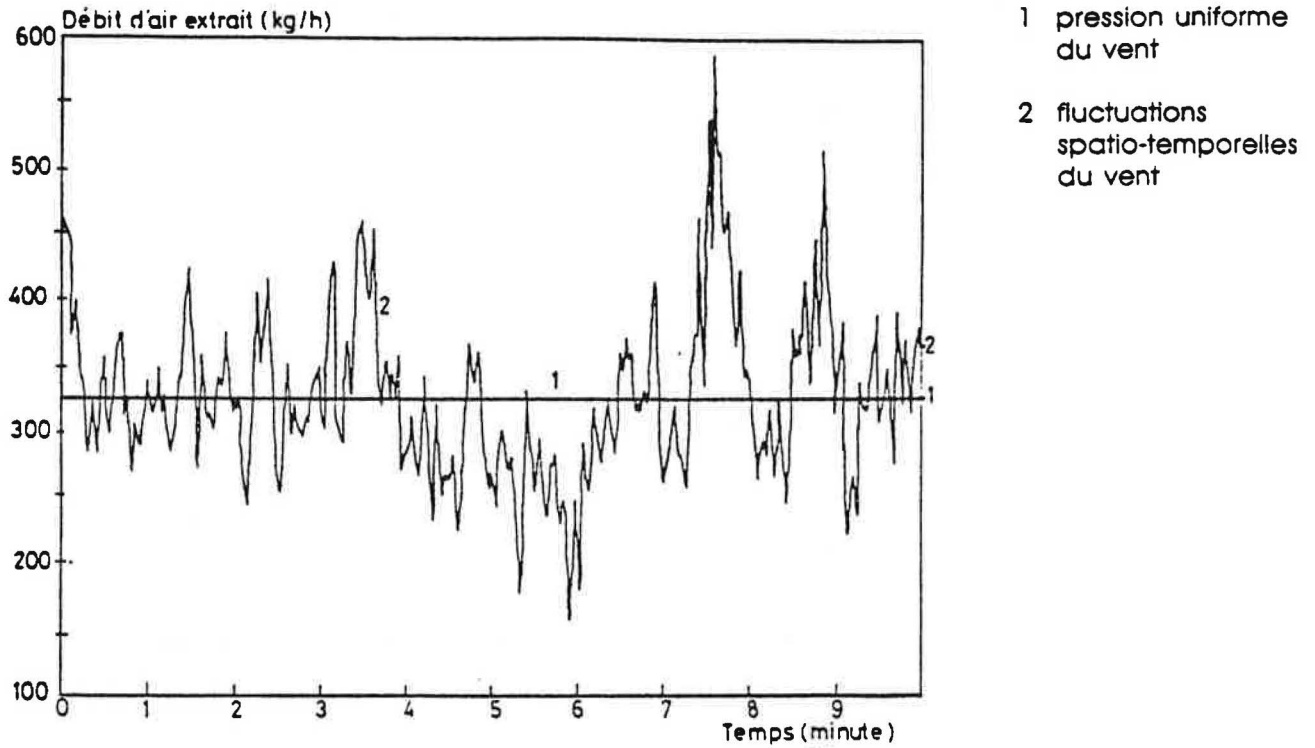


Figure 5

Evolution au cours du temps du débit total d'air extrait de l'immeuble

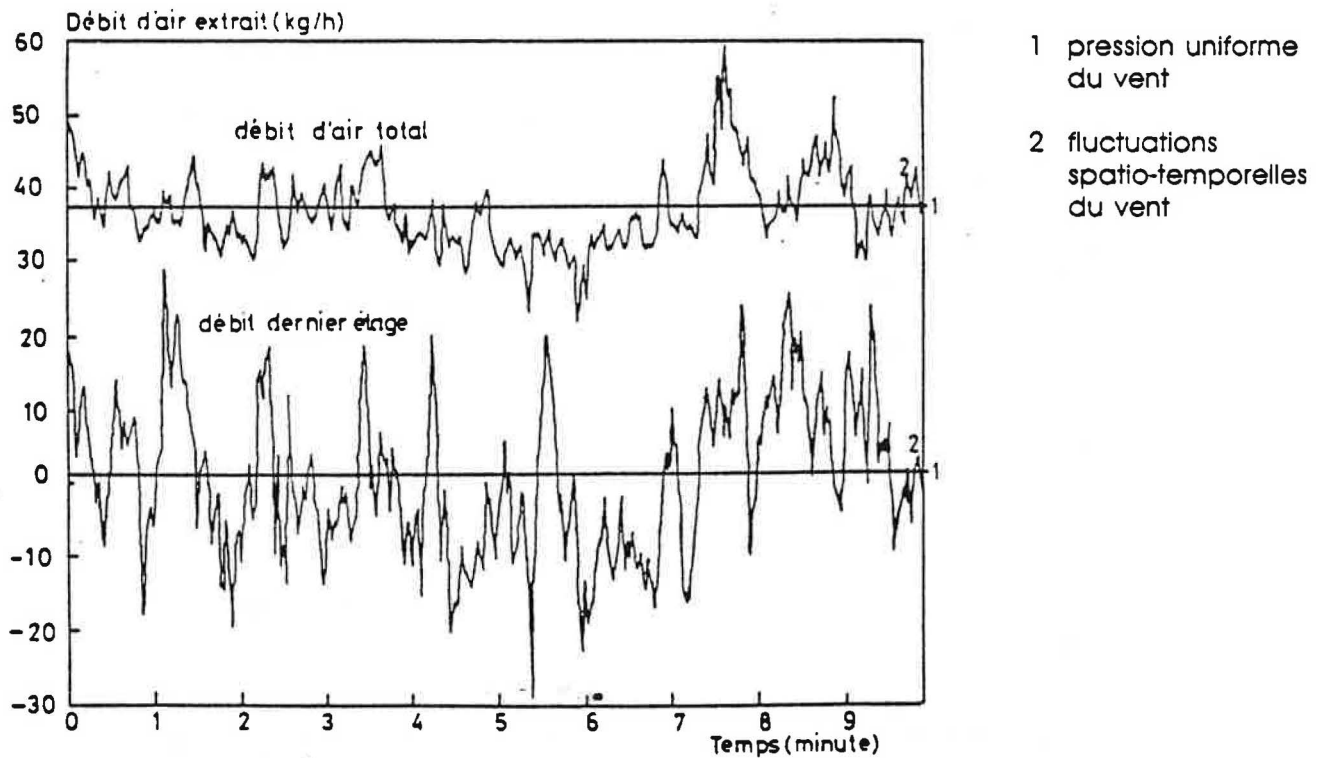


Figure 6

Evolution au cours du temps des débits extraits

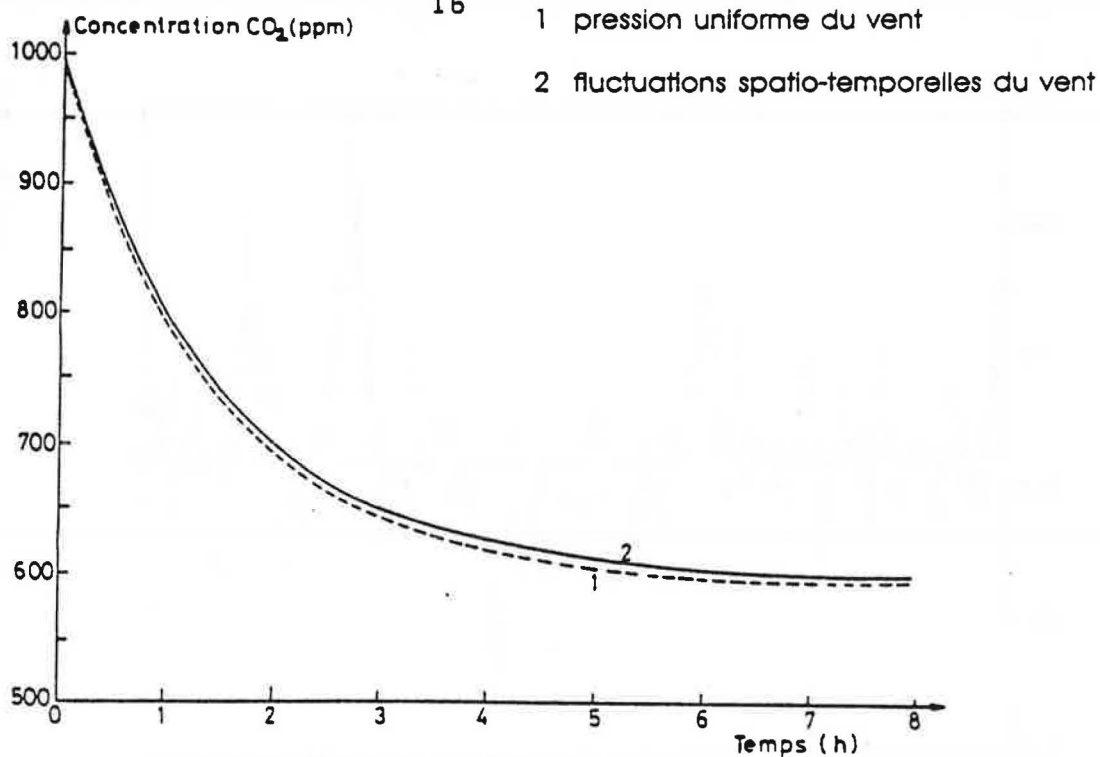


Figure 7

Evolution au cours du temps de la concentration en gaz carbonique.
Perte de charge du débouché de conduit : 1 Pa pour 200 m³/h

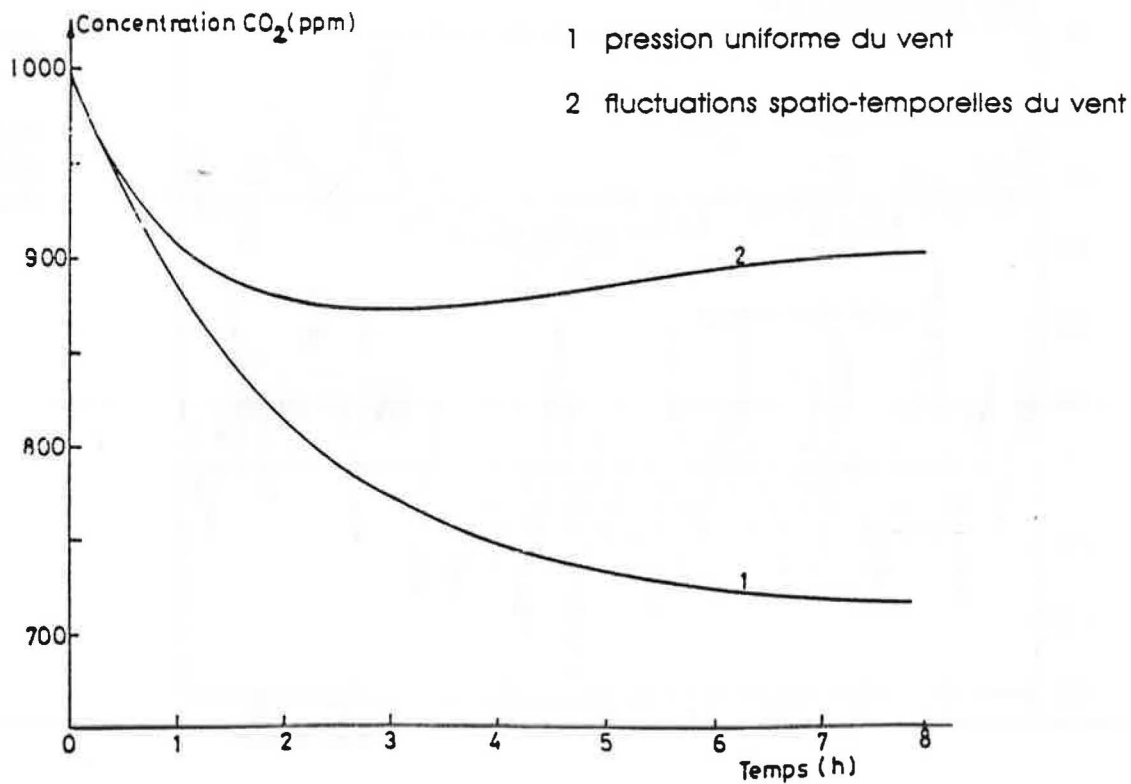


Figure 8

Evolution au cours du temps de la concentration en gaz carbonique.
Perte de charge du débouché de conduit : 1 Pa pour 6 m³/h

6 - CONCLUSION.

En raison de la non-linéarité des phénomènes régissant les transferts d'air dans un bâtiment, le traitement des fluctuations du vent donne lieu à des écarts par rapport aux calculs effectués en considérant une valeur moyenne de la pression du vent.

Les premiers résultats de simulation font apparaître la nécessité de prendre en compte les fluctuations temporelles du vent et également la compressibilité de l'air dans le cas d'un logement à simple exposition. La turbulence du vent peut également provoquer des refoulements d'air dans les réseaux de ventilation lorsque la perte de charge y est importante.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) C. SACRE, J. BIETRY, Ph. DUCHENE-MARULLAZ
Climatologie. REEF Volume II Sciences du bâtiment
C.S.T.B. (Décembre 1979)
- (2) J. GANDEMER, J. BIETRY, G. BARNAUD
Aérodynamique. REEF Volume II Sciences du bâtiment
C.S.T.B. (Avril 1980)
- (3) R. MOUNAJED
Fascicule de documentation du code de calcul SIREN 2
C.S.T.B. G.E.C. n° 89.4828 Champs-sur-Marne (Juin 1989)
- (4) B. LEMOULT
Etude préliminaire en soufflerie atmosphérique des pressions induites par le vent
sur pavillon individuel. Contribution à la ventilation naturelle.
C.S.T.B. E.N. ADYN 87-1L, Nantes (1987)
- (5) C. SOLLIEC
Contribution à l'étude de l'effet du vent sur la ventilation. Etude expérimentale et
caractéristiques des tests mesurés en soufflerie atmosphérique.
C.S.T.B. Nantes (1988)
- (6) R. MOUNAJED
Influence de la turbulence du vent sur la ventilation
C.S.T.B. G.E.C. n° 88.4311 Champs-sur-Marne (24 Février 1988)
- (7) R. MOUNAJED
La modélisation des transferts d'air dans les bâtiments.
Application à l'étude de la ventilation.
Thèse de Doctorat E.N.P.C. Paris (5 Octobre 1989)

CHAPITRE 3**LES ENTRES D'AIR DE VENTILATION.****1 - ETUDE COMPARATIVE DES DEPERDITIONS PAR RENOUVELLEMENT D'AIR.****1.1 - Objet.**

Le débit supplémentaire de ventilation d'un logement est d'autant plus réduit que la dépression régnant dans ce logement est élevée.

La présente étude vise à comparer les déperditions par renouvellement d'air pour les dimensionnements suivant les entrées d'air :

- débit type obtenu pour une différence de pression de 10 Pa,
- débit type obtenu pour une différence de pression de 20 Pa.

1.2 - Modalités de calcul.

On considère un logement de quatre pièces principales à double exposition, équipé d'une ventilation mécanique. La valeur du débit extrait est constante et égale à 102,5 m³/h.

Les simulations numériques ont été effectuées à l'aide du code de calcul GAINÉ en utilisant les données climatiques de Trappes pour deux types de vent : "*bocage*" et "*rase campagne*" et pour trois valeurs des défauts d'étanchéité du logement : perméabilité à l'air P égale à 40, 70 et 100 m³/h sous 1 Pa.

Les déperditions par renouvellement d'air ont été calculées sur la saison de chauffage pour des températures extérieures inférieures à 13°C.

Deux caractéristiques d'entrées d'air autoréglables ont été étudiées :

- dans le premier cas, la plage de régulation est égale à 10 - 100 Pa,
- dans le deuxième cas, elle est égale à 20 - 100 Pa.

Dans tous les cas, le débit type -débit sur la plage de régulation- est égal à 115 m³/h.

1.3 - Résultats.

A l'examen des résultats de simulations, présentés au tableau 1, on constate que le choix d'entrées d'air régulant sur une plage de pression 20 - 100 Pa conduit à des économies d'énergie, à Trappes, de 65 à 105 kWh/an lorsque le logement présente une bonne étanchéité à l'air et de 120 à 175 kWh/an lorsque le logement est peu étanche.

Vent	P (m ³ /h sous 1 Pa)	40	70	100
bocage	1 ^{er} cas	2815	3185	3600
	2 ^{ème} cas	2750	3070	3480
rase campagne	1 ^{er} cas	3005	3555	4185
	2 ^{ème} cas	2900	3425	4010

Tableau 1 : Déperditions par renouvellement d'air sur la saison de chauffage (kWh).

2 - INCIDENCE DE LA CARACTERISTIQUE DES ENTREES D'AIR SUR LA QUALITE DE LA VENTILATION.

2.1 - Position du problème.

Le principe de fonctionnement d'une entrée d'air autoréglable réside dans la modification progressive de la section de passage de l'air sous l'effet de la pression du vent. La variation de cette section est théoriquement conçue de manière à maintenir constant le débit d'air - à une valeur appelée débit type -, au moins dans une certaine plage de pression - appelée plage de régulation -.

En pratique, on constate que le débit traversant certaines entrées d'air décroît au delà d'une certaine valeur de pression (voir figure 1). Cette diminution du débit des entrées d'air, si elle peut contribuer à réduire les courants d'air gênants ainsi que les contraintes liées à la réalisation d'une caractéristique aéraulique autoréglable, risque toutefois de nuire à la qualité de la ventilation des logements, spécialement en période ventée.

Il convient donc que la norme codifiant les caractéristiques des entrées d'air autoréglables soit rédigée de façon à ce que, même en cas de surpression due aux effets du vent, les entrées d'air ne puissent être à l'origine d'une diminution excessive des débits extraits.

2.2 - Démarche.

La méthode utilisée consiste, à l'aide du code de calcul GAINÉ développé au CSTB, à déterminer la dépression à l'intérieur d'un logement équipé d'une VMC en fonction des conditions climatiques pour différentes caractéristiques aérauliques des entrées d'air. Le critère adopté est la dépression à l'intérieur du logement. Si cette dépression est trop importante, cela signifie que le débit extrait par le système de ventilation pourra être excessivement en deça de la valeur nominale.

2.3 - Configurations étudiées.

On a considéré un logement de 4 pièces principales à double exposition. Le débit d'extraction a conventionnellement été fixé à 165 m³/h : le débit total des entrées d'air est égal à 115 m³/h sous 20 Pa, la perméabilité globale du logement est de 50 m³/h sous 20 Pa.

Les simulations numériques ont été effectuées pour différentes valeurs de la vitesse du vent avec une température extérieure de 5°C et des coefficients de pression sur les deux façades respectivement égaux à + 0,8 et - 0,8.

2.4 - Résultats de simulations.

On a considéré ici le cas où les entrées d'air et les défauts d'étanchéité du logement sont uniformément répartis sur les deux façades en opposition.

Différentes courbes caractéristiques des entrées d'air ont été étudiées :

- Dans une première série de simulations, le débit des entrées d'air chute brusquement au delà de 20 Pa de la valeur q_t à la valeur αq_t (α est un paramètre compris entre 0 et 1). Il reste égal à cette valeur sur la plage de régulation 20-100 Pa et suit une loi quadratique pour des différences de pression supérieures à 100 Pa (voir figure 2).
- Dans une seconde série de simulations, la décroissance du débit s'effectue linéairement entre 20 et 30 Pa. Le débit est constant sur la plage de pressions 30-100 Pa (voir figure 3).
- Dans une troisième série de simulations, la décroissance est encore plus progressive : elle s'effectue entre 20 et 50 Pa. La plage de régulation est réduite à l'intervalle 50-100 Pa (voir figure 4).

Les résultats de simulations sont donnés sous forme de courbes représentant la variation de la dépression dans le logement en fonction de la vitesse du vent pour différentes valeurs du paramètre caractéristique du niveau de régulation des entrées d'air (voir figures 5 à 7).

L'examen des résultats nous amène à faire les remarques suivantes :

- Lorsque la diminution du débit des entrées d'air est très progressive, les courbes obtenues sont très voisines si $\alpha > 0,6$. Le supplément de dépression - par rapport à la situation de référence $\alpha = 1$ - dans le logement n'excède pas 7 Pa (voir figure 5).
- Lorsque la diminution du débit est moins progressive, les courbes sont voisines si $\alpha > 0,7$. On constate toutefois qu'aux faibles vitesses de vent (1 m/s), le supplément de dépression peut atteindre 22 Pa (voir figure 6).
- Lorsque le débit des entrées d'air chute brutalement de q_t à αq_t , la dépression dans le logement augmente rapidement au fur et à mesure que α diminue, et ce d'autant plus que la vitesse du vent est faible (voir figure 7).

D'autres simulations ont été effectuées en considérant l'ensemble des entrées d'air et des défauts d'étanchéité situé soit sur la façade au vent, soit sur la façade sous le vent.

L'examen de ces résultats a montré que la variation de pression dans le logement, due à une diminution du débit des entrées d'air, est du même ordre de grandeur que celle obtenue lorsque les entrées d'air sont réparties sur deux façades.

3 - CONCLUSIONS.

Les simulations ont été volontairement menées pour des conditions de ventilation défavorables à l'extraction de l'air vicié (disposition défavorable des entrées d'air et des défauts d'étanchéité par rapport au vent). Les résultats ont montré qu'il est possible d'utiliser des entrées d'air présentant une caractéristique débit-pression décroissante au delà de 20 Pa, sans pour autant nuire à la qualité de la ventilation à condition que le palier d'autorégulation ne soit pas inférieur à 70 % de la valeur du débit sous 20 Pa et que la décroissance pour atteindre ce palier soit progressive, c'est-à-dire qu'elle s'effectue sur une plage de pressions d'étendue minimale 10 Pa., ce qui correspond à la caractéristique débit-pression représentée à la figure 3.

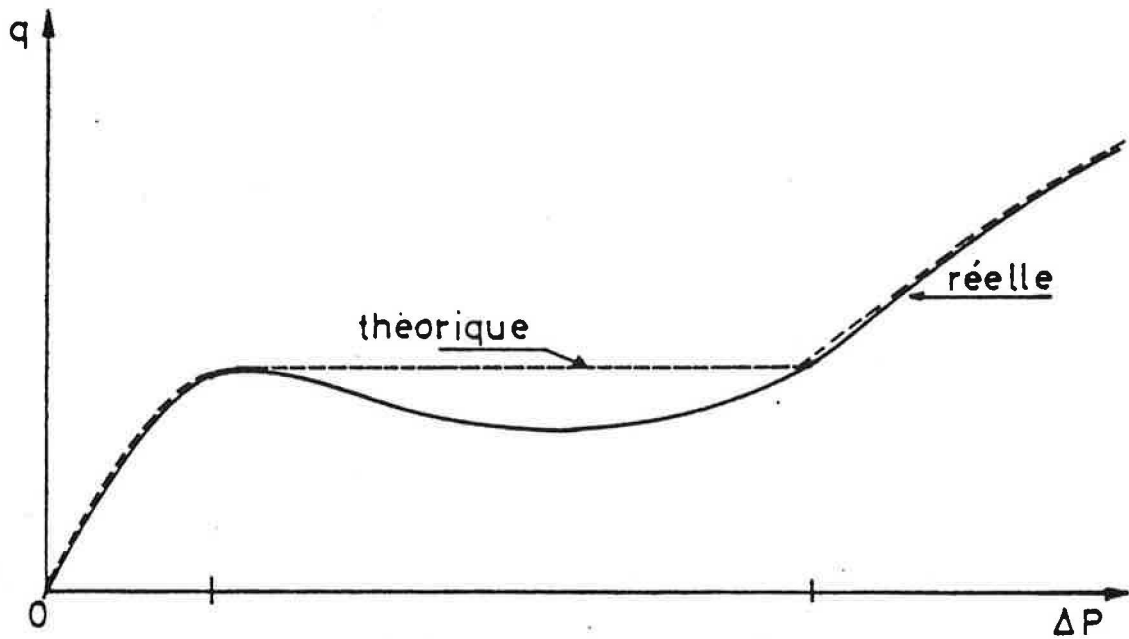


Figure 1 : Caractéristique débit-pression d'une entrée d'air autorégulable

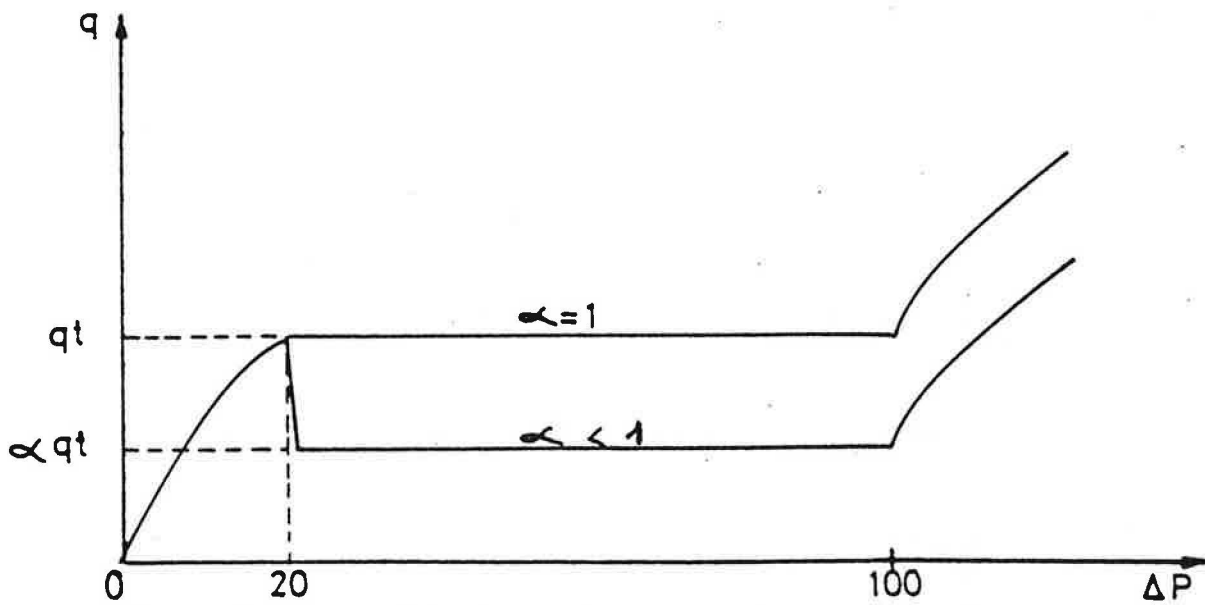


Figure 2 : Caractéristique aéraulique d'une entrée d'air brusque chute du débit au delà de 20 Pa.

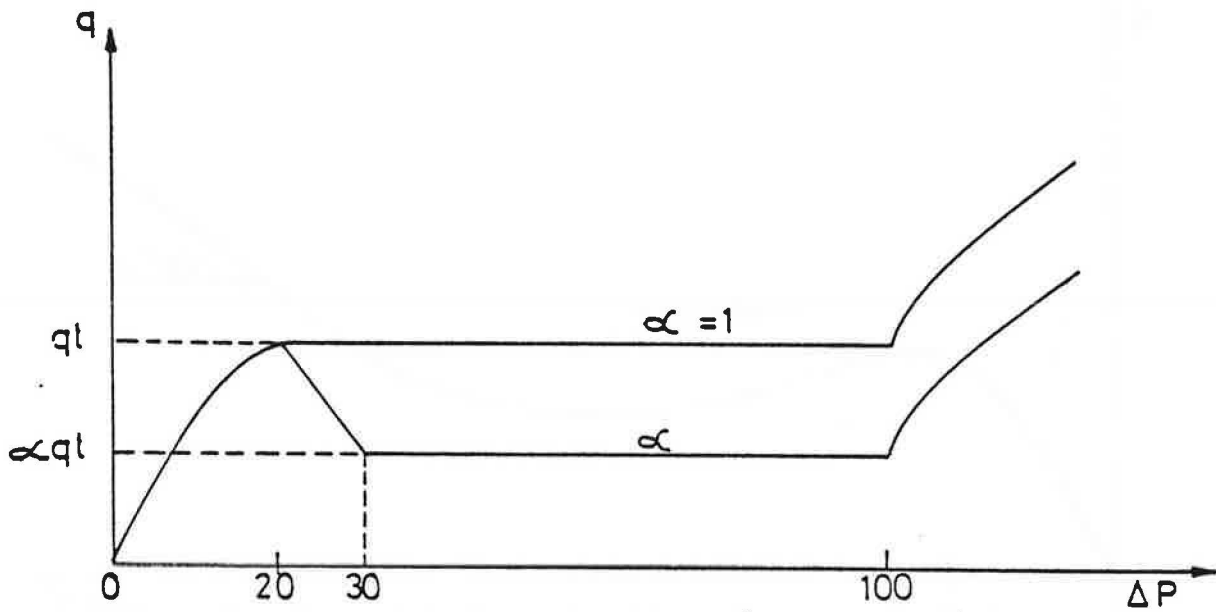


Figure 3 : Caractéristique aéraulique d'une entrée d'air
diminution progressive du débit au delà de 20 Pa.

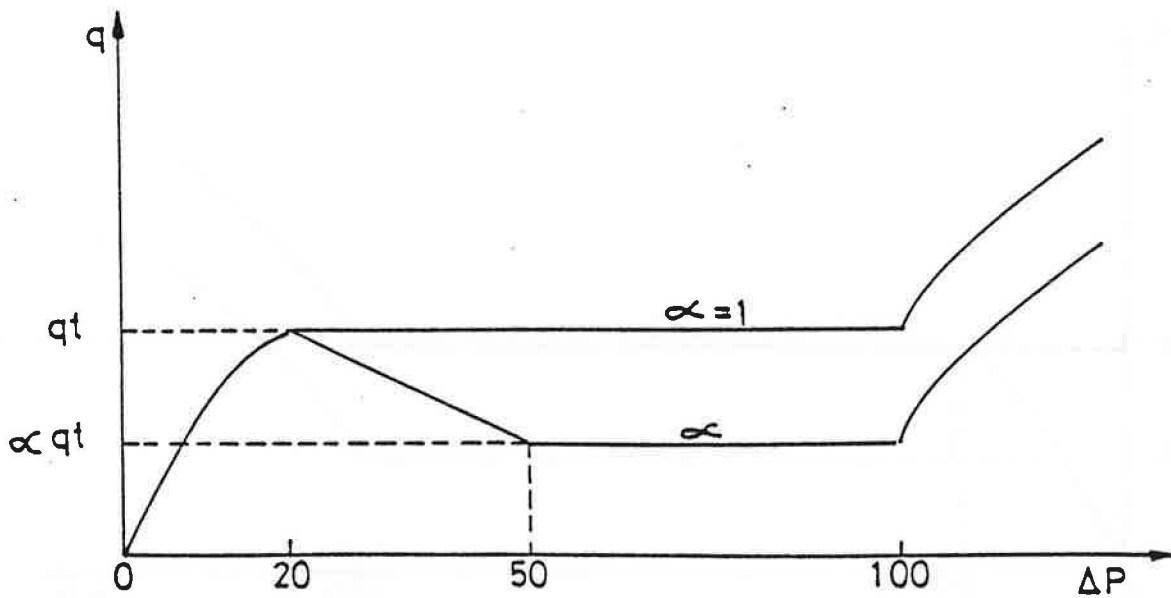


Figure 4 : Caractéristique aéraulique d'une entrée d'air
diminution très progressive du débit au delà de 20 Pa.

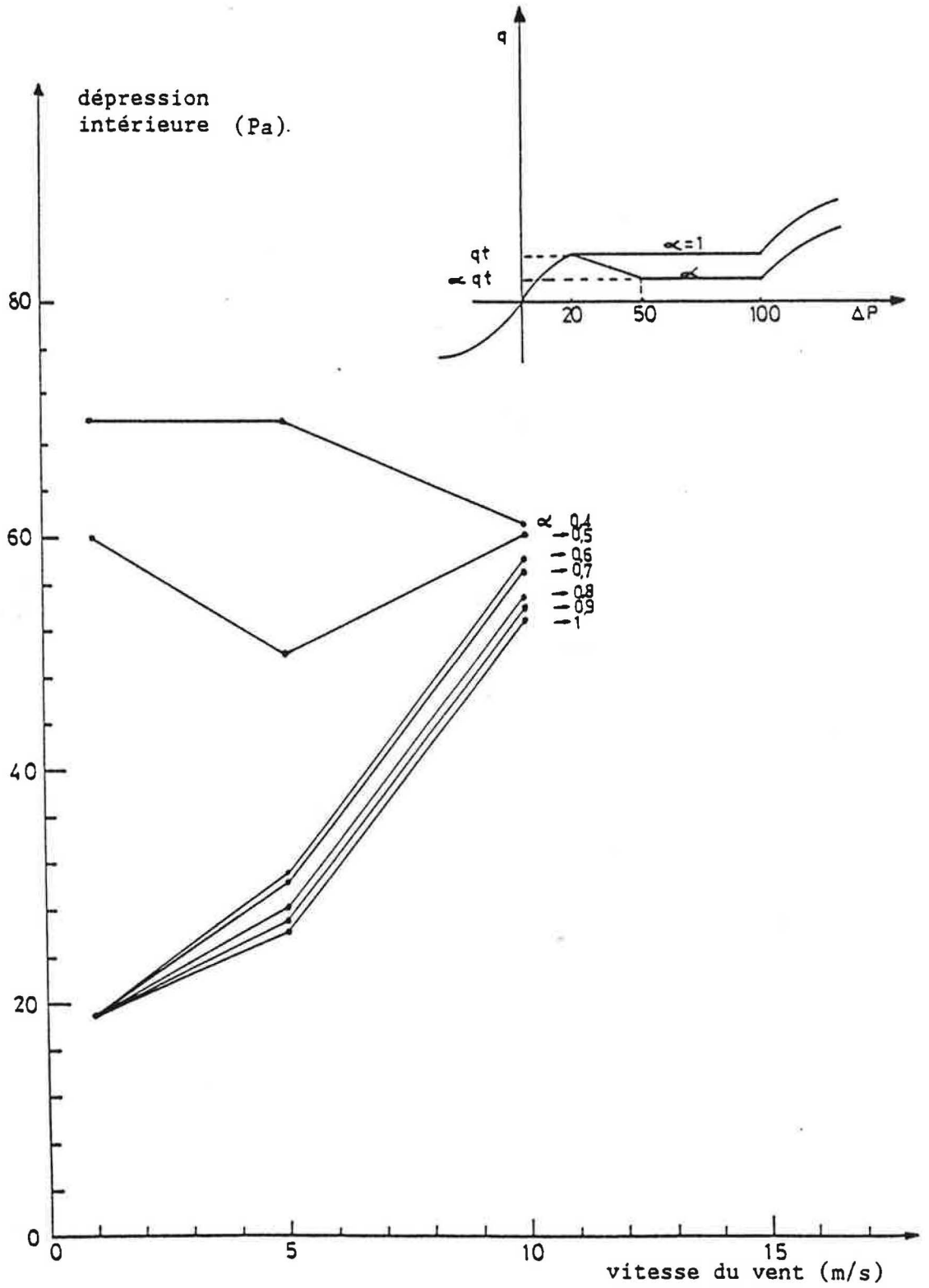


Figure 5 : Variation de la dépression dans le logement en fonction du vent selon les valeurs du paramètre α

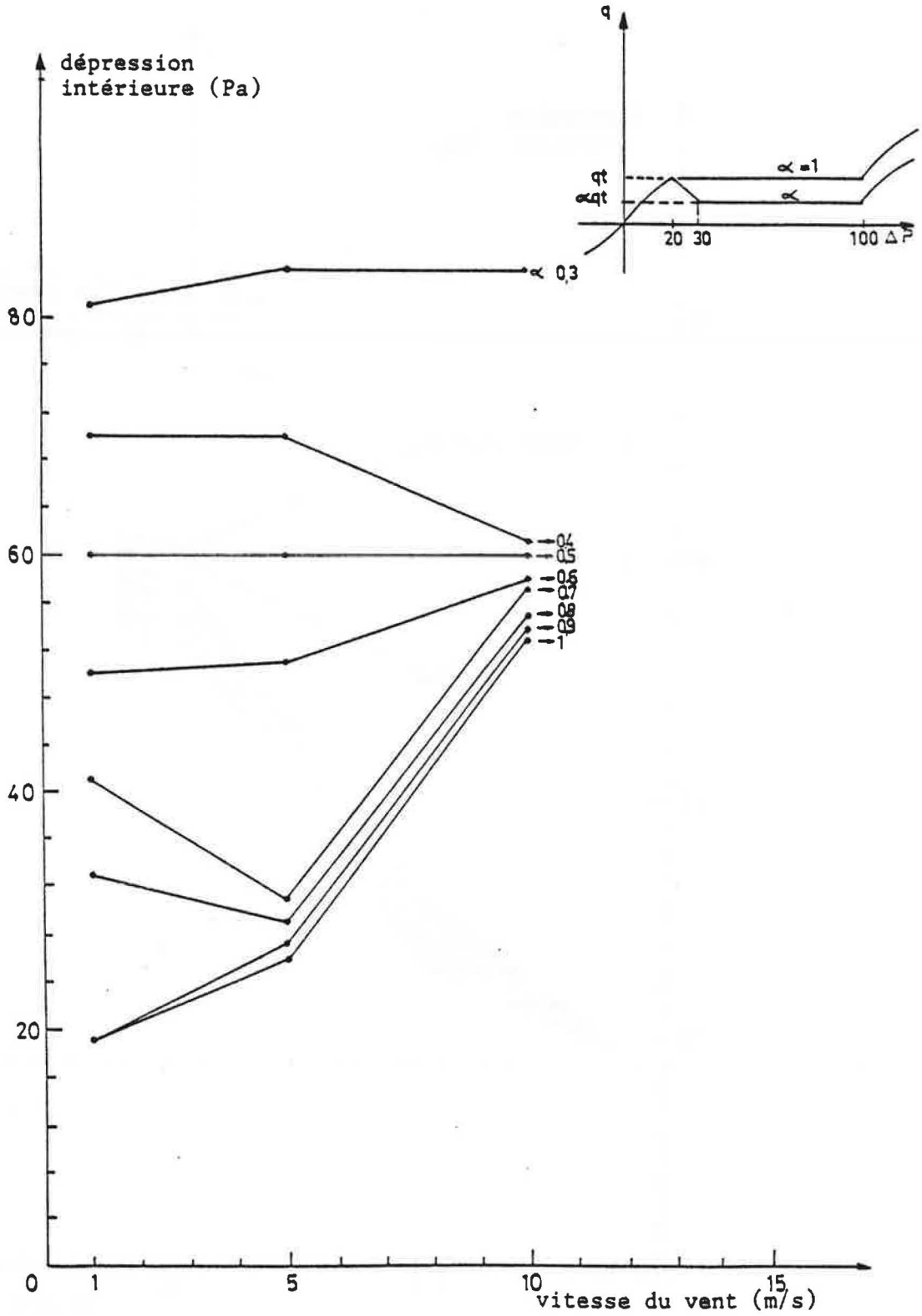


Figure 6 : Variation de la dépression dans le logement en fonction du vent selon les valeurs du paramètre α

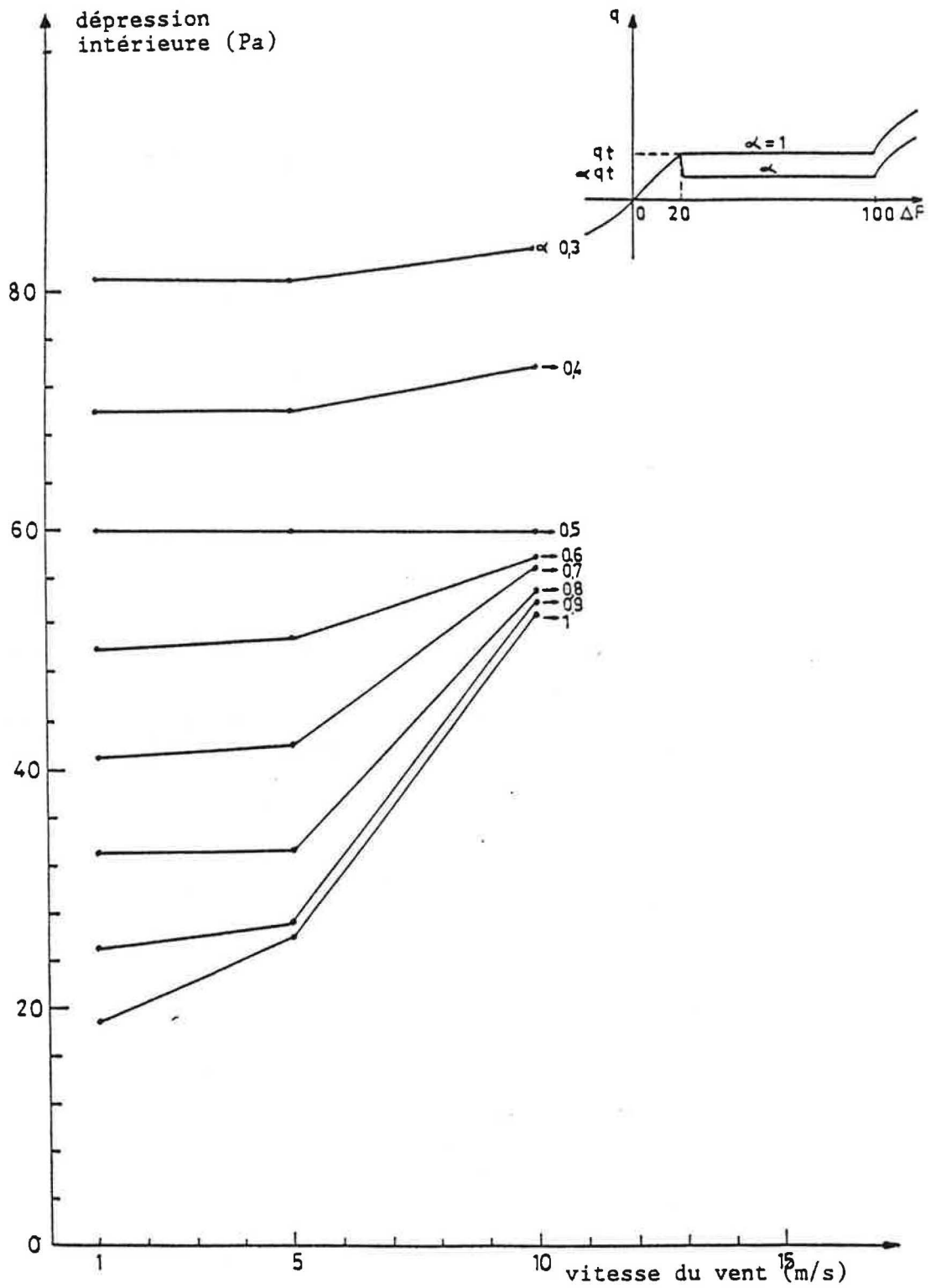


Figure 7 : Variation de la dépression dans le logement en fonction du vent selon les valeurs du paramètre α .

CHAPITRE 4

EVALUATION DES DEPERDITIONS PAR RENOUELEMENT D'AIR

1 - INTRODUCTION.

Le présent chapitre a pour objet de donner les éléments justificatifs sur certains points des projets de Règles Th G et Th D.

Ces points sont les suivants :

- 1 : Renouvellement d'air dû au tirage thermique dans le cas des maisons à deux niveaux,
- 2 : Règles Th G : détermination des déperditions par renouvellement d'air supplémentaire,
- 3 : Règles Th D : détermination des coefficients majorateurs.

Ces justifications reposent pour l'essentiel sur l'exploitation d'un code de calcul (réf. 1) permettant de déterminer les renouvellements d'air durant une saison de chauffage, en fonction du dimensionnement de l'installation de ventilation et des données météorologiques (fichiers trihoraires de la Météorologie Nationale : température extérieure, vitesse et orientation de vent).

2 - RENOUELEMENT D'AIR INDUIT PAR LA DIFFERENCE DE TEMPERATURE ENTRE LE VOLUME HABITABLE ET L'AIR EXTERIEUR.

2.1 - Position du problème.

La différence de température régnant entre l'intérieur et l'extérieur d'un logement est susceptible de créer un renouvellement d'air par circulation à travers les entrées d'air ou les défauts d'étanchéité de l'enveloppe. On se propose ici d'évaluer ce renouvellement d'air supplémentaire.

2.2 - Méthode.

On considère une maison individuelle à double exposition, équipée d'une ventilation mécanique dont le débit nominal extrait est pris égal à 90 m³/h.

Pour prendre en compte ce tirage thermique, on admet que les passages d'air (entrées d'air et défauts d'étanchéité) sont distants, en élévation, de 3 m, ce qui correspond au cas d'une maison à deux niveaux.

On calcule le débit de renouvellement d'air (réf. 1), et on compare les résultats à ceux obtenus en l'absence de tirage thermique, c'est-à-dire en supposant que les entrées d'air et les défauts d'étanchéité sont remplacés par des orifices fictifs situés à une hauteur égale à la moyenne des deux hauteurs précédentes.

2.3 - Résultats.

2.3 - Résultats.

Les simulations numériques ont été menées en considérant les données météorologiques de Trappes et un débit total d'entrées d'air égal à $120 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 20 Pa.

Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après pour deux classes d'exposition au vent (voir paragraphe 3.2) et trois niveaux d'étanchéité à l'air de l'enveloppe.

Défauts d'étanchéité (m^3/h sous 1 Pa)	Classe Ex1	Classe Ex2
0	0	0
50	5	4
100	10	4

Tableau 1 : supplément de débit dû au tirage thermique (m^3/h).

On a porté, dans ce tableau, les valeurs de la différence entre le débit déperditif calculé en tenant compte du tirage thermique et celui calculé en l'absence de ce tirage. On rappelle que le débit déperditif est égal aux déperditions par renouvellement d'air exprimées en Wh, rapportées au produit $0,34 \cdot \text{DH}$, où DH est le nombre de degrés-heures.

En maison individuelle, une valeur représentative des défauts d'étanchéité est $70 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa ; le supplément de débit dû à la prise en compte du tirage thermique est alors de l'ordre de $5 \text{ m}^3/\text{h}$. Cette valeur est sensiblement inférieure à celle due au débit supplémentaire en cas de vent (voir § 3) ; on propose en conséquence, dans les Règles Th G, de ne pas tenir compte de ce supplément de débit.

En immeuble collectif, les défauts d'étanchéité de la construction sont moins importants, et les logements ne comportent généralement qu'un seul niveau. Pour ces deux raisons, le supplément de débit est moins important que dans le cas de la maison individuelle.

Ce dernier résultat n'est toutefois valable que dans le cas où la porte palière est suffisamment étanche.

3 - REGLES Th G : DETERMINATION DES DEPERDITIONS PAR RENOUELEMENT D'AIR SUPPLEMENTAIRE.

3.1 - Généralités.

On sait que le débit supplémentaire de ventilation Q_s rapporté à la perméabilité à l'air P du logement (y compris les entrées d'air) est une fonction décroissante du débit spécifique rapporté à cette même perméabilité.

On peut rendre compte facilement de cette décroissance par l'expression suivante :

$$e' = \frac{Q_s}{P} = \frac{e}{1 + d \left(\frac{Q_{em}}{P} \right)^a} \quad (1)$$

Q_{em} est la valeur minimale du débit spécifique de ventilation. a , e et d sont des coefficients déterminés comme suit :

- Dans un premier temps (paragraphe 3.2), on définit quatre fichiers météorologiques représentatifs, chacun, des différentes classes d'exposition au vent : EX1, EX2, EX3 ou EX4.
- Dans un second temps (paragraphe 3.4), on détermine à l'aide de simulations numériques, portant sur chacune de ces quatre classes d'exposition au vent, les corrélations existant entre le débit spécifique, le débit supplémentaire et la perméabilité à l'air, ce qui permet d'en déduire par régression, les valeurs des coefficients e , d et a .

3.2 - Vitesses de vent à considérer.

3.2.1 - GENERALITES.

En un point donné d'une façade, la pression exercée par le vent s'écrit :

$$P_v = \frac{1}{2} \rho \cdot C_p \cdot V_{ref}^2 \quad (2)$$

Dans cette expression,

ρ est la masse volumique de l'air, prise égale à $1,2 \text{ kg/m}^3$,

C_p est le coefficient de pression du vent en façade,

V_{ref} est la vitesse de référence du vent, c'est-à-dire la vitesse dans l'écoulement amont non perturbé. Cette vitesse est fonction de la hauteur de la construction et de la rugosité du sol.

3.2.2 - DETERMINATION DE V_{REF}.

3.2.2.1 - Analyse.

La vitesse de référence V_{ref} est (réf. 2) donnée par l'expression suivante en fonction de la hauteur Z de la construction, exprimée en mètres :

$$V_{ref} = V_o \cdot k \cdot \text{Ln} (Z/Z_o) \quad (3)$$

Dans cette expression,

V_o est la vitesse du vent, corrigée de façon à la ramener aux conditions standard : station de rase campagne à 10 m au dessus du sol, ce qui correspond aux données fournies par la Météorologie Nationale,

Z_o et k sont des coefficients caractéristiques de la rugosité du terrain dont les valeurs, pour les classes de rugosité a, b, c et d définies au paragraphe 3.143 des règles Th G (réf. 3), sont les suivantes :

Classe de rugosité	a	b	c	d
Z_o (m)	1	0,3	0,07	0,005
k	0,266	0,234	0,202	0,166

Tableau 2 : valeurs des coefficients Z_o et k .

Pour obtenir la vitesse de référence V_{ref} il convient donc, d'une part de connaître la vitesse V_o , d'autre part la valeur du coefficient $k \cdot \text{Ln} (Z/Z_o)$ qui, dans la suite du rapport, sera noté b :

$$b = k \cdot \text{Ln} (Z/Z_o) \quad (4)$$

3.2.2.2 - Valeur de V_o : fichiers météorologiques représentatifs.

Dans les règles Th G on distingue deux régions :

- la région W qui comprend notamment le couloir rhodanien et les localités situées à une altitude supérieure à 1000 m,
- la région V qui recouvre le reste de la France.

On dispose des fichiers météorologiques trihoraires pour les stations suivantes :

Zone V : Agen, Limoges, La Rochelle, Macon, Nancy, Nice, Rennes et Trappes,

Zone W : Carpentras.

Dans la zone V, les fichiers qui présentent, vis à vis des valeurs moyennes de vitesse du vent, des valeurs représentatives, sont ceux de Trappes, Nancy et Limoges. Les valeurs moyennes de vitesse du vent étant peu différentes, nous retenons comme fichier représentatif de la zone V le fichier de Trappes.

Dans la zone W, on ne dispose que d'un seul fichier (Carpentras), ce qui est insuffisant pour prétendre à une bonne représentativité. Nous verrons plus loin (paragraphe 3.2.2.3) comment, disposant des résultats pour la zone V, on peut en déduire ceux pour la zone W, ce qui permet, pour cette zone, d'éviter le recours à un fichier météorologique supplémentaire.

3.2.2.3 - Valeurs du coefficient b.

On peut, par application de la relation (4) calculer les valeurs du coefficient b en fonction de la classe de rugosité et de la hauteur de la construction. Les résultats figurent dans le tableau 3. Pour faciliter l'analyse ultérieure, ces résultats sont présentés de façon similaire à celle retenue à l'art 3.141 des Règles Th G (réf. 3) pour la définition des classes d'exposition au vent.

hauteur (m)	Région V			Région W		Région V	Région W
	situations			situations		situation	situation
	a	b	c	a	b	d	c
3.5	*	0,57	0,79	*	0,57	1,09	0,79
	Ex1	Ex1	Ex1	Ex2	Ex2	Ex2	Ex2
10	0,61	0,82	1,00	0,61	0,82	1,26	1,00
	Ex1	Ex1	Ex2	Ex2	Ex2	Ex3	Ex3
25	0,86	1,03	1,19	0,86	1,03	1,41	1,19
	Ex2	Ex2	Ex2	Ex3	Ex3	Ex4	Ex4
40	0,98	1,14	1,28	0,98	1,14	1,49	1,28
	Ex2	Ex2	Ex3	Ex3	Ex3	Ex4	Ex4
75	1,15	1,29	1,41	1,15	1,29	1,60	1,41
	Ex3	Ex3	Ex3	Ex4	Ex4	Ex4	Ex4

Tableau 3 : valeurs calculées du coefficient b

Dans le tableau ci-dessus, on a porté la classe d'exposition au vent (Ex1, Ex2, Ex3 ou Ex4) définie au paragraphe 3.141 des Règles Th G :

* Valeur non indiquée compte tenu de la rugosité élevée, les valeurs calculées n'ont, en centre ville, et à faible hauteur, qu'une signification approximative.

Cas de la Région V.

On observe que les valeurs des coefficients b sont les suivantes :

zone Ex1 : 0,57 à 0,82 , valeur représentative : 0,70

zone Ex2 : 0,79 à 1,19 , valeur représentative : 1,05

zone Ex3 : 1,15 à 1,41 , valeur représentative : 1,30

zone Ex4 : 1,41 à 1,60 , valeur représentative : 1,50.

Cas de la Région W.

On observe sur la figure 1, tirée de l'Atlas climatique de la Construction (réf. 4), que les vitesses moyennes du vent sont, s'il est fait abstraction de certaines régions (Alsace, littoral de la Manche,...), généralement comprises entre 3 et 5,5 m/s pour la région V contre 4,5 et 6 m/s pour la région W.

Il en résulte que les vitesses moyennes, V_o , du vent sont, en région W, supérieures d'environ 25 % à 30 % à celles observées en région V.

3.2.3 - SYNTHÈSE.

• On propose comme fichier météorologique représentatif des différentes zones Exi, les fichiers trihoraires (température extérieure, vitesse et orientation du vent), correspondant à la station de Trappes en multipliant dans ce fichier les vitesses de vent par un coefficient b égal à :

zone Ex1 : $b = 0,70$

zone Ex2 : $b = 1,05$

zone Ex3 : $b = 1,30$

zone Ex4 : $b = 1,50$

• Il résulte de l'analyse précédente que les zones Exi rendent compte de façon cohérente de la classe de rugosité, de la hauteur de la construction ainsi que de la région (V ou W). Toutefois il a été mis en évidence que certaines modifications pourraient être apportées de façon à améliorer la définition des zones.

Compte tenu de ce que d'autres améliorations portant notamment sur une analyse plus fine des vitesses de vent selon les régions doivent par ailleurs être effectuées, on propose de ne pas modifier dans l'immédiat le tableau donnant la définition des classes Exi.

3.3 - Valeurs des coefficients de pression C_p .

Les valeurs des coefficients de pression C_p dépendent principalement de l'orientation du vent et du type de construction : maison individuelle, immeuble barre,....(réf. 5).

Pour l'élaboration des présentes Règles on ne fait pas de distinction selon le type de construction, et on retient (réf. 6) les valeurs ci-dessous établies dans le cas de la maison individuelle.

	angle d'incidence i				
	0°	30 à 60°	90°	120 à 150°	180°
C_{p1}	0,6	0,2	- 0,3	- 0,6	- 0,35
C_{p2}	- 0,35	- 0,6	- 0,3	0,2	0,6

Tableau 4 : Valeur des coefficients de pression C_p selon l'angle d'incidence i du vent.

(lorsque l'angle d'incidence est nul, la façade 1 est au vent : coefficient $C_{p1} = 0,6$; la façade 2 est sous le vent : coefficient $C_{p2} = - 0,35$).

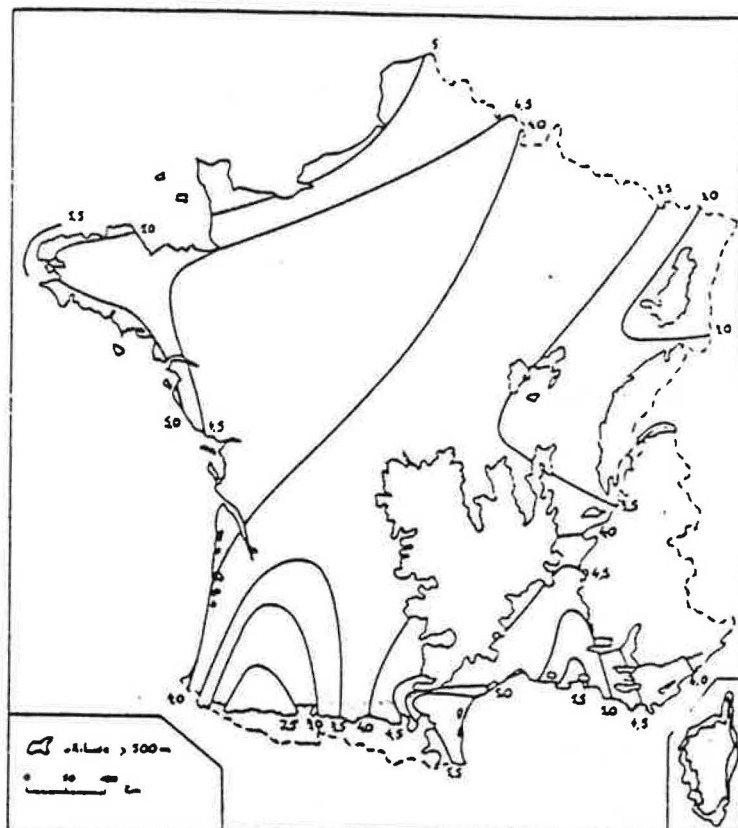


FIGURE 1 : Vitesse moyenne du vent (en m/s)
dans les conditions standard :
10 m de hauteur en rase campagne.

3.4 - Résultats.

3.4.1 - HYPOTHESES.

On a considéré un logement équipé d'une VMC simple flux dont le débit d'extraction est égal à 90 m³/h. Le logement est à double exposition : les entrées d'air et les défauts d'étanchéité sont également répartis sur les deux façades en opposition du logement.

Le débit total des entrées d'air autoréglables est égal à 90 m³/h sous 20 Pa.

Les simulations ont été effectuées en utilisant les données météorologiques de Trappes avec les valeurs du paramètre b représentatives respectivement des quatre classes d'exposition au vent Ex1, Ex2, Ex3, Ex4.

3.4.2 - CORRELATION ENTRE $\frac{Q_s}{P}$ ET $\frac{Q_{em}}{P}$.

La relation entre les rapports $\frac{Q_s}{P}$ et $\frac{Q_{em}}{P}$ a été établie par régression en considérant plusieurs résultats de simulation correspondant à des valeurs différentes des défauts d'étanchéité Pde.

Pour cela, on a d'abord cherché à déterminer les coefficients e et d par régression portant sur la relation (1) lorsque le coefficient a est égal à 1, et en imposant que la courbe passe

par le point $\frac{Q_{em}}{P} = 0$.

A l'examen de la figure 2, il apparaît que les résultats s'ajustent assez difficilement. Les valeurs obtenues des coefficients e et d sont présentés dans le tableau suivant :

Classe d'exposition au vent	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
e	0,5	0,85	1,05	1,3
d	2,5	1,1	0,9	0,65

Tableau 5 : valeurs des coefficients e et d
Ajustement à la relation (1) avec a = 1

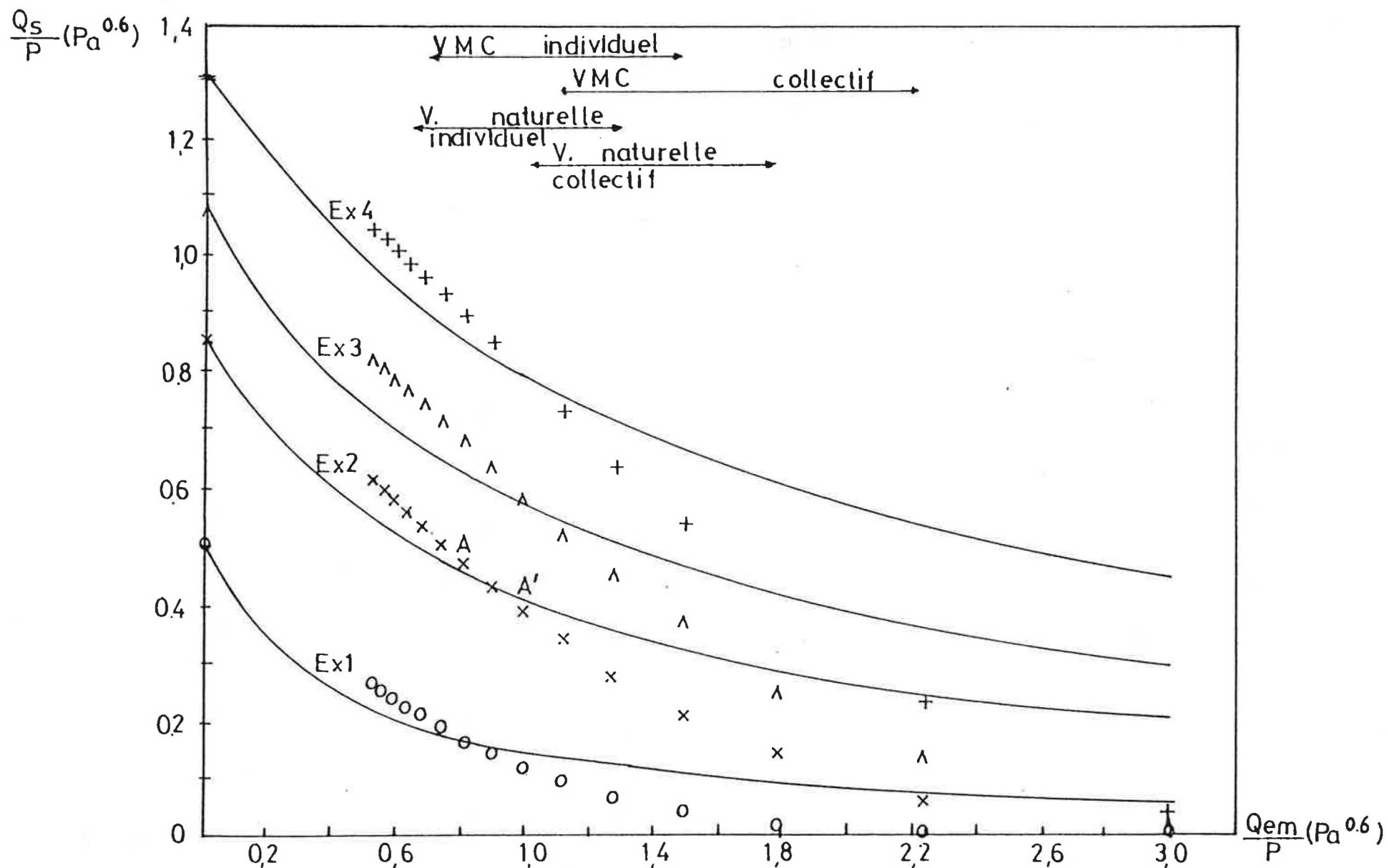


FIGURE 2 : variation du renouvellement d'air supplémentaire en fonction du renouvellement d'air spécifique selon les classes d'exposition au vent.
Ajustement des points par régression sur la relation (1) avec $a = 1$

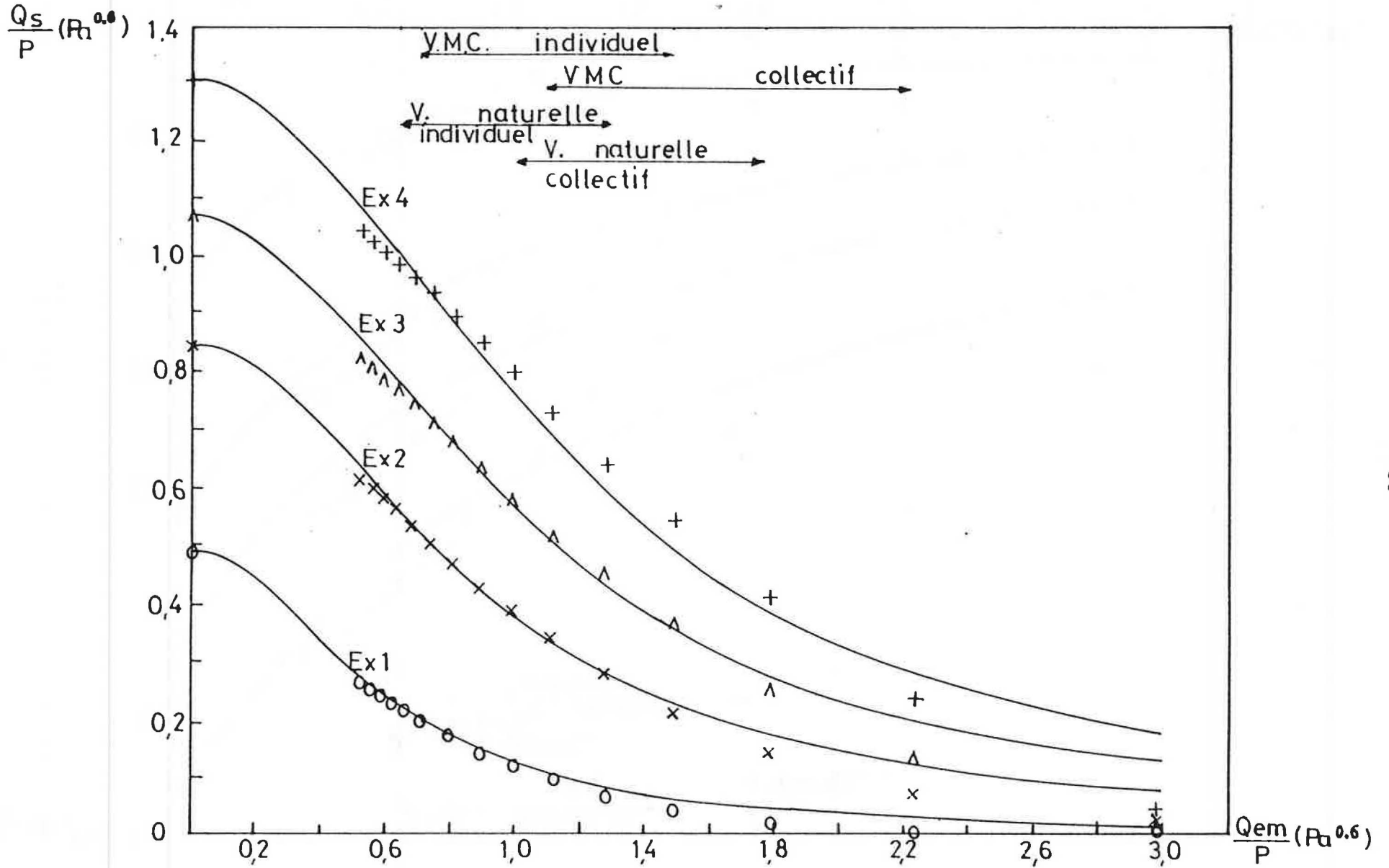


FIGURE 3 : variation du renouvellement d'air supplémentaire en fonction du renouvellement d'air spécifique selon les classes d'exposition au vent.
Ajustement des points par régression sur la relation (1) avec $a = 2$

On a ensuite cherché à ajuster les résultats de simulation en prenant comme valeur de l'exposant : $a = 2$, et en imposant toujours que les courbes passent par le

point $\frac{Q_{em}}{P} = 0$. Les résultats, présentés en figure 3 montrent que les points s'ajustent de manière plus satisfaisante. Les valeurs obtenus des coefficients e et d sont présentées dans le tableau suivant :

Classe d'exposition au vent	Ex1	Ex2	Ex3	Ex4
e	0,5	0,85	1,05	1,3
d	3,3	1,3	0,9	0,75

Tableau 6 : valeurs des coefficients e et d
Ajustement à la relation (1) avec $a = 2$

Remarque :

On a représenté sur les figures 2 et 3 les plages usuelles du ratio $\frac{Q_{em}}{P}$ en distinguant la ventilation naturelle de la ventilation mécanique et l'habitat collectif de la maison individuelle. Ces quatre plages ont été déterminées en considérant pour un logement de quatre pièces principales ($q_{em} = 90 \text{ m}^3/\text{h}$) que :

- 1) la perméabilité des entrées d'air P_{ea} est de $20 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa en VMC et de $30 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa en ventilation naturelle ;
- 2) la perméabilité du reste de l'enveloppe P_{de} varie de 40 à $110 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa pour une maison individuelle et de 20 à $60 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa pour un logement collectif.

On notera que l'ajustement des résultats à la relation (1) est meilleur sur les plages usuelles du ratio $\frac{Q_{em}}{P}$ que sur la plage décrite de 0 à 3.

3.4.3 - CONCLUSION.

On observe, sur les figures 2 et 3 que l'ajustement par une relation de type hyperbolique (1) donne de bien meilleurs résultats que l'hypothèse qui aurait consisté à admettre que le rapport du débit supplémentaire Q_s à la perméabilité P est indépendant du ratio $\frac{Q_{em}}{P}$.

A titre d'exemple, lorsqu'on retient une valeur fixe du ratio $\frac{Q_s}{P}$ de 0,5 (point A de la figure 2), on commet une erreur par excès de 29 % pour le ratio $\frac{Q_{em}}{P} = 1$ (point A' de la figure 2).

En définitive, on propose de retenir la relation (1) avec une valeur du coefficient a égale à 2. Cette relation donne (cf. fig. 3) le meilleur ajustement, mais on notera qu'on aurait également pu retenir la relation plus simple avec $a = 1$ qui, surtout pour les plages

habituelles du ratio $\frac{Q_{em}}{P}$ donne des valeurs peu éloignées des résultats de simulation.

3.5 - Incidence du type d'entrée d'air sur le renouvellement d'air supplémentaire.

On a également effectué d'autres simulations afin d'apprécier l'effet éventuel du type d'entrée d'air sur les déperditions supplémentaires par renouvellement d'air.

Les résultats ont montré que le débit supplémentaire moyen sur la saison de chauffage est très peu différent, que les entrées d'air soient fixes ou autoréglables (voir tableau ci-dessous).

Perméabilité P (m ³ /h sous 1 Pa)	Débit supplémentaire Qs (m ³ /h)	
	Entrée d'air fixe	entrée d'air autoréglable
78	10,0	9,8
87	12,9	12,7
97	16,7	16,5
108	25,5	25,4
127	34,0	33,9
138	42,2	42,2
146	42,9	42,8
157	52,1	52,1
176	62,5	62,5

Tableau 7 : débit supplémentaire de ventilation en fonction de la perméabilité à l'air globale du logement

Il n'apparaît donc pas utile, dans les Règles Th G de distinguer le cas des entrées d'air fixes de celui des entrées d'air autoréglables.

4 - REGLES Th D : DETERMINATION DES COEFFICIENTS MAJORATEURS.

4.1 - Objet.

Les déperditions de base s'expriment par la relation :

$$D_b = G1.V. (t_i - t_e) + 0,34. \beta .Q_v (t_i - t_e) + 0,34.\alpha .P.e'(t_i - t_e). \quad (5)$$

Dans cette expression :

- t_i et t_e sont respectivement les températures intérieure et extérieures de base.
- Le premier terme représente les pertes par transmission à travers les parois.
- Le second terme représente les pertes par renouvellement d'air spécifique.
- Le troisième terme représente les pertes par renouvellement d'air supplémentaire.
- Les coefficients α et β , supérieurs ou égaux à 1 rendent compte du fait que les débits d'air pris en considération sont supérieurs à ceux calculés dans le cadre des Règles Th G.

4.2 - Analyse.

Il est proposé que l'installation de chauffage soit dimensionnée de façon que sa puissance couvre l'ensemble des déperditions thermiques (c'est-à-dire la somme des déperditions par les parois et de celles par renouvellement d'air) pendant l'ensemble de la saison de chauffage, sauf cinq jours.

4.2.1 - CAS DES INSTALLATIONS DE VENTILATION MECANIQUE.

4.2.1.1 - Valeur de β :

Dans les installations de ventilation mécanique, le débit extrait Q_v est peu dépendant des conditions météorologiques ; il est supposé constant au cours du temps :

$$\beta = 1 \quad (6)$$

4.2.1.2 - Valeur de α :

4.2.1.2.1 - Généralités.

Les déperditions totales sont égales à la somme de deux termes :

$$- G1.V. (t_i - t_e) + 0,34.Q_v. (t_i - t_e)$$

$$- 0,34.\alpha .P.e'. (t_i - t_e).$$

Le premier de ces termes ne dépend que de la différence de température ($t_i - t_e$), alors que le second dépend de cette différence, mais aussi de l'effet du vent.

Le coefficient majorateur, α , ne peut être calculé de telle façon que le second terme corresponde à la puissance qui serait nécessaire pour couvrir les déperditions par renouvellement d'air supplémentaire pendant l'ensemble de la saison de chauffage sauf cinq jours.

En effet, si on retenait ce mode calcul, cela conduirait au total, compte tenu du foisonnement entre vitesse de vent et température, à une puissance de l'installation de chauffage supérieure à celle répondant à l'objectif visé (couvrir l'ensemble des déperditions sauf pendant cinq jours par an).

La méthode proposée pour atteindre cet objectif est en conséquence la suivante :

4.2.1.2.2 - Modalités de détermination du coefficient α .

- 1) On détermine pour chaque jour de la saison de chauffage les puissances correspondant aux pertes par transmission et par renouvellement d'air (spécifique + supplémentaire). Ces puissances, rapportées à l'écart entre les températures intérieures et extérieures de base sont exprimées en W/°C. Elles sont évaluées par simulations numériques (réf. 1). On détermine alors la puissance P1 répondant à la définition suivante : P1 = puissance qui n'est dépassée, sur la saison de chauffage, que pendant cinq jours.
- 2) On détermine de la même manière, la puissance P2 répondant à la même définition pour ce qui concerne la somme des déperditions par transmission à travers les parois et par renouvellement d'air spécifique.
- 3) Il résulte de ces définitions que l'objectif visé est atteint si la puissance P3 représentant les déperditions par renouvellement d'air supplémentaire est prise égale à la différence entre les quantités P2 et P1.

On définit alors, en vue de l'expression des résultats, le coefficient α égal au rapport entre puissance P3 et la valeur moyenne sur la saison de chauffage, calculée selon les règles Th G, de ces mêmes déperditions.

4.2.1.2.3 - Convention de calcul et résultats.

a) *Les hypothèses retenues sont les suivantes :*

- . débit extrait : 90 m³/h
- . défaut d'étanchéité de l'enveloppe : 70 m³/h sous 1 Pa
- . entrées d'air : quatre entrées d'air module 30
- . coefficient de déperdition par transmission à travers les parois : 130 W/°C
- On considère le cas d'un logement à double exposition en classe d'exposition Ex1, Ex2, Ex3 ou Ex4 :
- . température intérieure : $t_i = 18^\circ\text{C}$
- . température extérieure de base : $t_e = -7^\circ\text{C}$.

Les résultats obtenus montrent que le coefficient α reste généralement voisin de 2 et que sa valeur dépend assez peu de la nature des entrées d'air (fixes ou autoréglables).

Les calculs se poursuivent de façon à préciser les valeurs de α pour chaque classe d'exposition au vent.

4.2.2 - CAS DES INSTALLATIONS DE VENTILATION NATURELLE.

Dans les conditions de base, le tirage thermique ainsi que l'aspiration créée par le vent au débouché du conduit, prennent des valeurs plus élevées.

Dans ces conditions, le débit spécifique en condition de base est égal à près du double du débit spécifique moyen.

4.2.2.1 - Valeurs de α .

On propose de retenir les mêmes valeurs que celles obtenues dans le cas de la VMC.

4.2.2.2 - Valeurs de β .

On propose de calculer les valeurs de β en suivant une démarche analogue à celle exposée dans le cas de la ventilation mécanique.

NOMENCLATURE

- Db** = déperditions thermiques de base (W)
- G1** = coefficient volumique de déperditions thermiques par transmission à travers les parois ($W/m^3\text{°C}$)
- P** = perméabilité à l'air globale du logement (entrées d'air et défauts d'étanchéité) (m^3/h sous 1 Pa)
- Pde** = perméabilité à l'air du logement due aux défauts d'étanchéité (m^3/h sous 1 Pa)
- Pea** = débit des entrées d'air sous 1 Pa (m^3/h sous 1 Pa)
- Pv** = pression du vent (Pa)
- Qem** = valeur minimale du débit spécifique de ventilation (m^3/h)
- Qs** = débit supplémentaire de ventilation (m^3/h)
- Qv** = débit spécifique de ventilation (m^3/h)
- te** = température extérieure ($^{\circ}C$)
- ti** = température intérieure ($^{\circ}C$)
- V** = volume chauffé (m^3).
- Vref** = vitesse de référence du vent (m/s)
- Vo** = vitesse du vent en conditions standard (m/s).

REFERENCES

- (1) R. MOUNAJED Note de présentation du code de calcul GAINÉ
CSTB - CTBE/TASE n° 86-3737 (novembre 1986).
- (2) REEF Climatologie
- (3) DTU P50 - 704 Règles Th G.
Cahier du CSTB n° 2256 - Livraison 291 (Juillet 1988).
- (4) L. CHEMERY et Ph. DUCHENE-MARULLAZ
Atlas climatique de la construction
Publication Qualité Construction - CSTB ; Eyrolles (1987)
- (5) J. GANDEMER Ecoulements et charges induites par le vent sur les bâtiments.
Cahier du CSTB n° 2045 - Livraison 265 (Décembre 1985).
- (6) J. RIBERON, R. MOUNAJED
Dimensionnement des installations de ventilation naturelle en
maison individuelle
CSTB GEC n° 88/4457 (Juillet 1988).

ANNEXE 1

GAINÉ

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).

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

*Code GAINÉ d'Etude des Transferts d'Air dans les Réseaux de Ventilation
(versions 1 et 2)
Centre Scientifique et Technique du Bâtiment
MARNE-LA-VALLEE, 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).4

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).

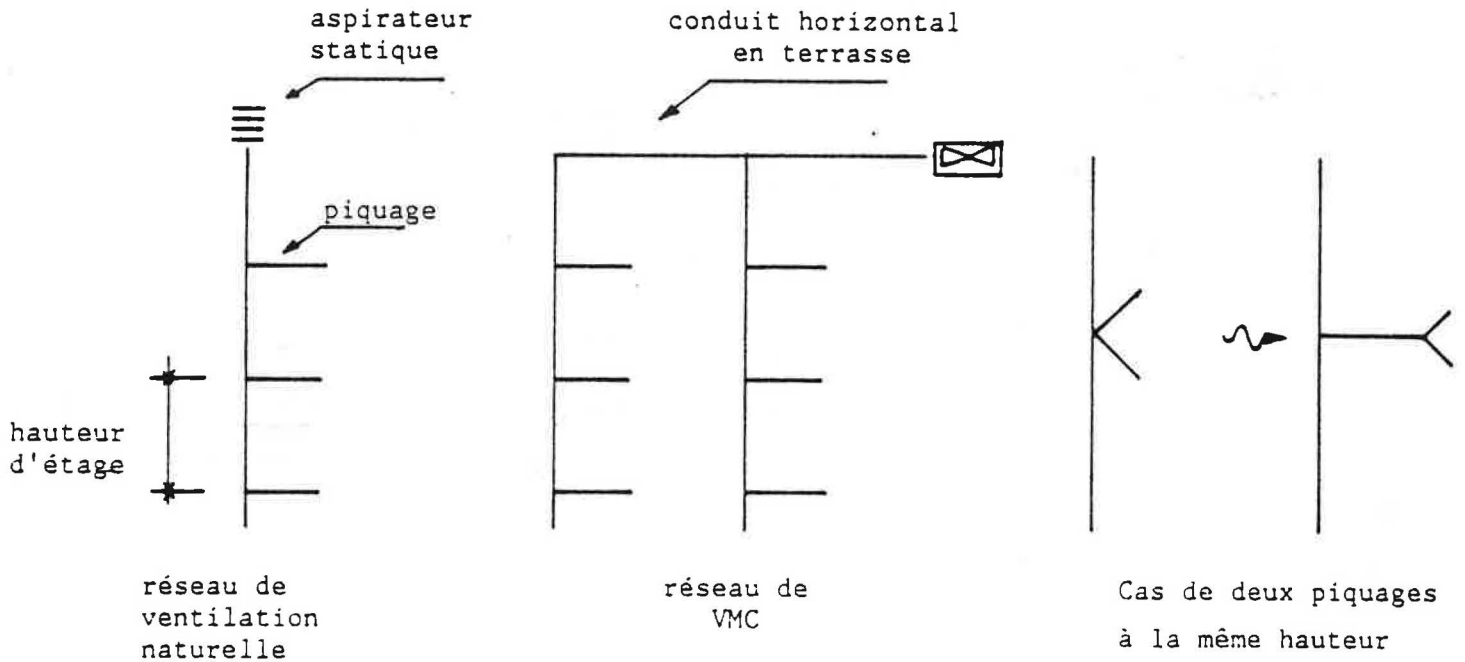


Figure 1

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).

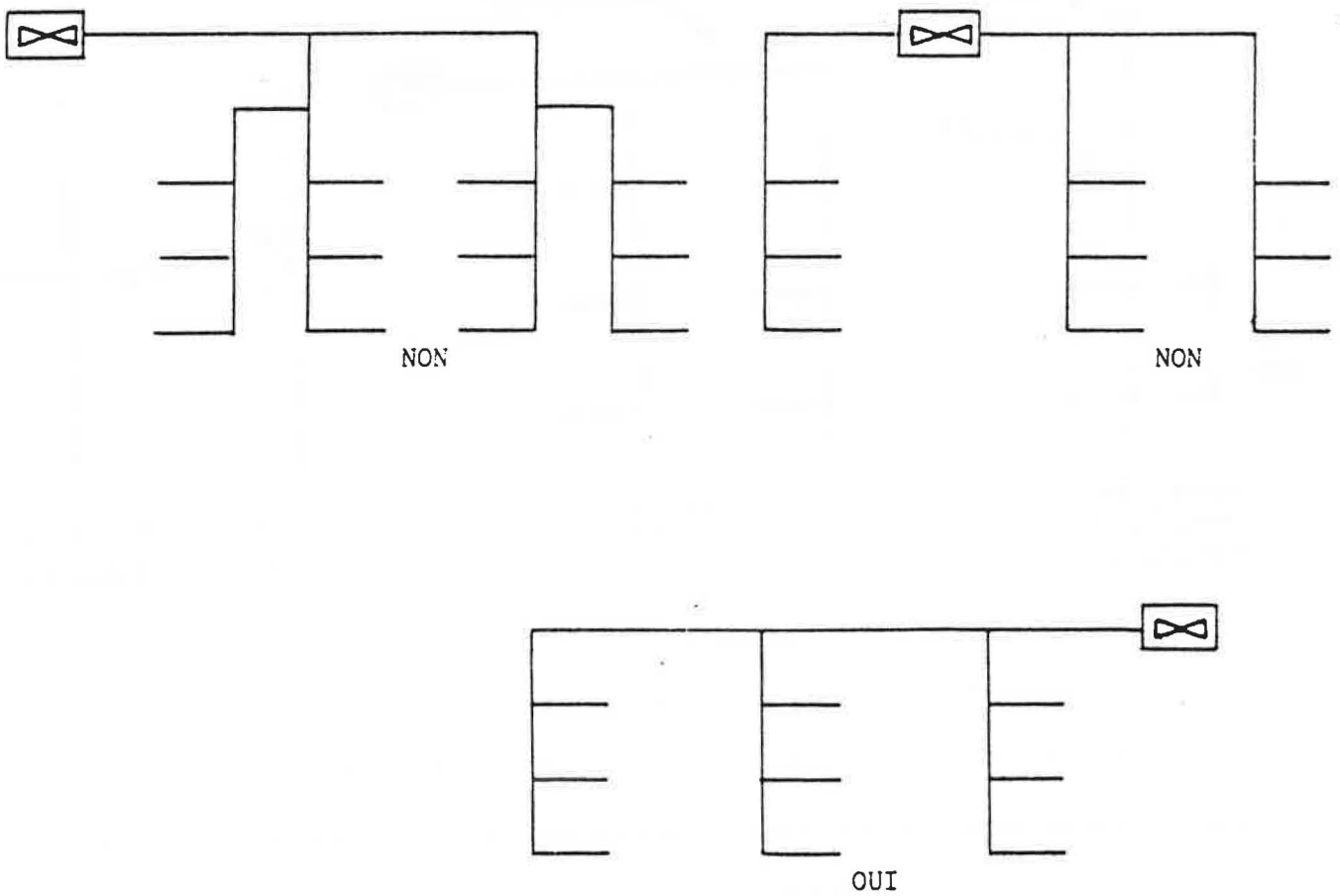


Figure 2

- 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).

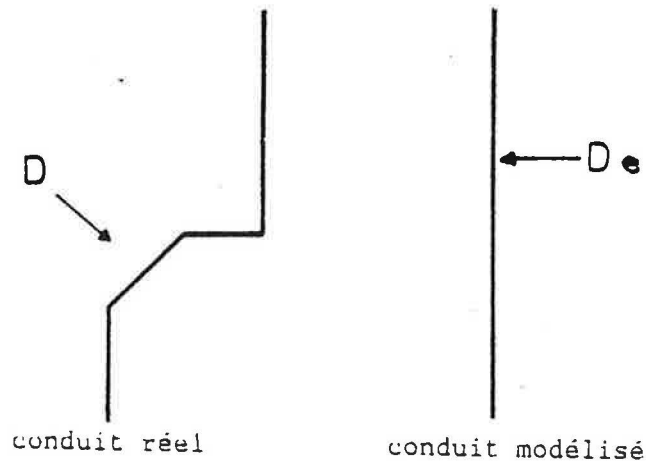


Figure 3 : Cas d'un dévoiement et/ou d'un accident dans un tronçon

3/ Sens d'écoulement

Actuellement le code GAINE 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 GAINÉ 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 U_{REF} (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 :

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

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 :

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

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.

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

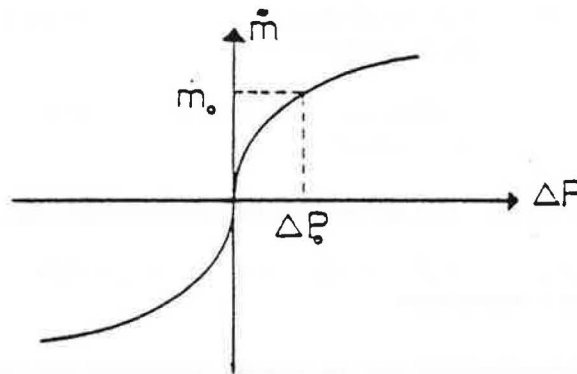


Figure 5 : Courbe débit-pression d'une bouche fixe

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) :

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

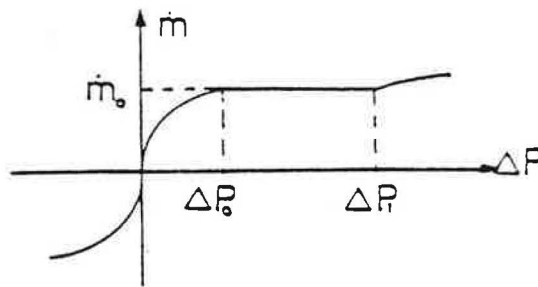


Figure 6 : Courbe débit-pression d'une bouche autoréglable

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) :

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

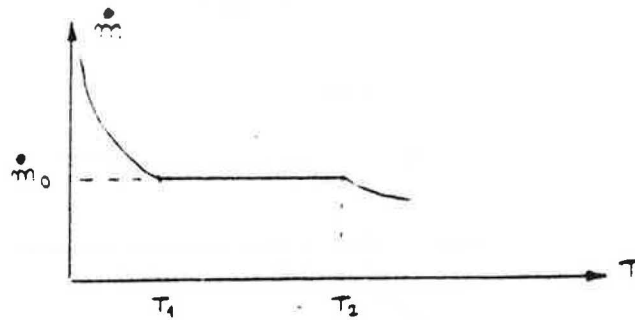


Figure 7 : Régulation du débit sur la plage $T_1 - T_2$ pour une différence de pression donnée ΔP_0

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).

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

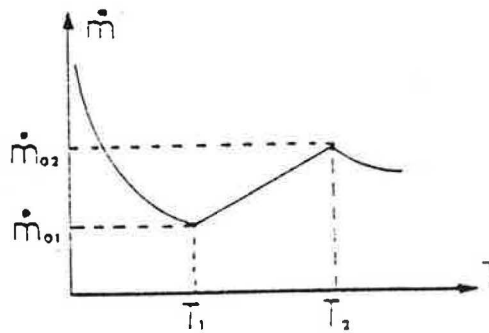


Figure 8 : Variation du débit en fonction de la température sous une différence de pression donnée ΔP_0 (bouche thermomodulante)

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 P_t étant comptée positivement, on a :

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

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)
------	------	-----------------------------------	-----

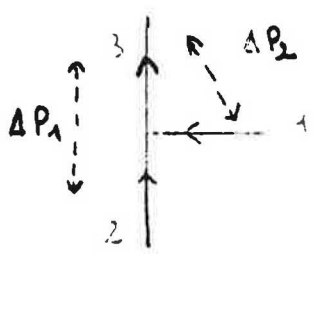
$$Re : \frac{v \times D}{\nu} = \text{nombre de Reynolds}$$

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

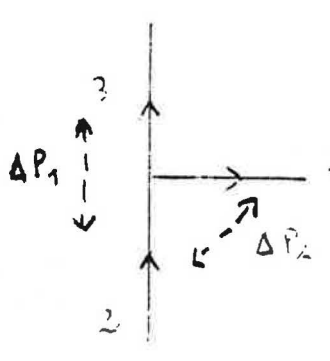
3/ Perte de charge par confluence

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 :



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



$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta P_2 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \cdot B \left[1 + \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^2 \right] \\ B = 1 \quad \text{si} \quad \frac{V_1}{V_2} \leq c, 5 \\ B = c, 4 \quad \text{si} \quad \frac{V_1}{V_2} > c, 5 \\ \Delta P_1 = \frac{1}{2} \rho_2 V_2^2 \cdot 0,4 \left(1 - \left(\frac{V_3}{V_2} \right)^2 \right)^2 \end{array} \right.$$

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) :

$$\Delta P = \frac{T}{T_c} \left(-\Delta P_x + \Delta P_c \left(\frac{\dot{m}}{\dot{m}_c} \right)^2 \right)$$

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

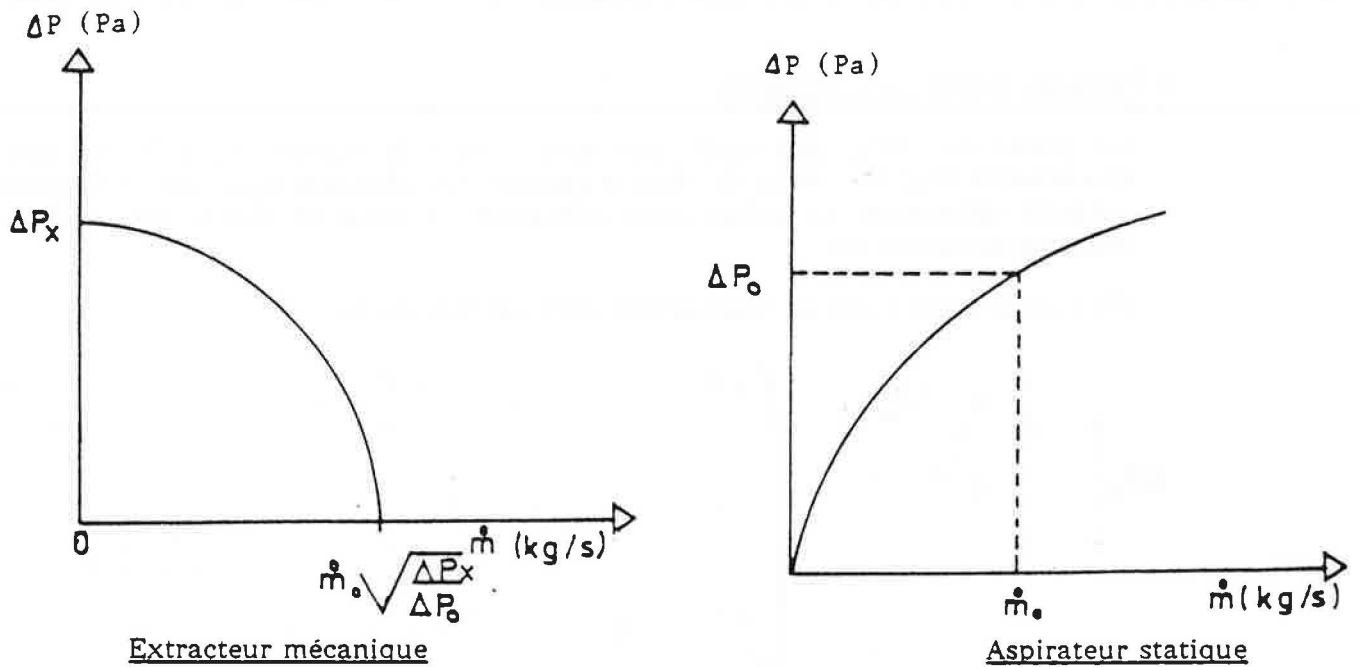


Figure 9

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 ($W/m^2 \cdot ^\circ C$) 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
$$W = \frac{\pi D}{\dot{m} C_p}$$

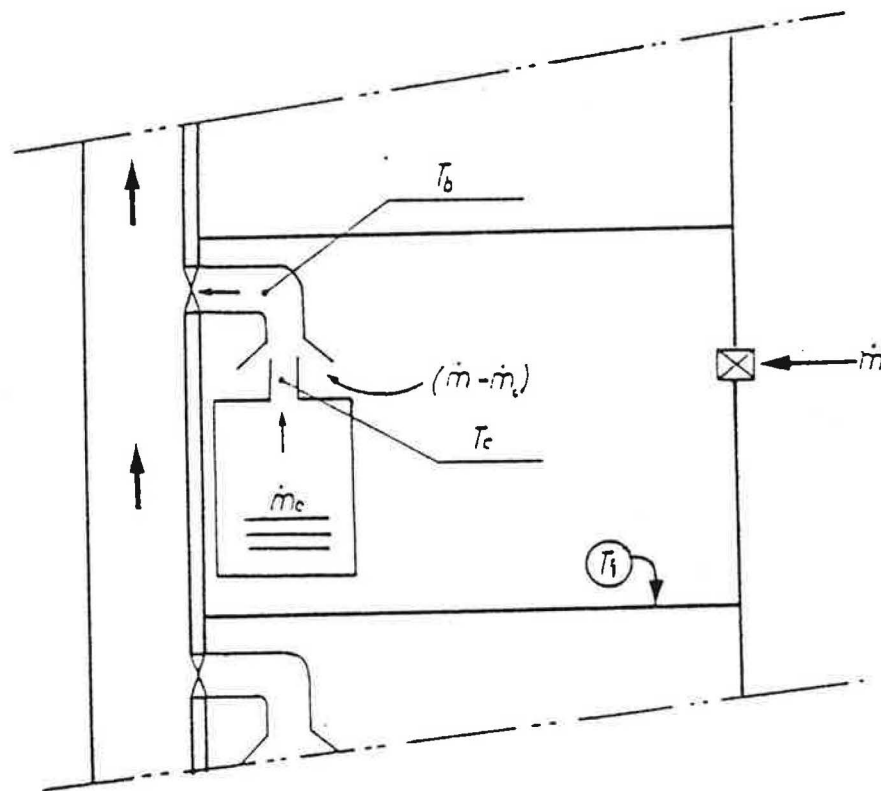
où $C_p = 1020 \text{ J/Kg} \cdot ^\circ C$ est la chaleur spécifique de l'air dans le conduit

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

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)

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

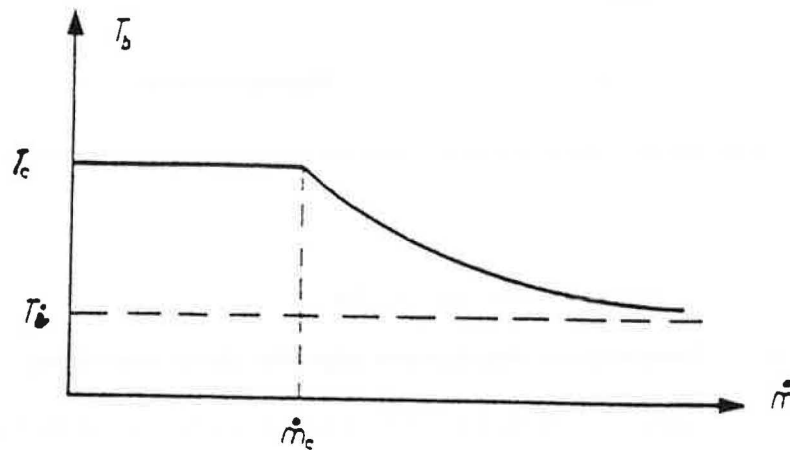
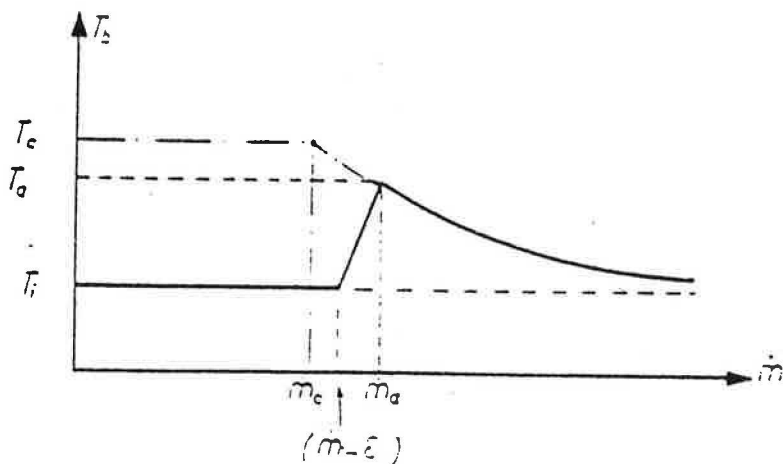


Figure 10

Chaudière sans sécurité intégrée

b) Cas où la chaudière dispose d'une sécurité intégrée

Dans ce cas lorsque le débit total aspiré chute au-dessous du débit seuil de débordement, la chaudière s'arrête de fonctionner (voir fig. 11).



$$T_b = \begin{cases} T_i & \text{si } 0 \leq \dot{m} \leq \dot{m}_a - \epsilon \\ \frac{\dot{m} - \dot{m}_a}{\epsilon} (T_a - T_i) + T_a & \text{si } \dot{m}_a - \epsilon \leq \dot{m} \leq \dot{m}_a \\ \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}} (T_c - T_i) + T_i & \text{si } \dot{m}_a < \dot{m} \end{cases}$$

avec $T_a = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}} (T_c - T_i) + T_i$

et $\epsilon = 3.33 \times 10^{-4} \text{ kg.s}^{-1}$ soit $1 \text{ m}^3.\text{h}^{-1}$ à 20°C

Figure 11

Chaudière avec sécurité intégrée.

On note que la température, T_c , des fumées dans la chaudière est supposée constante (normalement égale à 250°C).

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. On calcule alors l'écart entre 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 GAINE.

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	Pa	Pression dynamique du vent respectivement sur la face 1, 2 et en toiture 3	1
PWIND 2	Pa		1
PWIND 3	Pa		1

6.1.2 - VARIABLES RELATIVES A LA VERSION 1 DU CODE DE CALCUL GAINE (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 GAINE (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
I CHAU	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 :

$$DPEX\ 1 = DPEX\ 2 = 100\ Pa.$$

- 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	quel que soit t
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 GAINÉ 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 $20^\circ C$. Toutes les pressions, exprimées en Pa, sont corrigées par le terme $\rho_{ext} gh$.

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 TEMPERATURE 20 deg C
 * TOUTES LES PRESSIONS SONT CORRIGEEES PAR (roext*g*h)

DEBIT EXTRACTION= 452.61 m3/h

Pression (Pa)	Unité	Température (deg C)	Pression (Pa)	Unité	Debit (m3/h)
-151.29	Pa	I 1		l	
		I			DEBIT ENTREE/EXTRAIT
-134.80	Pa	I 1		l	46.62
-137.87	Pa	à--#	-22.09	Pa \$-:	90.96 m3/h
-128.47	Pa	I 1		l	44.34
		I			
-121.45	Pa	I 1		l	46.62
-120.99	Pa	à--#	-21.80	Pa \$-:	90.60 m3/h
-116.62	Pa	I 1		l	43.98
		I			
-113.77	Pa	I 1		l	46.62
-111.21	Pa	à--#	-21.63	Pa \$-:	90.39 m3/h
-110.38	Pa	I 1		l	43.77
		I			
-110.46	Pa	I 1		l	46.62
-107.25	Pa	à--#	-21.57	Pa \$-:	90.32 m3/h
-108.53	Pa	I 1		l	43.70
		I			
-110.39	Pa	I 1		l	46.62
-107.91	Pa	à--#	-21.59	Pa \$-:	90.34 m3/h
-109.87	Pa	I 1		l	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

```

9 2 0. 0. 20. !NETAGE,NC,TEXT,TTAMB,TAMB(deg c)
0. 150. 0.1E-04 !FWIND,PX,KY
0.125 0.125 0.2 0.25 !DPIQUEC(1,....,NC),DCONDC(1,....,NC)
0.35 0.35 5. 5. !TDCOND(1,....,NC),TLCOND(1,....,NC)
0 7. !IPERTE(0/1),DALPHA(W/M**2.C)
20. 20. 20. 20. 20. 20. 20. 20. !TINT(1,....NETAGE) (
3 1 3 1 3 1 3 1 !ICHAU(1,....NETAGE) )collecteur 1
F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' 'F1' !B(1,....NETAGE) (-----
20. 20. 20. 20. 20. 20. 20. 20. !
3 1 3 1 3 1 3 1 !
F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' 'F2' ! )collecteur 2
(-----

```

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

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

```

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

DEBIT COLONNE = -97.27 m3/h

Pression (Pa)	Point	Pression (Pa)	Debit (m3/h)
-123.11	I 1		
-120.39	I 1		
-120.39	E 1	-13.75 Pa	52.15 m3/h
-120.39	T 1		
-118.95	I 1		
-118.95	E 1	-11.50 Pa	52.15 m3/h
-118.95	T 1		
-118.34	I 1		
-118.34	E 1	-11.03 Pa	52.15 m3/h
-118.34	T 1		
-118.74	I 1		
-118.74	E 1	-11.44 Pa	52.15 m3/h
-118.74	T 1		
-119.90	I 1		
-119.90	E 1	-12.57 Pa	52.15 m3/h
-119.90	T 1		
-121.62	I 1		
-121.62	E 1	-14.29 Pa	52.15 m3/h
-121.62	T 1		
-123.76	I 1		
-123.76	E 1	-16.43 Pa	52.15 m3/h
-123.76	T 1		
-126.16	I 1		
-126.16	E 1	-18.34 Pa	52.15 m3/h
-126.16	T 1		

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

N	PIECE/CHAUDIERE	BOUCHE EXTR.	GAS 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 DREITS 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 = 693.89 m³/h

		(<^>)			
-125.19	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	DEBIT ENTREE CHAIE
-127.14	Pa	T	1	1	
-127.14	Pa	P	1	-1.54 Pa	50.41 m ³ /h
-127.14	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-129.92	Pa	T	1	1	
-129.92	Pa	P	1	-9.39 Pa	118.51 m ³ /h
-129.92	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-133.22	Pa	T	1	1	
-133.22	Pa	P	1	-1.72 Pa	51.66 m ³ /h
-133.22	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-137.39	Pa	T	1	1	
-137.39	Pa	P	1	-9.56 Pa	122.23 m ³ /h
-137.39	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-141.63	Pa	T	1	1	
-141.63	Pa	P	1	-1.33 Pa	53.21 m ³ /h
-141.63	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-146.89	Pa	T	1	1	
-146.89	Pa	P	1	-15.12 Pa	124.32 m ³ /h
-146.89	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-151.47	Pa	T	1	1	
-151.47	Pa	P	1	-1.96 Pa	55.02 m ³ /h
-151.47	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	
-157.77	Pa	T	1	1	
-157.77	Pa	P	1	-25.01 Pa	124.32 m ³ /h
-157.77	Pa	T	1	1	
		T	-----	-----	

.....TEMPERATURES DE L'AIR.....(deg C).....				
N	PIECE/CHAUDIERE	BOUCHE EXTR.	BAS TRONC.	HAUT TRONC.
1	20.00	36.72	56.72	65.62
2	20.00	20.00	51.62	44.30
3	20.00	36.72	61.66	55.66
4	20.00	20.00	50.34	46.59
5	20.00	37.87	57.11	53.62
6	20.00	20.00	50.35	47.77
7	20.00	39.99	55.48	52.98
8	20.00	20.00	50.61	48.61

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, 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.

SIREN 2

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).

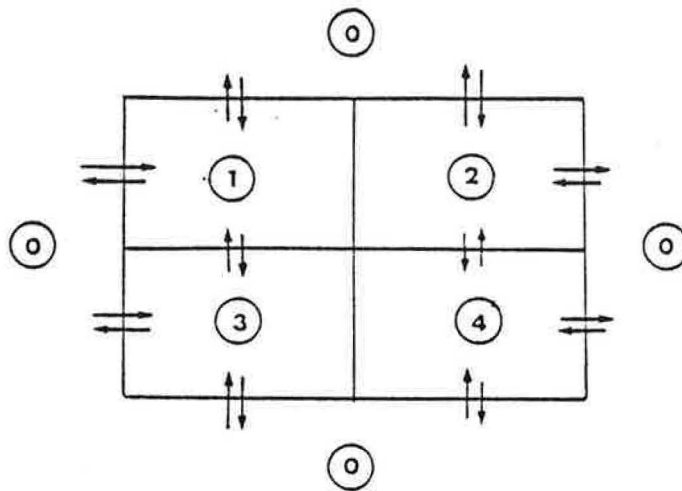


Figure 1 :

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 :

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

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.

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

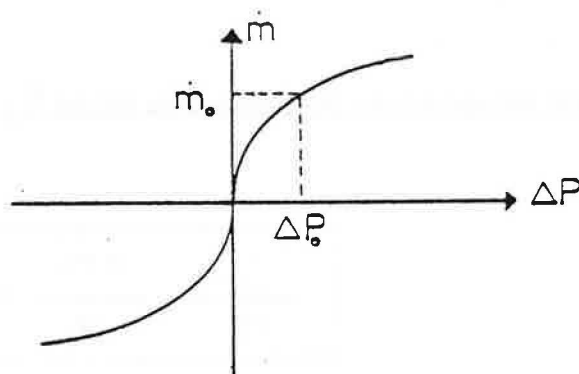


Figure 2 : Courbe débit-pression d'une bouche fixe

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) :

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

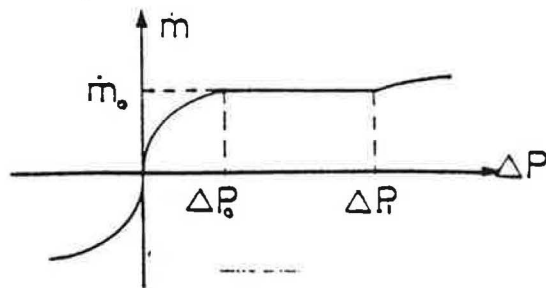


Figure 3 : Courbe débit-pression d'une bouche autoréglable

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 :

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

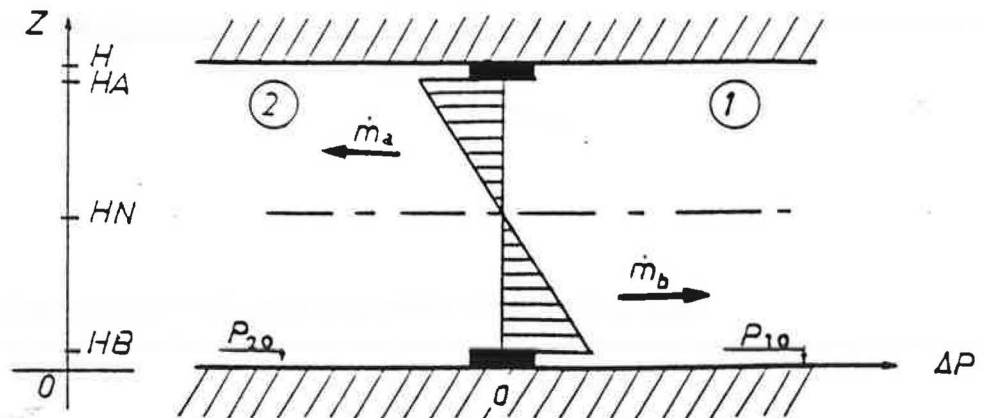
où	\dot{m}	= débit masse d'infiltration d'air	(kg/s)
	P	= perméabilité de la paroi	(m ³ /h.Pa ^{-2/3})
	ρ_{20}	= masse volumique de l'air à 20 °C	= 1.2 (kg/m ³)
	ρ	= masse volumique de l'air	(kg/m ³)
	ΔP	= différence de pression de part et d'autre de la paroi	(Pa)

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 :

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

où :

\dot{dm}	: 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 :

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

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

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

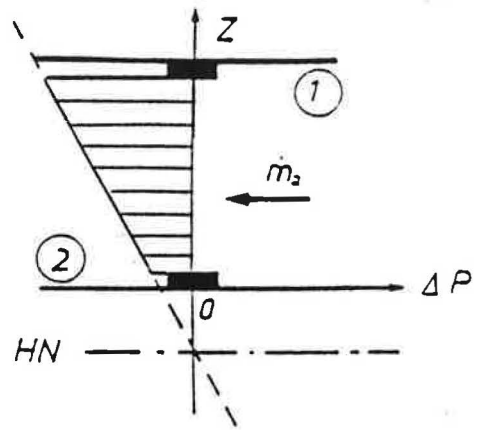
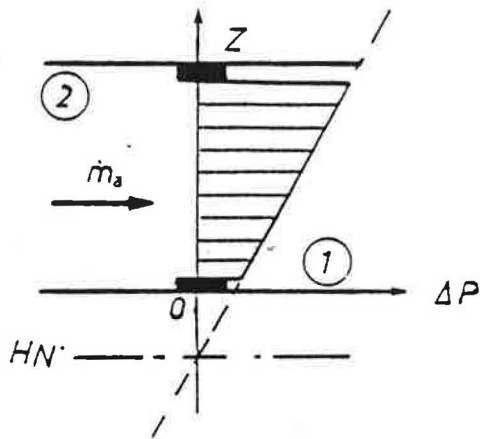
Suivant la position de la hauteur du plan neutre, HN, plusieurs cas de figure peuvent se présenter :

. Premier cas : $HN < HB$

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

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

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

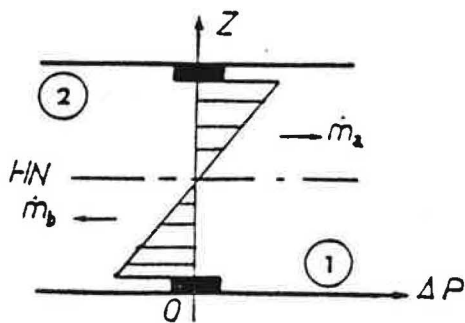


. Deuxième cas : $HB \ll HN \ll HA$

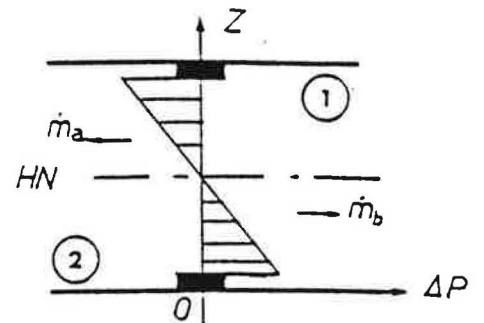
Le sens de l'écoulement s'inverse de part et d'autre du plan neutre :

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

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



$$\underline{T_2 > T_1}$$



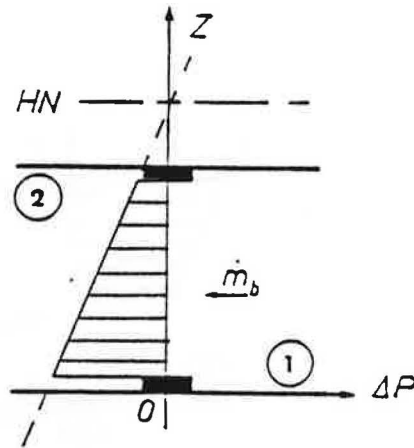
$$\underline{T_2 < T_1}$$

Troisième cas : $HN > HA$

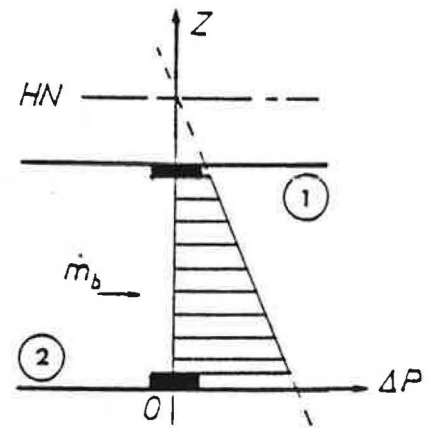
Ce cas est similaire au premier cas :

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

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



$$T_2 > T_1$$



$$T_2 < T_1$$

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'IDEL'CICK [9] au présent modèle.

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

$$a_0 = 0,68 \qquad a_1 = 1,66 \qquad a_2 = -5,62.$$

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

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

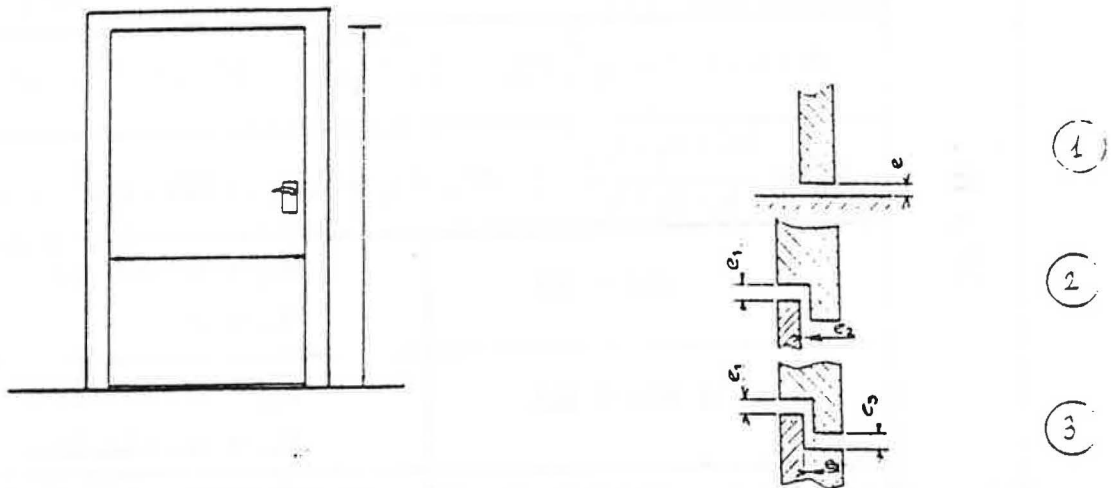


Figure 4

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 :

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

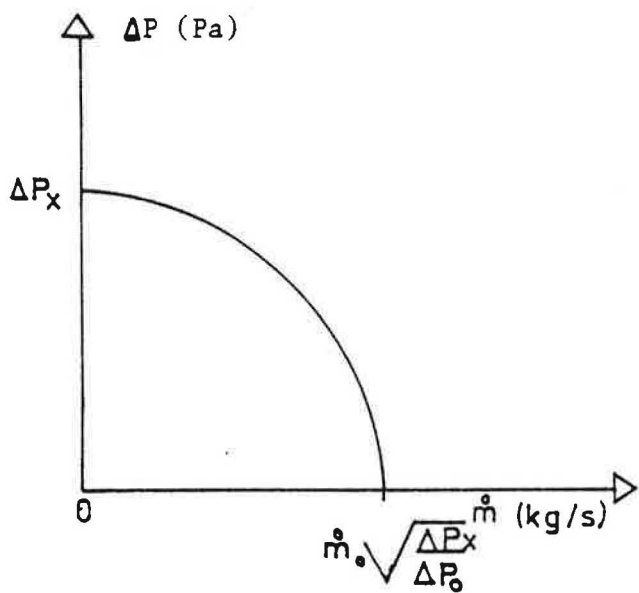
ce qui suppose l'écoulement turbulent.

4.11 - Ventilateurs et aspirateurs statiques

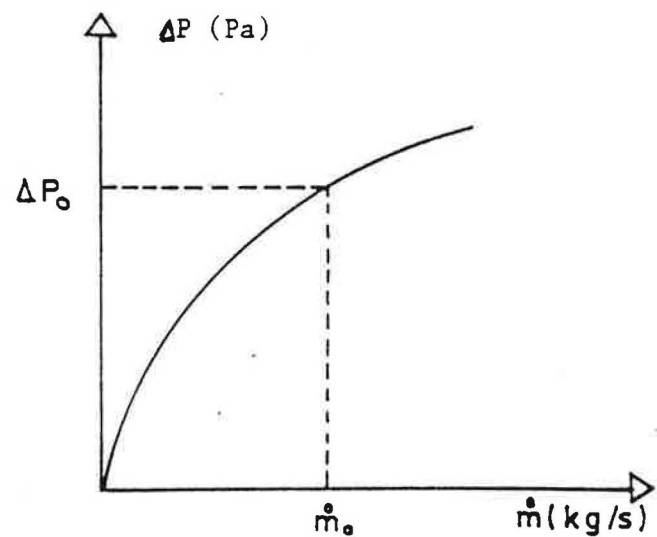
On retient une forme quadratique pour caractériser aussi bien les ventilateurs que les aspirateurs statiques (voir figure 5) :

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

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



Extracteur mécanique

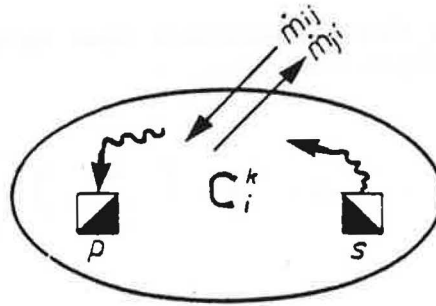


Aspirateur statique

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 :

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

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)
$\dot{m}_{s_i}^k$: source débit masse de production de polluant k dans la zone i	(kg/s)
$\dot{m}_{p_i}^k$: 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 - FICHIER 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 :

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

- . 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

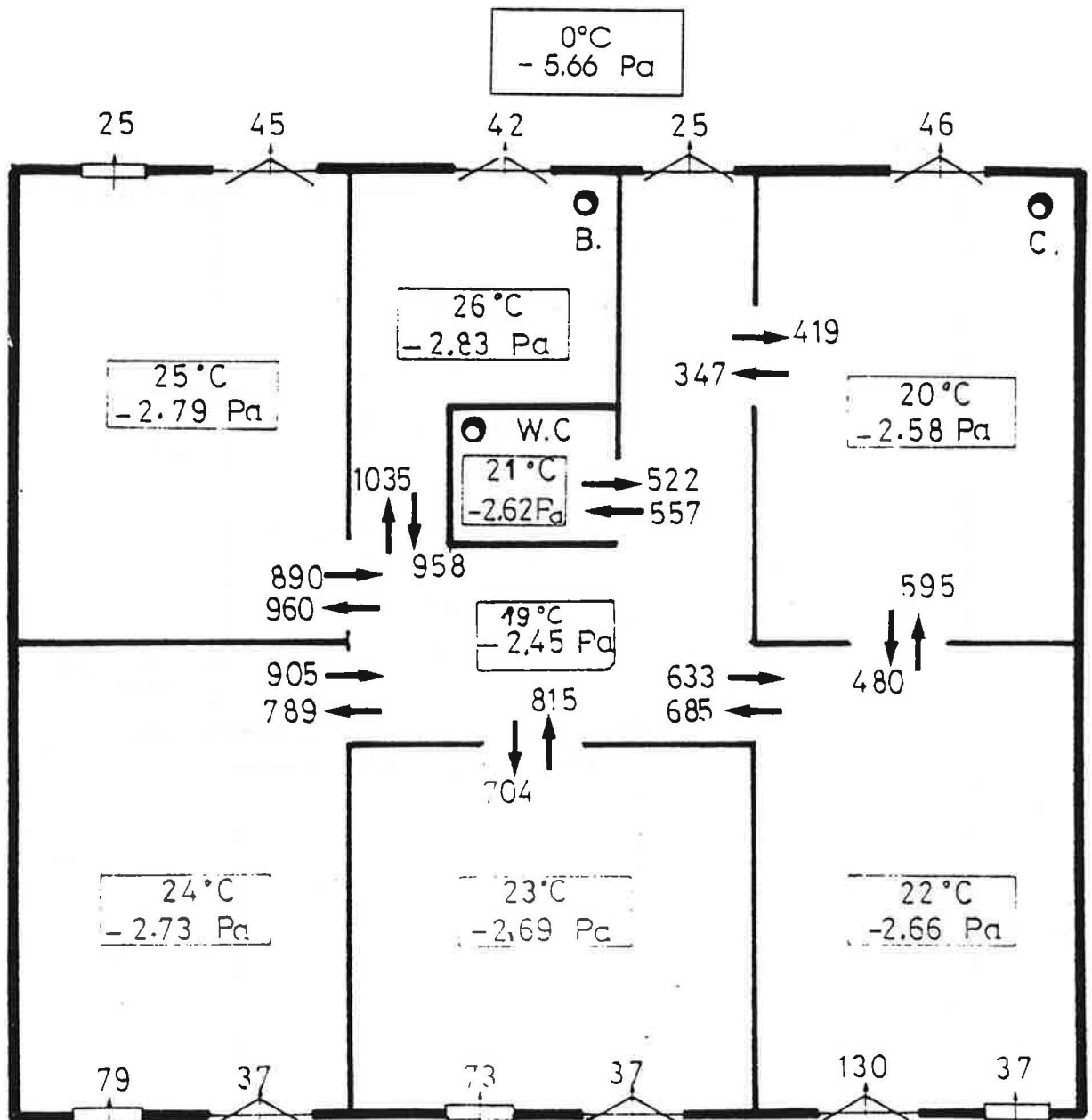
. Premier cas : Système d'extraction mécanique simple flux :

- 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.



<u>C.</u>	Débit extrait en cuisine	= 139 kg/h
<u>B.</u>	Débit extrait en S.deB.	= 35 kg/h
<u>W.</u>	Débit extrait en W.C.	= 35 kg/h.

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.

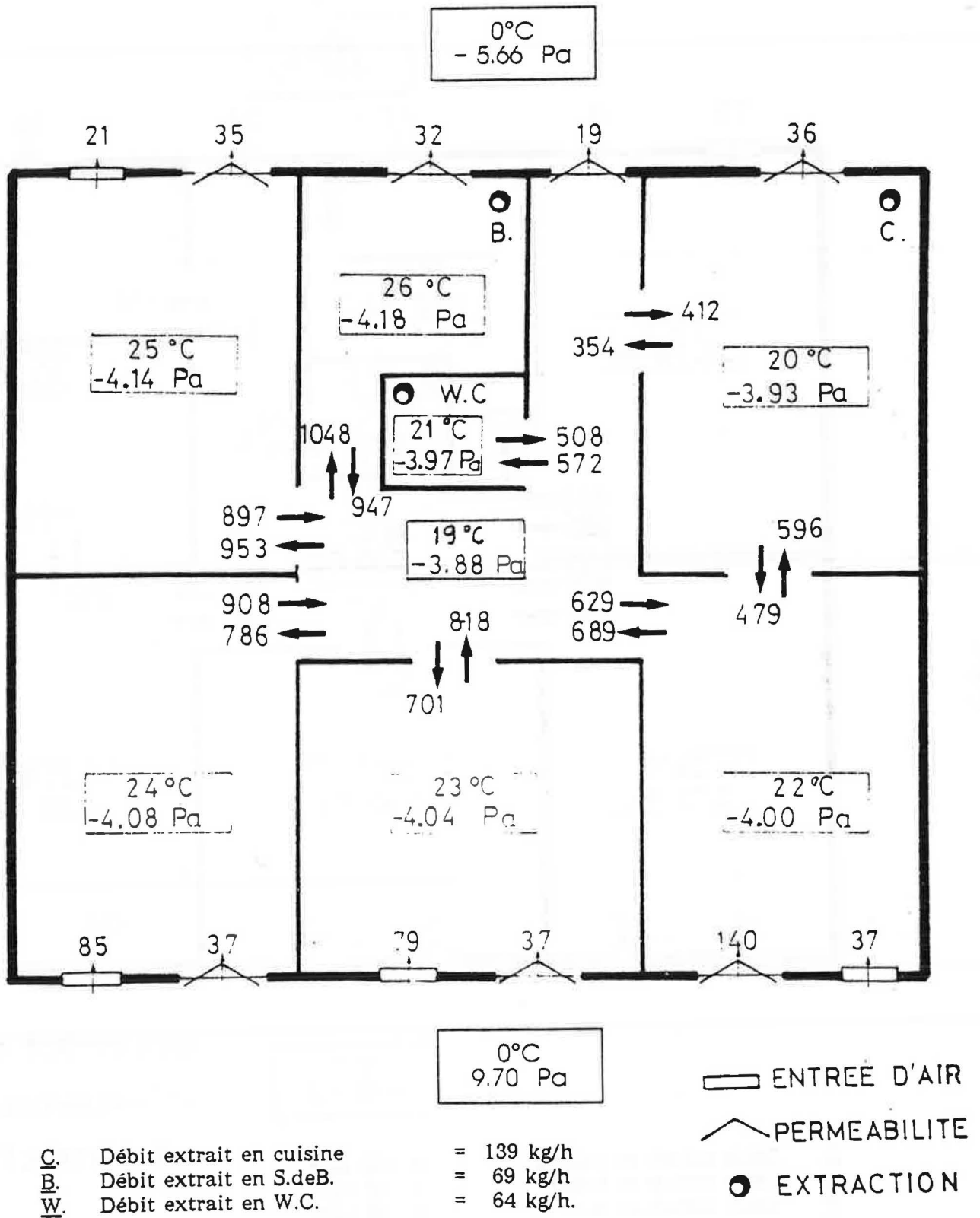


Figure 7

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.

