

5016

GEC n° 88-4457
JR/JT-20/07/1988

**DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE VENTILATION NATURELLE
EN MAISON INDIVIDUELLE**

Etude effectuée à la demande de
L'AGENCE FRANCAISE POUR LA MAITRISE DE L'ENERGIE

Service Génie Energétique et Climatique
Division Ventilation et Qualité de l'Air
Juillet 1988

J. RIBERON - Redwan MOUNAJED



CENTRE DE RECHERCHE DE MARNE LA VALLEE

SERVICE GÉNIE ÉNERGÉTIQUE ET CLIMATIQUE

DIMENSIONNEMENT DES INSTALLATIONS DE VENTILATION NATURELLE
EN MAISON INDIVIDUELLE

NATURAL VENTILATION SYSTEMS' SIZING
IN SINGLE-FAMILY DWELLINGS

Jacques RIBERON - Redwan MOUNAJED

Juillet 1988

Rapport rendant compte de travaux
financés avec l'aide de l'A.F.M.E.

Fiche GEA-3

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DU BATIMENT

84, AVENUE JEAN JAURES - CHAMPS SUR MARNE - B.P. 02 - 77421 MARNE-LA-VALLEE Cedex 2 - Tél (6) 005 90 58 - Télex 600282 F

S O M M A I R E

	<u>Page</u>
RESUME	2
1 - OBJET	3
2 - CODE DE CALCUL	3
2.1 - Modélisation du logement	3
2.2 - Modélisation du réseau de ventilation	4
2.2.1 - Grille	4
2.2.2 - Conduit	5
2.2.3 - Débouché en toiture	6
2.3 - Algorithme de résolution	7
2.4 - Champ de pression du vent	7
2.5 - Données météorologiques	8
2.6 - Autres données d'entrée	9
2.7 - Résultats	12
3 - RECHERCHE D' UN DIMENSIONNEMENT ADAPTE	12
3.1 - Données d'entrée	13
3.2 - Solutions permettant d'obtenir le débit réglementaire quelle que soit la perméabilité à l'air du logement	14
3.3 - Dimensionnements proposés	16
3.3.1 - Méthodologie	16
3.3.2 - Résultats	16
3.3.3 - Analyse	20
4 - AXES FUTURS DE RECHERCHE	22
4.1 - Amélioration des connaissances	22
4.2 - Exploitation des codes de calcul	24
5 - CONCLUSIONS	26
ANNEXE 1 : Hypothèses concernant les champs moyens de pression et de vitesse dans un pavillon de type courant	29
ANNEXE 2 : fichiers météorologiques	33
ANNEXE 3 : Conduits de ventilation utilisés en habitat individuel - dimensions usuelles	43
ANNEXE 4 : Hypothèses concernant l'affectation des entrées d'air et de la perméabilité du logement aux différents conduits d'extraction	44

ANNEXE 5 : Pertes de charge utiles pour le calcul des installations de ventilation naturelle	46
ANNEXE 6 : Perte de charge des dévoiements	47
ANNEXE 7 : Code de calcul MULTIGAINÉ	50
ANNEXE 8 : Hauteur équivalente des entrées d'air dans le cas d'une maison à deux niveaux.....	53
ANNEXE 9 : Cas des chaudières à gaz raccordées	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	61

Mots clés : Ventilation naturelle. Modélisation. Dimensionnement. Maison individuelle. Réglementation. Réseau. Déperditions. Vent. Perméabilité.

RESUME

Le code de calcul GAINÉ a été utilisé pour simuler le fonctionnement des installations de ventilation naturelle en maison individuelle avec pour objectif, l'élaboration de règles de dimensionnement des différents composants du système de ventilation, basées sur le respect de certaines exigences (débits réglementaires, limitations des déperditions, ...).

Après une présentation du modèle de simulation et d'une méthode de recherche des dimensionnements les plus appropriés, on expose et analyse les résultats obtenus pour le climat de TRAPPES.

On présente enfin les axes futurs de recherche qui se dégagent de cette étude. Pour cela, on énumère les points sur lesquels il y a lieu d'améliorer les connaissances, et on définit les expérimentations qu'il conviendrait de mener tant en laboratoire que sur site.

Keywords : Natural ventilation. Numerical model. Design. Single-family dwelling. Regulation. Ventilation unit. Heat loss. Wind. Leakiness.

SUMMARY

A computer program, called GAINÉ, has been used for the modelling of natural ventilation systems with vertical shafts in single-family dwellings. The purpose is to develop dimensioning rules of ventilation system that meet some requirements (required air flow rates, limited heat losses, ...).

The computer model and the method used to find the most suitable dimensioning are first presented. Results obtained using meteorological data of TRAPPES are discussed.

The main lines of future researchs are derived from this work. The results are discussed with special attention given to points which need more theoretical or experimental work in order to ascertain the conclusions.

1 - OBJET

Les installations de ventilation naturelle doivent pouvoir assurer un renouvellement d'air suffisant sans toutefois conduire à des déperditions excessives.

La présente étude a pour objet, en s'appuyant sur un code de calcul des débits d'air, de définir des solutions permettant de satisfaire au mieux ces exigences. L'étude a été menée en considérant certaines hypothèses simplificatrices ou restrictives qui limitent le domaine de validité des solutions proposées.

2 - CODE DE CALCUL

Un code de calcul spécifique a été élaboré. Ce code, dérivé du code de calcul GAINÉ (1), détermine, en régime permanent, les débits de ventilation ainsi que les déperditions par renouvellement d'air sur la saison de chauffage pour une installation de ventilation et des conditions climatiques données.

Il prend en compte les deux effets moteurs de la ventilation naturelle que sont l'effet du vent et le tirage thermique.

2.1 - Modélisation du logement

L'objet de la recherche étant le dimensionnement des réseaux de ventilation, on s'intéresse au cas simple où le logement est monozone (ce qui ne restreint pas le domaine d'application du programme dans la mesure où les pertes de charge des portes intérieures du logement peuvent être agrégées, selon le cas, à celles du conduit de ventilation ou à celles des entrées d'air).

On admet que les entrées d'air et les défauts d'étanchéité de l'enveloppe du logement sont concentrés sur deux façades en opposition et sont situés au même niveau de référence que la grille d'extraction.

Chacune de ces deux façades est équipée d'entrées d'air autoréglables. En dehors de la plage de régulation, supposée comprise entre 10 et 100 Pa, le débit de l'entrée d'air suit une loi de la forme $q = k \sqrt{\Delta P}$.

On suppose que le débit d'infiltration d'air à travers les défauts d'étanchéité de la construction suit une loi de la forme

$$q = P \Delta P^{2/3}$$

2.2 - Modélisation du réseau de ventilation

Le réseau de ventilation comprend une grille d'extraction, un conduit vertical de section circulaire et éventuellement un aspirateur statique au débouché du conduit :

2.2.1 - Grille

La caractéristique aéraulique de la grille peut se formuler ainsi :

$$q = A \sqrt{\frac{2 \Delta P}{\xi \rho}}$$

q = débit traversant la grille,

A = section hors tout de la grille,

ΔP = différence de pression de part et d'autre de la grille,

ρ = masse volumique de l'air à 20°C prise égale à 1,2 kg/m³,

ξ = coefficient de perte de charge de la grille,

ces grandeurs étant exprimées dans le système M. K. S.

Application pratique - cas des grilles dites à larges mailles.

Dans le cas des grilles à larges mailles, on peut retenir (2) une valeur du coefficient ξ égale à 3,8. Cette valeur, qui correspond à une section libre de grille égale à 85 % de la section hors tout, conduit à la relation :

$$q = 0,24 \cdot A \cdot \sqrt{\Delta P},$$

dans laquelle q est exprimé en m³/h, A en cm² et ΔP en Pa.

2. 2. 2 - Conduit222. 1 - Pertes de charge

La perte de charge ΔP à travers le conduit de ventilation a pour expression :

$$\Delta P = \Lambda \frac{L}{\emptyset} \cdot x \frac{1}{2} \cdot x \rho V^2$$

V = vitesse de l'air dans le conduit (m/s)

L = longueur du conduit (m)

\emptyset = diamètre du conduit (m)

ρ = masse volumique de l'air (kg/m³)

Λ = coefficient de perte de charge linéaire.

Le coefficient de perte de charge Λ est déterminé par résolution de la formule implicite de COLEBROOK ; pour ce calcul, on tient compte de la variation des caractéristiques physiques de l'air (masse volumique ρ et viscosité dynamique μ) selon la température t (loi des gaz parfaits, et formulé de SUTHERLAND) :

$$\rho = 1, 2 \cdot \frac{293}{273 + t}$$

$$\mu = 18, 2 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{406}{386 + t} \cdot \left(\frac{273 + t}{293} \right)^{1, 5}$$

Dans le cas de conduits rectangulaires de section a x b, on retient le diamètre équivalent :

$$\emptyset_{eq} = 1, 3 \cdot \frac{(a \cdot b)^{0, 625}}{(a+b)^{0, 25}}$$

Enfin, la perte de charge singulière correspondant au changement de direction de l'écoulement en aval de la grille, lorsque celle-ci est verticale, est calculée en utilisant les équations donnant la perte de charge dans les confluences (3).

222. 2 - Déperditions thermiques

Les déperditions thermiques du conduit de ventilation affectent le tirage thermique, aussi sont-elles prises en compte dans le code de calcul. On admet, en première approche, que le conduit est placé dans un environnement à température égale à la moyenne des températures intérieure et extérieure et que son coefficient de transmission surfacique est constant et égal à $7 \text{ W/m}^2 \cdot \text{C}$.

2. 2. 3 - Débouché en toiture

Le débit d'air traversant le débouché de conduit en toiture dépend de la vitesse locale du vent et de la différence de pression de part et d'autre du débouché.

On montre, par application du théorème de VASCHY-BUCKINGHAM, que le comportement aéraulique d'un débouché de toiture est, pour une orientation de vent donnée, décrit par une relation entre deux nombres adimensionnels ξ et η . Sur la base d'essais en soufflerie, M.A. GONZALEZ (4) a proposé la relation suivante :

$$\xi = \frac{\eta}{A} + C + B\eta^n \quad (1)$$

$$\xi = \frac{\Delta P}{P_d \text{ ext}} \quad \eta = \frac{P_d \text{ int}}{P_d \text{ ext}}$$

ΔP = Différence entre la pression totale dans le conduit à l'amont du débouché en toiture et la pression statique à l'aval de celui-ci.

$P_d \text{ ext}$ = Pression dynamique locale du vent dans l'écoulement d'air non perturbé au voisinage du débouché.

$P_d \text{ int}$ = Pression dynamique de l'air à l'intérieur du conduit.

A est un coefficient rendant compte de la perte de charge PAR VENT NUL

C est le coefficient de dépression ; ce coefficient rend compte de l'effet de succion du vent lorsque le débit est nul

B_{η}^n est un terme correctif traduisant l'interaction entre ces deux effets. Les résultats de GONZALEZ ont montré que ce terme ne devait pas être négligé, ce qui pose problème dans la mesure où on dispose rarement de résultats d'essai complets sur les appareils du commerce. Faute d'informations suffisantes, on n'a donc pas, dans cette présente étude, effectué de correction. Après changement de variables, la relation (1) se ramène alors à :

$$\Delta P = \frac{\rho_{\text{int}}}{1,2} \times \left(\frac{Q}{Q_{\text{as}}} \right)^2 - C \cdot P_{\text{dext}}$$

Q = débit d'air dans le conduit (m^3/h)

Q_{as} = débit d'air à 20°C traversant par vent nul l'aspirateur statique sous une différence de pression de 1 Pa (m^3/h)

ρ_{int} = masse volumique de l'air à l'intérieur du conduit.

2.3 - Algorithme de résolution

L'algorithme utilisé est particulièrement simple puisque la seule inconnue du problème est la pression à l'intérieur du logement.

On utilise le sous-programme ZBRENT de la bibliothèque IMSL (5) ; le critère de convergence, pris égal à 10^{-5} Pa, est généralement atteint à l'issue d'une dizaine d'itérations.

2.4 - Champ de pression du vent

On retient des coefficients de pression obtenus par moyenne spatio-temporelle de résultats d'essais en soufflerie portant sur une maison avec une toiture inclinée de $22,5^\circ$ (6).

On admet que la pression exercée par le vent sur une façade est uniforme et ne dépend que de l'incidence du vent.

Les valeurs des coefficients de pression exercés sur les façades 1 et 2 ainsi qu'en toiture sont données au tableau 1 de l'annexe 1 pour différentes valeurs de l'angle d'incidence i entre la direction du vent et la normale à la façade 1.

2.5 - Données météorologiques

On dispose de 9 fichiers de données relatifs aux stations météorologiques suivantes : Agen, Carpentras, La Rochelle, Limoges, Mâcon, Nancy, Nice, Trappes, Rennes.

Chaque fichier comprend des valeurs trihoraires de température d'air extérieur t_e (en $1/10^\circ\text{C}$), de vitesse de vent $U_{\text{météo}}$ (en m/s) et de direction de vent ICV (en rose de 36 directions) correspondant à une année reconstituée à l'aide du logiciel CLIMAT, conçu et développé par la Division Climatologie du CSTB (7). Des journées types ont été constituées par analyse statistique d'observations portant sur 15 années.

Afin d'obtenir une bonne représentation des phénomènes observés durant 15 ans, la distribution des températures et des vitesses a été limitée aux valeurs situées autour de la moyenne avec une dispersion égale à un demi écart-type. De plus, les variations trihoraires des données météorologiques respectent les auto-corrélations et inter-corrélations calculées également sur 15 ans.

Un traitement préalable de ces données a été effectué afin d'en réduire leur nombre en entrée dans le code de calcul.

C'est ainsi que les températures ont été discrétisées par classes d'amplitude 2°C en ne considérant que les températures inférieures ou égales à la température de non chauffage qui a été prise égale à 13°C . On a alors 5 à 10 classes de température extérieure comprises respectivement entre 4°C et 12°C à Nice et -6°C et 12°C à Nancy.

De même, on a ramené la rose des vents à 8 directions de la manière suivante :

- Nord regroupe 5 directions du vent (34-35-0-1-2)
- Nord-Est regroupe 4 directions du vent (3-4-5-6)
- Est regroupe 5 directions du vent (7-8-9-10-11)
- Sud-Est regroupe 4 directions du vent (12-13-14-15)
- Sud regroupe 5 directions du vent (16-17-18-19-20)
- Sud-Ouest regroupe 4 directions du vent (21-22-23-24)
- Ouest regroupe 5 directions du vent (25-26-27-28-29)
- Nord-Ouest regroupe 4 directions du vent (30-31-32-33)

Enfin, les vitesses de vent ont été discrétisées par classes d'étendue 1 m/s, ce qui conduit, à titre d'exemple, à 17 classes pour CARPENTRAS, mais 9 pour RENNES.

On présente, en annexe 2, les fréquences d'occurrences sur la saison de chauffage des températures extérieures, vitesses et orientations du vent.

2.6 - Autres données d'entrée

Les autres données d'entrée du code de calcul sont :

. Orientation du logement

La donnée d'entrée est l'orientation ICB de la façade 1 du pavillon. La valeur de ce paramètre varie de 0° à 315° par pas de 45°.

La différence entre les angles ICB et ICV est égale à l'incidence i du vent sur la façade 1 qui conditionne les valeurs des coefficients de pression.

. Caractéristique du site :

L'environnement géographique du pavillon est caractérisé (cf annexe 1) par la valeur :

$$\beta = \frac{U_{\text{ref}}}{U_{\text{météo}}}$$

. Température intérieure du logement : t_i (°C)

. Rugosité du conduit : k (m)

. Perméabilité à l'air de l'enveloppe : P (m³/h)

La perméabilité P est égale au débit d'air pénétrant par les défauts d'étanchéité du logement lorsque la différence de pression est 1 Pa.

. Longueur du conduit de ventilation : L (m)

. Diamètre du conduit de ventilation : \emptyset (m)

. Débit type total des entrées d'air : Q_e (m³/h)

. Coefficient de dépression de l'aspirateur statique : C (-)

. Section équivalente de la grille : A_e (cm²).

Afin de réduire le nombre de calculs à effectuer, on a agrégé la perte de charge du débouché du conduit à celle de la grille de ventilation en définissant une section équivalente de grille, A_e , donnée par la relation :

$$A_e = \frac{A \cdot Q_{AS}}{\sqrt{Q_{AS}^2 + (0,24 \cdot A)^2}}$$

Dans laquelle A est la section de grille exprimée en cm^2 et Q_{AS} le débit exprimé en m^3/h traversant, par vent nul et pour une différence de pression de 1 Pa, l'aspirateur statique. Cette façon de faire permet de réduire le volume des calculs en ne faisant varier qu'un seul paramètre (A_e) au lieu de deux (A et Q_{AS}). Hormis un léger effet induit sur le calcul de la perte de charge du coude en aval de la grille lorsque celle-ci est verticale, elle ne nuit pas à l'exactitude des calculs.

D'un point de vue pratique, le tableau 1 permet, connaissant la section A_e , d'en déduire des valeurs du couple (A, Q_{AS}) conduisant à la même perte de charge.

A grille (cm ²) Q _{AS} m ³ /h	40	50	60	75	100	125	150	200	250	300	400	500	600
15 m ³ /h	34	39	43	48	53	56	58	60	61	61	62	62	62
30 m ³ /h	38	46	54	64	78	88	96	106	112	115	119	121	122
60 m ³ /h	40	49	58	72	93	119	127	156	173	192	212	224	231
90 m ³ /h	40	50	59	74	97	119	139	176	208	234	274	300	318
105 m ³ /h	40	50	59	74	98	120	142	182	217	247	295	329	354
120 m ³ /h	40	50	60	74	98	121	144	186	224	257	312	354	384
135 m ³ /h	40	50	60	74	98	122	145	188	228	265	326	374	410
150 m ³ /h	40	50	60	75	99	123	146	191	232	271	337	390	432
180 m ³ /h	40	50	60	75	99	123	147	193	237	279	353	416	469
210 m ³ /h	40	50	60	75	99	124	148	195	240	284	364	434	495
240 m ³ /h	40	50	60	75	100	124	148	196	243	287	371	447	514
270 m ³ /h	40	50	60	75	100	124	149	197	244	290	377	457	529

Tableau 1

Valeurs de la section équivalente A_e , exprimée en cm², correspondant à une grille de section A et un aspirateur statique de débit Q_{AS} .

2.7 - Résultats

Les résultats sont exprimés de façon, pour chacun des dimensionnements considérés, à pouvoir évaluer les déperditions par renouvellement d'air ainsi que les débits extraits et leur dispersion.

- a) Débit spécifique moyen de ventilation : Q_m (m^3/h).
La valeur de ce débit est la moyenne des valeurs positives des débits spécifiques sur la saison de chauffage. Elle n'intègre donc pas les cas éventuels de refoulement dans le conduit de ventilation.
- b) Indice de dispersion du débit spécifique : f (%).
Cet indice, qui vient en complément du débit moyen extrait, Q_m exprime la dispersion des débits au cours du temps. Sa définition est la suivante : fraction de la saison de chauffage durant laquelle le débit extrait est inférieur aux deux tiers du débit moyen. Une installation assurera donc des débits d'autant plus réguliers que la valeur de f est faible. Il peut être complété par un histogramme en fréquence des débits extraits sur la saison de chauffage.
- c) Nombre d'heures de refoulement : N_R (h)
- d) Déperditions par renouvellement d'air : D (kWh)
- e) Indice énergétique : r (%)

Sa définition est la suivante : ratio entre les déperditions par renouvellement d'air spécifique dans l'hypothèse où le débit extrait serait constamment égal à Q_m , soit : $0,34 \cdot Q_m \cdot DH_{13}^{(**)}$ et les déperditions totales par renouvellement d'air, D .

Une installation de ventilation est d'autant plus efficace que la valeur de l'indice r est élevée.

On notera que cet indice est normalement inférieur à l'unité en raison de la présence d'un renouvellement d'air transversal mais également parce que, en ventilation naturelle, le tirage thermique est plus important en hiver.

3 - RECHERCHE D'UN DIMENSIONNEMENT ADAPTE

De nombreuses simulations ont été effectuées en affectant différentes valeurs aux données d'entrée de façon à rechercher les meilleurs dimensionnements, c'est à dire, ceux qui permettent d'obtenir les débits réglementaires tout en conduisant (cf § 2.7) à des valeurs satisfaisantes des différents indices f , r et N_R .

(**) Les degrés-heures DH sont calculés sur la base de la température intérieure t_i , la température extérieure étant inférieure à $13^\circ C$.

3.1 - Données d'entrée

- On a considéré le cas d'un pavillon de quatre pièces principales avec trois pièces de service pour lequel, rappelons-le, les débits réglementaires sont les suivants :

Cuisine : 45-120 m³/h
 W.C. : 15 m³/h
 Salle d'eau : 30 m³/h.

- Données météorologiques : TRAPPES, pavillon en double exposition (Sud-Nord) situé en "zone rurale, bocage" (cf Annexe 1)
- Température intérieure : 19°C
- Rugosité du conduit : 1mm
- On a considéré deux niveaux de perméabilité à l'air du logement, correspondant, l'un aux meilleures valeurs de perméabilité mesurées sur site, l'autre à une valeur représentative des constructions courantes

$$P = 40 \text{ m}^3/\text{h sous } 1 \text{ Pa}$$

$$\text{et } P = 100 \text{ m}^3/\text{h sous } 1 \text{ Pa.}$$

- Entrées d'air :

On a considéré des entrées d'air présentant au total un débit type sous 10 Pa de 120 m³/h, 150 m³/h, 180 m³/h, ou bien 240 m³/h

- Conduit de ventilation et grilles.

On a considéré six longueurs comprises entre 2 et 5 m, treize diamètres compris entre 80 mm et 220 mm (les dimensions de conduit ordinairement utilisées dans l'habitat individuel sont présentées en annexe 3) ainsi que quinze sections équivalentes de grilles comprises entre 50 et 550 cm². Rappelons que le code de calcul admet (voir tableau 1) comme donnée d'entrée une section fictive, Ae, correspondant à la grille réelle en série avec le débouché du conduit de ventilation ; cette section fictive est inférieure à celle de la grille réellement employée.

- Coefficient de dépression du débouché en toiture :

Des mesures ont été effectuées en laboratoire ces vingt dernières années sur des débouchés de conduit de ventilation présentant des caractéristiques d'aspirateur statique. Pour les meilleurs appareils le coefficient de dépression est compris entre 0,5 et 0,7. On propose de retenir ici 0,6.

On ne dispose pas de résultats de mesure sur les appareils de qualité courante. On propose, à titre provisoire, de retenir la valeur 0,2.

Les simulations ont porté sur le cas d'une maison équipée d'un seul conduit afin de pouvoir, sur ce cas d'école, optimiser aisément le dimensionnement de chaque conduit. Pour cela chaque type de conduit (W.C., cuisine ou salle d'eau) a été dimensionné en lui affectant non pas la totalité des entrées d'air et défauts d'étanchéité de la construction, mais une certaine fraction, fonction du rapport entre le débit réglementaire devant être extrait par ce conduit et le total des débits extraits par l'ensemble des conduits (voir Annexe 4).

3.2 - Solutions permettant d'obtenir le débit réglementaire quelle que soit la perméabilité à l'air du logement :

Dans un premier temps, on s'est fixé comme objectif, de proposer des dimensionnements permettant d'obtenir des débits extraits moyens au moins égaux aux débits réglementaires, et ce, quelle que soit la perméabilité à l'air, P, du logement. Les calculs ont été menés en considérant la valeur $P = 40 \text{ m}^3/\text{h}$ qui correspond aux meilleures perméabilités mesurées sur des maisons individuelles. Par ailleurs, tenant compte de ce que dans la pratique courante, les sections des conduits mis en oeuvre sont presque toujours inférieures ou égales à 400 cm^2 (soit un diamètre équivalent d'environ 22 cm), on s'est limité au cas des conduits de diamètre équivalent inférieur ou égal à cette valeur.

Il s'est alors avéré que, si on se fixait comme contrainte de limiter le débit type des entrées d'air à $240 \text{ m}^3/\text{h}$ (des valeurs supérieures sont difficilement acceptables dans la pratique et conduiraient de surcroît à des déperditions excessives), le débit réglementaire de $120 \text{ m}^3/\text{h}$ en cuisine correspondant à un T4 ne pouvait, pour cette perméabilité $P = 40$, être que difficilement atteint (hauteur du conduit supérieure ou égale à 5 m, ...). Le débit de $105 \text{ m}^3/\text{h}$ (correspondant à un T3) peut être, quant à lui, plus facilement atteint : le tableau 2 donne quelques-uns des dimensionnements permettant, pour une perméabilité $P = 40$, d'obtenir ce débit ; ces dimensionnements ont été sélectionnés en retenant parmi l'ensemble des solutions possibles celles présentant le meilleur indice énergétique r.

On observe que ces dimensionnements conduisent, lorsqu'on considère des logements de perméabilité moyenne à des déperditions accrues : elles sont supérieures d'environ 300 kWh/an (valeur à laquelle il convient d'ajouter les déperditions imputables aux conduits autres que celui desservant la cuisine) à celles qu'on aurait obtenues avec une VMC équipée d'entrées d'air de débit type total égal à $120 \text{ m}^3/\text{h}$.

Conduit		C	Qe (m ³ /h)	Ae (cm ²)		Déperditions totales (kWh/an)		Débits extraits moyens (m ³ /h)	
L (m)	∅ (cm)			Q=45	Q=105	P=40	P=100	P=40	P=100
2	22			0,6	240	143	495	1650	2260
2,5	22	0,6	240	138	451	1650	2260	45-105	49-122
3	20	0,6	240	134	484	1660	2250	45-105	49-120
3	22	0,6	240	133	420	1660	2250	45-105	49-121
4	20	0,6	240	126	426	1660	2250	45-105	48-119
4	22	0,2	240	146	530	1690	2290	45-105	50-125
5	22	0,6	150	126	475	1530	2140	45-105	50-134
VMC			120	-	-	1510	1930	45-105	45-105
VMC			240	-	-	1710	2210	45-105	45-105

Tableau 2 :

Exemples de dimensionnements permettant, pour une perméabilité P égale à 40 m³/h, d'obtenir des débits extraits égaux en moyenne à 45 m³/h (petit débit) et 105 m³/h (grand débit) en cuisine.

Les déperditions totales par renouvellement d'air sont indiquées à la fois lorsque la perméabilité vaut 40 m³/h, et lorsqu'elle vaut 100 m³/h (cas moyen). Elles sont calculées en supposant que la grille d'extraction en cuisine est en position "grand débit" pendant 1/6^e du temps.

3.3 - Dimensionnements proposés

3.3.1 - Méthodologie

Il résulte du paragraphe précédent qu'il n'est pas possible, si on se fixe des contraintes de dimensionnement (débit type total des entrées d'air inférieur à $240 \text{ m}^3/\text{h}$, hauteur du conduit inférieure à 5 m, section de conduit inférieure ou égale à 400 cm^2) de dimensionner l'installation de façon à obtenir, dans le cas de maisons de quatre pièces principales à bonne étanchéité ($P=40$), des débits extraits en cuisine égaux en moyenne au débit réglementaire ($120 \text{ m}^3/\text{h}$).

On propose alors, en faisant abstraction de cette exigence, de rechercher les dimensionnements convenant dans le cas d'une maison de perméabilité moyenne ($P = 100$), puis d'évaluer l'écart avec les exigences réglementaires dans le cas où ces dimensionnements sont appliqués à des maisons à bonne étanchéité ($P = 40$).

Les calculs ont été menés pour trois types de conduit:

- Conduit desservant une cuisine dans une maison type T4 (grand débit égal à $120 \text{ m}^3/\text{h}$)
- Conduit desservant une pièce d'eau (débit égal à $15 \text{ m}^3/\text{h}$)
- Conduit desservant une pièce d'eau (débit égal à $30 \text{ m}^3/\text{h}$).

3.3.2 - Résultats :

Pour chacun des trois types de conduits considérés, les résultats figurent aux tableaux 3, 4 et 5.

Qe	L		Ae	D	Qm	r	D	Qm	r
				P = 100			P = 40		
240	2	9	58	640	17	67	455	15	83
240	2	11	52	635	17	67	455	15	83
240	3	9	55	635	16	65	455	15	83
240	3	11	48	635	16	65	455	15	83
240	4	9	52	635	16	65	460	15	82
240	4	11	47	630	16	67	465	15	82
150	2	9	63	575	17	74	400	14	91
150	2	11	55	575	17	74	400	14	91
150	3	9	59	575	17	74	405	15	92
150	3	11	51	570	16	73	400	14	91
150	4	9	56	575	16	73	405	14	91
150	4	11	48	575	16	73	405	14	91
120	V M C			545	15	70	420	15	92

Tableau 3

Exemples de dimensionnements permettant d'extraire en WC un débit moyen de $15 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le dimensionnement est réalisé de manière à extraire $15 \text{ m}^3/\text{h}$ lorsque simultanément :

- la perméabilité P du logement est égale à $100 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa,
- le débit extrait en cuisine est égal au débit de pointe.

Qe = débit type total des entrées d'air (m^3/h sous 10 Pa)

L = longueur du conduit de ventilation (m)

= diamètre du conduit de ventilation (cm)

Ae = section équivalente de grille (cm^2)

D = déperditions par renouvellement d'air (kWh)

Qm = débit spécifique moyen de ventilation (m^3/h)

r = rendement énergétique (%).

Le coefficient de dépression du débouché en toiture est égal à 0,6.

Qe	L	ø	Ae	D	Qm	r	D	Qm	r
				P = 100			P = 40		
240	2	13	107	1270	33	66	880	27	77
240	3	13	99	1270	33	66	915	30	83
240	4	12	100	1270	33	66	920	30	82
240	4	13	94	1270	33	66	920	30	82
150	2	13	114	1150	33	73	800	28	89
150	3	13	105	1165	34	75	805	29	92
150	4	12	107	1150	33	73	810	29	91
150	4	13	99	1150	33	73	815	29	91
120	V M C			1090	30	70	835	30	92

Tableau 4

Exemples de dimensionnements permettant d'extraire en salle d'eau un débit moyen de $30 \text{ m}^3/\text{h}$.

Le dimensionnement est réalisé de manière à extraire $30 \text{ m}^3/\text{h}$ lorsque simultanément :

- la perméabilité P du logement est égale à $100 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa
- le débit extrait en cuisine est égal au débit de pointe

Qe = débit type total des entrées d'air (m^3/h sous 10 Pa)

L = longueur du conduit de ventilation (m)

ø = diamètre du conduit de ventilation (cm)

Ae = section équivalente de grille (cm^2)

D = déperditions par renouvellement d'air (kWh)

Qm = débit spécifique moyen de ventilation (m^3/h)

r = rendement énergétique (%).

Le coefficient de dépression du débouché en toiture est égal à 0,6.

Qe	L	Ae	Qm	D	Qv	r	Qm	D	Qv	r
			P = 100				P = 40			
240	3	440-138	120-49	2255	61	69	104-45	1660	55	84
240	4	401-129	120-49	2255	61	69	105-45	1665	55	84
240	5	375-122	120-48	2260	60	68	106-45	1675	55	84
180	3	464-145	120-51	2135	62	74	97-45	1530	54	90
180	4	421-135	120-50	2135	62	74	99-45	1545	54	89
180	5	390-127	120-49	2135	61	73	101-45	1555	54	89
120	4	448-145	120-52	2030	63	80	91-45	1435	53	93
120	5	413-136	120-51	2030	63	80	92-45	1435	53	93
120	V M C		120-45	1980	58	74	120-45	1570	58	93

Tableau 5

Exemples de dimensionnements permettant d'extraire en cuisine des débits moyens de 45 et 120 m³/h.

Le dimensionnement est réalisé de manière à extraire le débit de pointe (120 m³/h) lorsque la perméabilité P du logement est égale à 100 m³/h sous 1 Pa et le débit minimum (45 m³/h) lorsque la perméabilité est égale à 40 m³/h sous 1 Pa.

Le diamètre du conduit est égal à 22 cm.

Le coefficient de dépression du débouché en toiture est égal à 0,5

Qe = débit type total des entrées d'air (m³/h sous 10 Pa)

L = longueur du conduit de ventilation (m)

Ae = sections équivalentes de grille (cm²). La première valeur concerne le débit de pointe ; la seconde, le débit minimum.

Qm = débit de pointe et débit minimum de ventilation (m³/h)

D = déperditions par renouvellement d'air (kWh) sur la saison de chauffage en supposant une utilisation du débit de pointe pendant 1/6^e du temps.

Qv = moyenne pondérée des débits de pointe et minimum (m³/h)

r = rendement énergétique (%).

3.3.3 - Analyse

1' / Valeurs comparées des rendements énergétiques r :

Les rendements énergétiques des installations de ventilation naturelle et de VMC diffèrent pour deux raisons antagonistes :

- d'une part, l'augmentation du tirage thermique en période froide tend à diminuer le rendement r de la ventilation naturelle,
- d'autre part, l'augmentation des débits extraits par effet d'aspiration, en période ventilée tend par mise en dépression, à mieux protéger le bâtiment contre le renouvellement d'air transversal au moment précis où cela est le plus nécessaire.

Si on se reporte aux tableaux 3, 4 et 5 et si on considère des dimensionnements voisins des entrées d'air (i.e : 120 m³/h pour la VMC et 120 ou 150 m³/h pour la ventilation naturelle), on constate que le rendement énergétique en ventilation naturelle est généralement légèrement supérieur à celui en VMC, ce qui signifie que la seconde cause (augmentation des débits extraits en période ventée) a plus de poids que la première (tirage thermique)(*). Cette remarque illustre l'intérêt qu'il y a, en maison individuelle, à utiliser des débouchés de conduit présentant une valeur convenable du coefficient d'aspiration.

Il convient enfin de compléter cette analyse en précisant que le rendement énergétique r des installations de VMC est, dans la pratique, sensiblement supérieur à celui des installations de ventilation naturelle car il y a nécessité, pour ces dernières installations, de dimensionner plus largement les entrées d'air.

2' /. Dimensionnement du conduit desservant la cuisine :

On s'est limité, pour l'étude des conduits desservant la cuisine à des conduits de section inférieure ou égale à 400 cm². On constate alors (voir tableau 5) que le conduit doit présenter une hauteur minimale de 3 m. Des solutions avec des hauteurs moindres ne sont envisageables qu'à condition d'augmenter les sections de conduit (voir tableau 6).

(*) Notons que cette conclusion aurait été inverse en immeuble collectif car l'effet du tirage thermique y est prépondérant.

L	Ae	Qm	D	Qv	r	Qm	D	Qv	r
		P = 100				P = 40			
2	451-156	120-51	2130	63	75	95-45	1515	53	90
3	402-144	120-48	2105	60	73	97-45	1530	54	90
4	370-135	120-45	2080	58	71	99-45	1545	54	89
V M C		120-45	1980	58	74	120-45	1570	58	93

Tableau 6

Exemples de dimensionnements permettant d'extraire en cuisine des débits moyens de 45 et 120 m³/h.

Le dimensionnement est réalisé de manière à extraire le débit de pointe (120 m³/h) lorsque la perméabilité P est égale à 100 m³/h sous 1 Pa et le débit minimum (45 m³/h) lorsque la perméabilité est égale à 40 m³/h sous 1 Pa.

Le diamètre du conduit est égal à 27 cm.

Le coefficient de dépression du débouché en toiture est égal à 0,5.

Le débit type des entrées d'air est de 180 m³/h en ventilation naturelle et 120 m³/h en ventilation mécanique.

- L = longueur du conduit de ventilation (m)
- Ae = sections équivalentes de grille (cm²). La première valeur concerne le débit de pointe ; la seconde le débit minimum.
- Qm = débit de pointe et débit minimum de ventilation (m³/h)
- Qv = moyenne pondérée des débits de pointe et minimum (m³/h)
- r = rendement énergétique (%)
- D = déperditions par renouvellement d'air (kWh), calculées en supposant une utilisation du débit de pointe pendant 1/6^e du temps.

3°/ Sensibilité des résultats à la valeur de la perméabilité à l'air du logement :

Les calculs ont été effectués de façon à obtenir les débits réglementaires pour une valeur de la perméabilité à l'air égale à $100 \text{ m}^3/\text{h}$. On constate, pour les solutions proposées, que la diminution des débits extraits lorsque la perméabilité passe à $40 \text{ m}^3/\text{h}$ dépasse rarement 20 %, ce qui est acceptable si on rapporte cet écart à la variation de débit selon les différentes conditions d'exposition au vent.

4 - AXES FUTURS DE RECHERCHE

Le code de calcul GAINÉ développé au CSTB fournit le cadre permettant d'optimiser la conception et le dimensionnement des installations de ventilation naturelle. Toutefois, il conviendrait d'améliorer les connaissances de certaines données physiques intervenant dans les phénomènes mis en jeu et d'exploiter d'autres codes de calcul pour traiter d'autres aspects du problème.

4.1 - Amélioration des connaissances

La connaissance des données physiques réelles fait encore défaut sur certains points que l'on peut qualifier d'essentiels et parmi lesquels on peut citer :

- la connaissance statistique pour tous les types de construction de la répartition des coefficients de pression en toiture et des vitesses locales du vent :

Il conviendrait en particulier, en vue de quantifier les probabilités de refoulement dans les conduits, de s'intéresser non plus aux valeurs moyennes des coefficients de pression, mais à leur dispersion en fonction de la géométrie de la construction (pente du toit, localisation du débouché de conduit, ...) en tenant compte des fluctuations temporelles du vent. Pour cela on propose (cf ref.6) de définir deux jeux de coefficients de pression : un premier jeu représentatif de conditions moyennes, et un second représentatif de conditions défavorables du point de vue de la possibilité de refoulement (par exemple mauvaise localisation du conduit sur un toit de forte pente).

- la connaissance expérimentale des pertes de charge dans le passage de transit :

Le bon fonctionnement des installations de ventilation naturelle nécessite des passages d'air permanents et de section suffisante. Inversement, de façon à assurer une séparation suffisante (acoustique et éclairage) entre les différentes pièces, ces passages ne doivent pas présenter une section trop importante ; il importe donc de bien connaître les pertes de charge réelles des passages d'air. Les données que l'on trouve dans la littérature sont malheureusement loin d'être concordantes et demanderaient à être contrôlées. On en a néanmoins présenté une première synthèse qui figure en annexe 5 du présent rapport.

- la connaissance expérimentale des pertes de charge réelles des conduits :

Il est probable (*) qu'en raison des aléas de mise en oeuvre (dévoiements, qualité de la réalisation des raccords entre éléments de conduits, rugosité réelle du conduit, ...) les pertes de charge réelles sont supérieures à celles que l'on peut calculer théoriquement. Il conviendrait donc, en procédant à des mesures sur site, de quantifier l'importance de l'erreur susceptible d'être ainsi commise. Il conviendrait également, dans le cas de grilles verticales, de quantifier l'interaction entre la perte de charge de la grille et celle du coude.

- la connaissance expérimentale des déperditions thermiques des conduits :

La température de l'air extrait au débouché du conduit de ventilation peut, en raison des déperditions thermiques du conduit, être assez différente de la température intérieure du logement. Il importe donc, en vue d'intégrer correctement l'effet du tirage thermique, de bien connaître ces déperditions : il s'agit à la fois de préciser la température (température extérieure, température de combles, ...) qu'il y a lieu de retenir pour le calcul des déperditions thermiques et, par des mesures sur site, de quantifier les valeurs des coefficients de déperdition thermique.

- La connaissance exacte (cf éq.1) des caractéristiques aérauliques des débouchés de conduit en toiture :

Il conviendrait notamment d'identifier, pour les appareils de fabrication courante, des valeurs représentatives des coefficients de dépression.

(*) On présente en annexe 6 le surdimensionnement de conduit qu'il convient de retenir pour compenser le supplément de perte de charge dû aux dévoiements de conduits.

- La connaissance statistique des vitesses de vent au voisinage de la construction :

Il s'agit :

- a/de compléter les tableaux de fréquence croisée des températures, vitesses et orientations de vent, en les explicitant pour d'autres stations météorologiques que TRAPPES et en les établissant sur la base d'enregistrements météorologiques de longue durée (10 ans). Les tableaux de fréquence utilisés dans le cadre de cette étude ont en effet été obtenus suivant une méthode simplifiée (cf § 2.5) et ne sont pas pleinement représentatifs.
- b/de considérer les différents types de vent (dans la présente étude on n'a considéré que des vents de type bocage)
- c/de corriger les données de vent en fonction de l'environnement du site d'implantation (topographie, nature des obstacles rencontrés par le vent).

Sur la base de ces résultats on pourra mener une étude de sensibilité de façon à apprécier dans quelle mesure les dimensionnements proposés pour les données de TRAPPES restent applicables à l'ensemble des situations, et, le cas échéant les aménagements qu'il y aurait lieu d'apporter pour telle ou telle situation géographique.

- La connaissance du comportement des occupants :

Il s'agit essentiellement d'apprécier dans quelle mesure il est fondé de retenir pour le calcul des débits moyens extraits la limite 13°C, étant précisé que cette limite correspond implicitement au seuil supposé au delà duquel il y a ouverture des fenêtres.

4.2 - Exploitation des codes de calcul

La poursuite de l'exploitation des codes de calcul devrait permettre de traiter d'autres aspects du problème, et notamment :

- l'étude de l'interaction entre conduits :

Les calculs ayant été menés pour chaque conduit considéré séparément, il est possible, en utilisant le code de calcul MULTIGAINÉ (voir annexe 7) d'apprécier dans quelle mesure les débits extraits par un conduit peuvent être modifiés par le fonctionnement des autres conduits.

- l'étude des maisons à étages :

Le dimensionnement des installations de ventilation naturelle pour les maisons à étages peut s'opérer soit directement à l'aide du code MULTIGAINÉ, soit en utilisant le code GAINÉ après avoir défini une hauteur équivalente des entrées d'air (voir annexe 8). Il conviendrait d'autre part d'étudier le cas particulier où un même conduit dessert deux grilles situées à des niveaux différents.

- l'étude particulière du dimensionnement optimal des entrées d'air compte tenu de la dispersion des défauts d'étanchéité de l'enveloppe ainsi que l'étude des mouvements d'air induits par les fluctuations spatio-temporelles du vent (voir fig. 1) et ce, plus particulièrement dans le cas des logements à simple exposition. Des codes de calcul (voir ex. en figure 2) permettant de traiter le cas des logements multizone en intégrant les mouvements d'air dus aux différences de température, doivent alors être utilisés.

- l'étude du fonctionnement des appareils à combustion, et notamment ceux raccordés à des conduits de ventilation naturelle :

la température des produits de combustion détermine en grande partie l'importance du renouvellement d'air ; il convient d'autre part de développer des solutions (voir Annexe 9) permettant d'assurer à la fois la satisfaction des exigences réglementaires et le bon fonctionnement des appareils à gaz. Pour cela, il conviendrait de mieux connaître les pertes de charge des coupe-tirage ainsi que les sections de grille (il s'agit de la grille - voir schéma en Annexe 9 - située en dessous du point de raccordement de l'appareil à gaz, et destinée à assurer le grand débit) compatibles avec un bon fonctionnement de l'appareil.

5 - CONCLUSIONS

La présente étude a porté sur les données climatiques de TRAPPES. Les résultats obtenus ont servi de support à la rédaction des solutions techniques pour le respect du règlement thermique en maison individuelle (arrêté du 5 Avril 1988).

L'utilisation de moyens de calcul permet de concevoir et dimensionner des installations de ventilation naturelle qui soient de nature à assurer une meilleure qualité d'usage tout en limitant les déperditions par renouvellement d'air. Les dimensionnements proposés dans ce rapport répondent à ces objectifs. Toutefois :

- 1°/Ces propositions de dimensionnement ont été établies sur la base de conventions et hypothèses simplificatrices appelées à être revues au fur et à mesure de la poursuite des travaux de recherche. On trouvera au chapitre 4 une énumération des points sur lesquels les connaissances actuelles doivent être complétées.
- 2°/Les propositions de dimensionnement ont été formulées en ne considérant que le cas des maisons individuelles dont la perméabilité à l'air (défauts d'étanchéité) serait supérieure à $40 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 1 Pa. En conséquence ces dimensionnements conviendraient mal à des logements dont l'étanchéité à l'air serait parfaitement réalisée. Ce cas, hautement souhaitable du point de vue de l'efficacité de la ventilation, n'a pas été envisagé car on sait que, pour les constructions actuelles, la perméabilité à l'air n'est qu'exceptionnellement inférieure à $40 \text{ m}^3/\text{h}$.
- 3°/Le déroulement des travaux ultérieurs serait favorisé par une définition plus précise des exigences réglementaires en matière de renouvellement d'air : ces exigences étant actuellement le plus souvent formulées de façon générale, il y a une difficulté manifeste, faute d'objectifs suffisamment précis, à identifier les systèmes présentant des caractéristiques suffisantes d'aptitude à l'emploi. On peut illustrer ce propos par deux exemples :
 - a/La figure 3 représente, pour une installation donnée, l'histogramme des débits extraits en cuisine durant la saison de chauffage : l'exigence réglementaire portant sur le débit moyen peut être facilement respectée, mais ne conviendrait-il pas de fixer des fréquences maximales pour les faibles débits susceptibles d'être rencontrés ?
 - b/Dans le cas des appareils à gaz raccordés, le fonctionnement de l'appareil détermine un débit extrait supérieur au seuil réglementaire. Ne conviendrait-il pas de préciser les exigences réglementaires de façon à mieux tenir compte de l'amélioration du renouvellement d'air induite par le fonctionnement de ces appareils ?

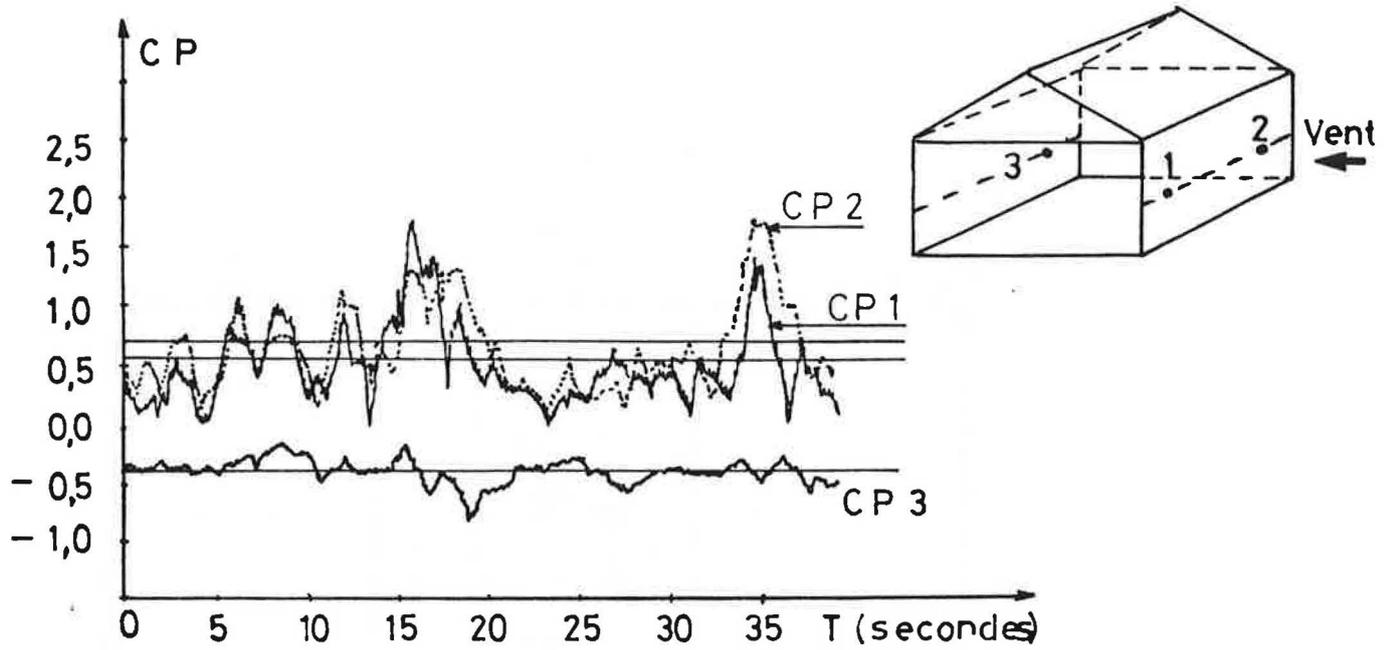


Figure 1

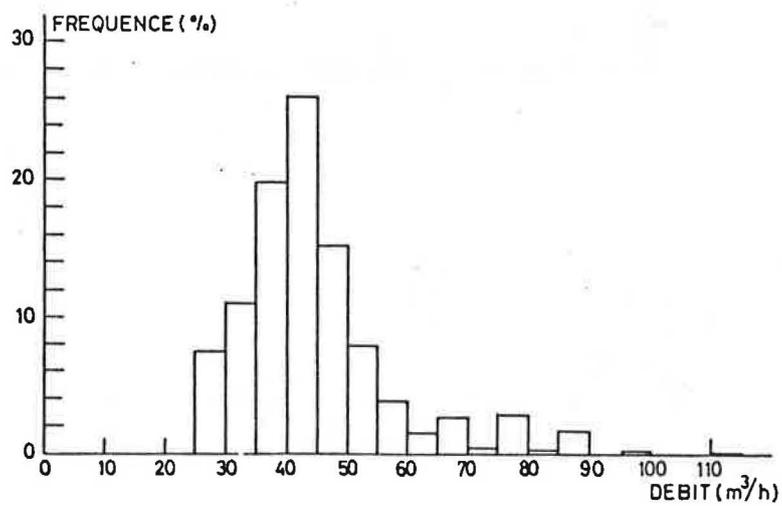
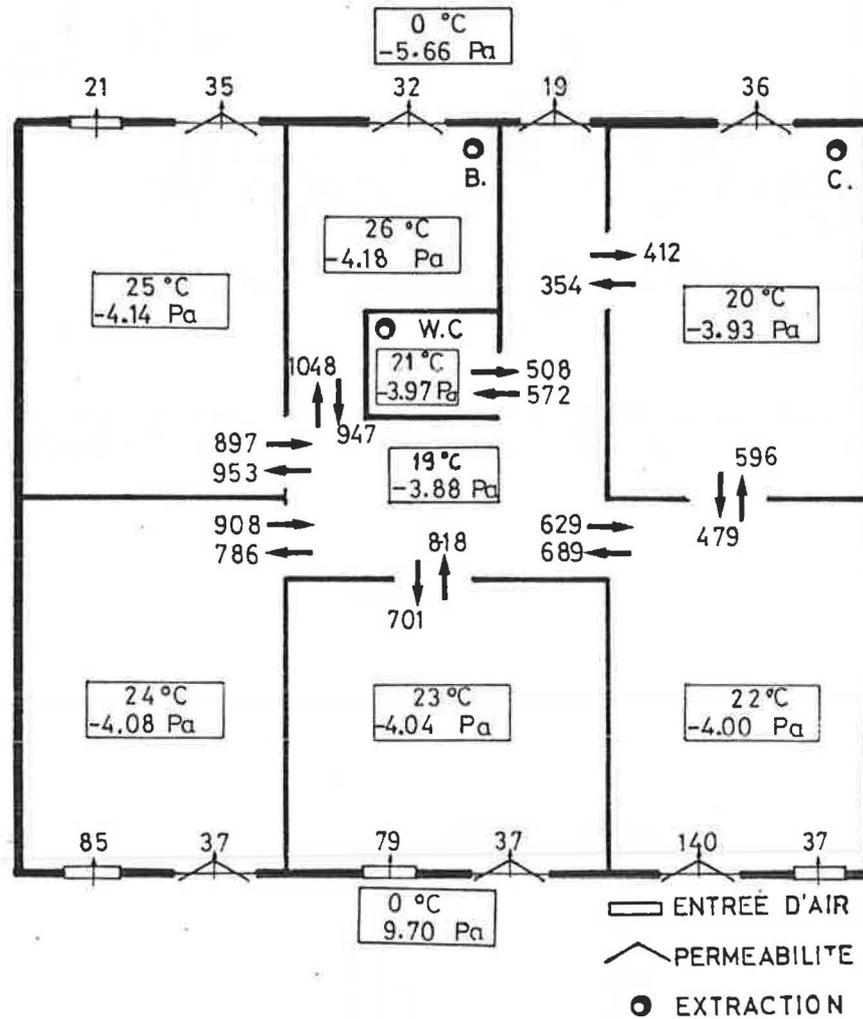


Figure 3 : Exemple d'histogramme des débits spécifiques
1836 valeurs



- C. Débit extrait en cuisine = 139 kg/h
 B. Débit extrait en S.d.B. = 69 kg/h
 W. Débit extrait en W.C. = 64 kg/h

Exemple de calcul des débits d'air (kg/h) dans le cas d'une maison individuelle avec trois conduits de ventilation naturelle par une température extérieure de 0°C et un vent de 5 m/s (code SIREN version 2 - C.S.T.B. - CHAMPS SUR MARNE).

Figure 2

ANNEXE 1

HYPOTHESES CONCERNANT LES CHAMPS MOYENS DE PRESSION
ET DE VITESSE DANS UN PAVILLON DE TYPE COURANT

1 - CAS CONSIDERE

Les données figurant dans le tableau ci-après résultent de mesures en soufflerie effectuées sur une maquette au 1/50^{ème} d'un pavillon de type traditionnel. Elles sont issues de l'étude de J. GANDEMER : "Ecoulements et charges induits par le vent sur les bâtiments", Cahier du C.S.T.B. n° 2 045, Décembre 1985.

Le pavillon considéré est représenté à la figure 1. On retient le cas où la pente de chaque pan de toiture est égale à $22,5^\circ$.

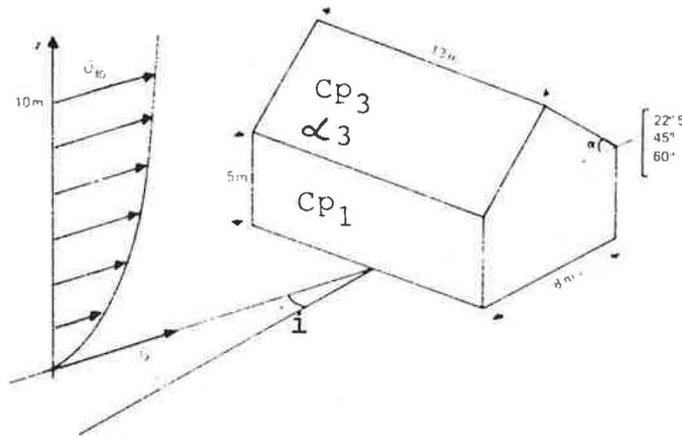


Figure 1 : Schéma du pavillon

2 - RESULTATS

Si l'on admet que le débouché du conduit de ventilation est situé sur un des deux pans de toiture et que les entrées d'air sont localisées uniquement sur les façades principales, les données utiles sont les suivantes :

- Cp_1 : valeur moyenne du coefficient de pression sur une des deux façades principales (façade visible sur le schéma 1) ;
- Cp_2 : valeur moyenne du coefficient de pression sur la façade opposée ;
- Cp_3 : valeur moyenne du coefficient de pression sur le pan de toiture ;
- d_3 : vitesse locale du vent sur le pan de toiture, rapportée à la vitesse de référence ; cette vitesse a été mesurée à l'aide d'une sonde anémométrique à fil chaud, placée orthogonalement au plan de la paroi, à une distance (après correction d'échelle) comprise entre 0 et 40 cm.

Les valeurs de ces grandeurs figurent au tableau ci-après.

	angle d'incidence i (voir schéma 1)				
	0°	30 à 60°	90°	120 à 150°	180°
Cp_1	0,6	0,2	- 0,3	- 0,6	- 0,35
Cp_2	- 0,35	- 0,6	- 0,3	0,2	0,6
Cp_3	0	- 0,25	- 0,45	- 0,8	- 0,4
d_3	0,7	0,8	0,4	0,6	0,2

Tableau 1

On notera que les valeurs figurant dans ce tableau sont des valeurs moyennes ; les valeurs réelles présentent, du fait des fluctuations spatio-temporelles des vitesses d'air, une dispersion notable. De surcroît, ce tableau correspond à un cas bien particulier (aspirateur statique disposé à une distance de la toiture comprise entre 0 et 40 cm, pente de la toiture : 22,5°).

.../

Ces valeurs ne peuvent donc être utilisées que pour un calcul de débits moyen d'extraction dans un cas donné, et non pas pour l'évaluation de débits instantanés, ou dans des cas particuliers (par exemple habitation de géométrie différente, ou aspirateur statique disposé à proximité d'une arête de la toiture).

3 - UTILISATION DES RESULTATS

Les valeurs indiquées des coefficients Cp_i et d_3 permettent de déterminer les pressions et vitesses locales moyennes du vent en fonction de la vitesse de référence du vent. Le mode de calcul qui fait l'objet du Cahier du C.S.T.B. n°2045 (déjà cité) est rappelé ci-dessous :

Pression moyenne du vent sur une des faces du pavillon :

$$P_i = Cp_i \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot U_{ref}^2$$

Vitesse locale du vent en toiture :

$$V_3 = d_3 \cdot U_{ref}$$

Dans ces expressions, les valeurs des coefficients Cp_i et d_3 sont lues dans le tableau ci-dessus, les pressions P_i sont exprimées en Pa, les vitesses V_3 et U_{ref} sont exprimées en m/s, et ρ représente la masse volumique de l'air exprimée en kg/m³.

La vitesse de référence U_{ref} est la vitesse de l'écoulement d'air, non perturbé par la construction, à une hauteur au dessus du sol prise par référence égale à $Z_{ref} = 10$ m.

Elle se détermine en fonction de la vitesse $U_{météo}$ (vitesse moyenne à 10 m au dessus du sol à la station météorologique supposée placée dans des conditions normales - site plat et non rugueux -) par la relation suivante :

$$U_{ref} = k \log_e \left(\frac{Z_{ref}}{Z_0} \right) \cdot U_{météo}$$

.../

Les valeurs de Z_0 et k figurent dans le tableau suivant :

	Classe de rugosité				
	Mer ou plan d'eau	Rase campagne (référence météo)	Zone rurale bocage	Zone urbanisée industrielle ou forestière	Centre de grande ville
Z_0 (m)	0,005	0,07	0,3	1	2,5
k	0,166	0,202	0,234	0,266	0,292

Compte tenu de ce que la hauteur de référence a été prise égale à $Z_{ref} = 10$ m, les relations pratiques entre U_{ref} et $U_{météo}$ sont les suivantes :

Mer ou plan d'eau : $U_{ref} = 1,26 \cdot U_{météo}$

Rase campagne : $U_{ref} = U_{météo}$

Zone rurale : $U_{ref} = 0,82 \cdot U_{météo}$

Zone urbanisée (...): $U_{ref} = 0,61 \cdot U_{météo}$

On pourra noter à cet égard que les mesures en soufflerie ont été effectuées pour un vent de type "banlieue corrigée" ($k = 0,25$; $Z_0 = 0,5$ m) correspondant à une zone intermédiaire entre la zone rurale et la zone urbanisée. Le tableau 1 est donc moins facilement applicable aux implantations, au demeurant peu fréquentes, du type "rase campagne" ou "mer ou plan d'eau". Enfin, dans les zones à relief (collines, ...) il conviendrait d'effectuer des corrections particulières.

ANNEXE 2

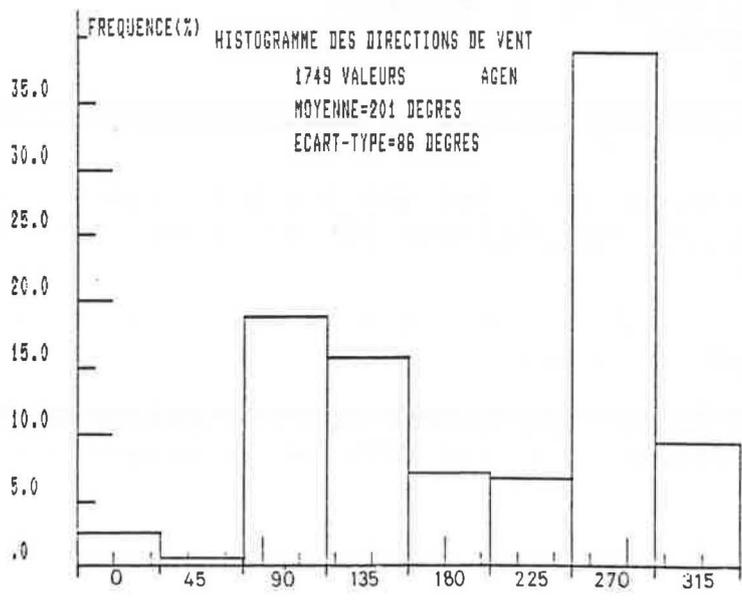
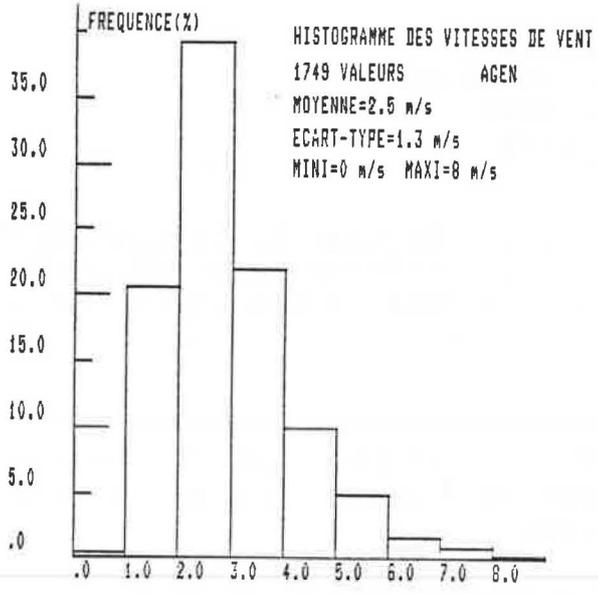
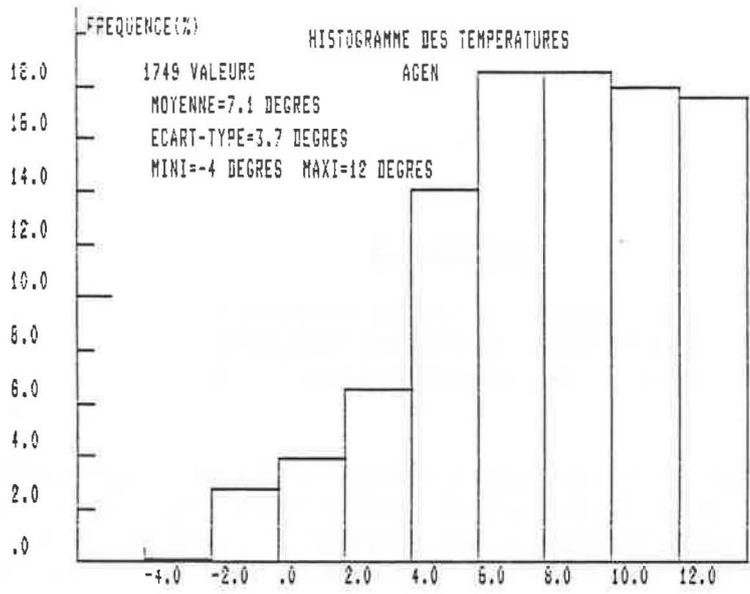
FICHIERS METEOROLOGIQUES

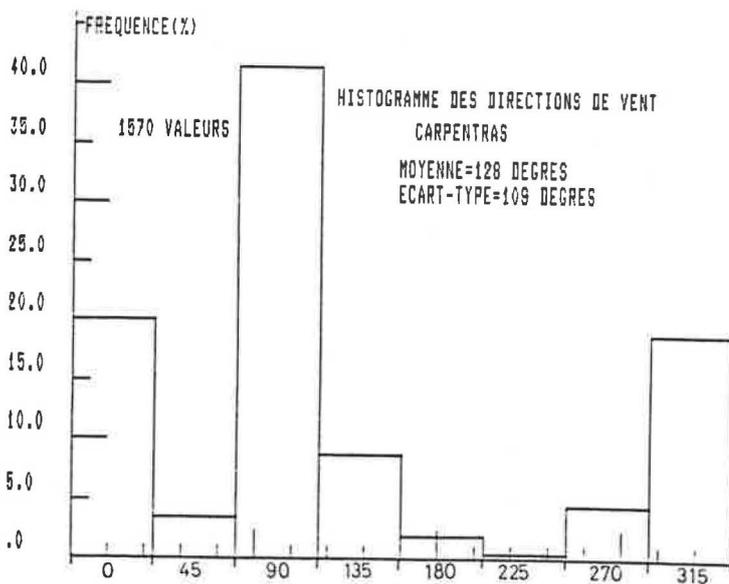
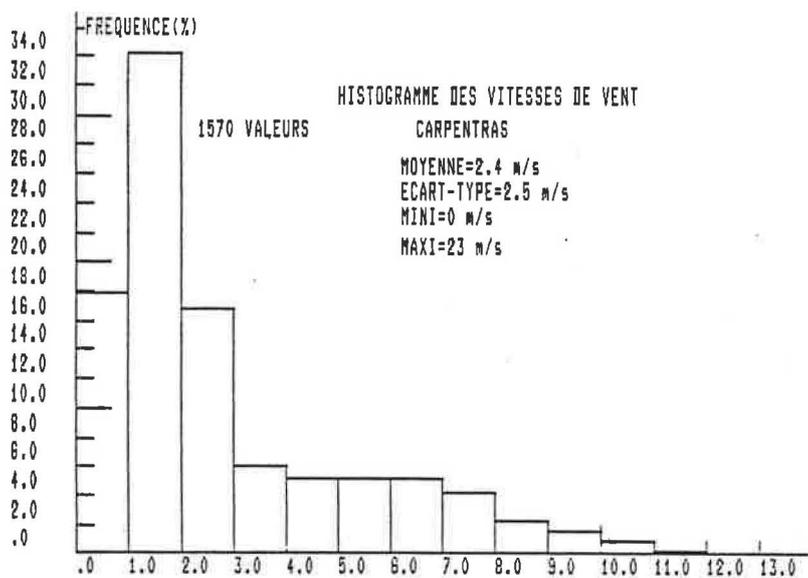
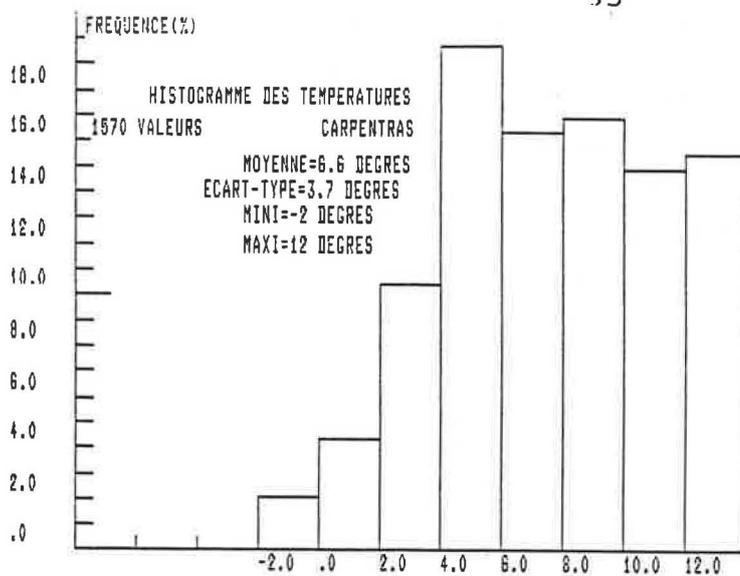
Pour chacune des 9 stations météorologiques, on présente les histogrammes des fréquences d'occurrences sur la saison de chauffage des températures extérieures, vitesses et directions de vent. L'examen de ces histogrammes conduit aux remarques suivantes :

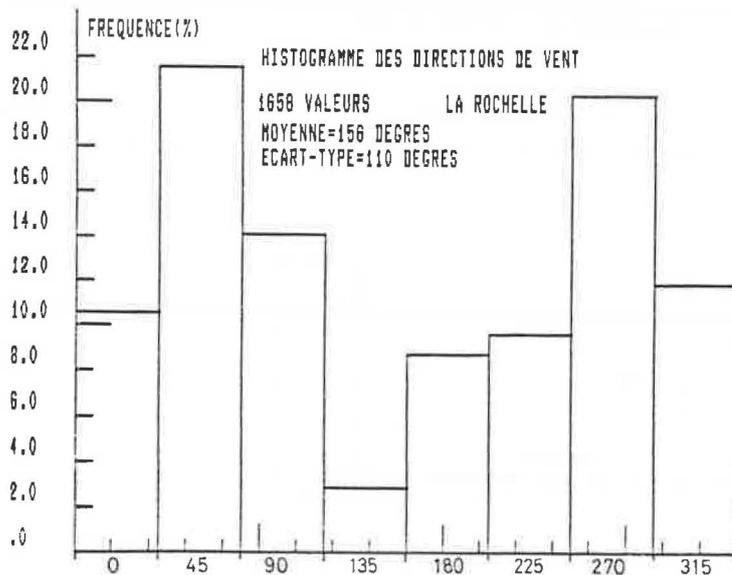
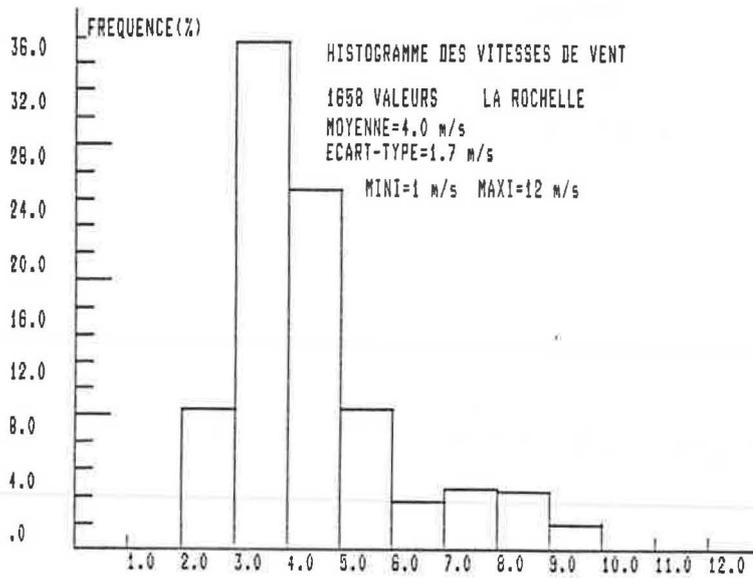
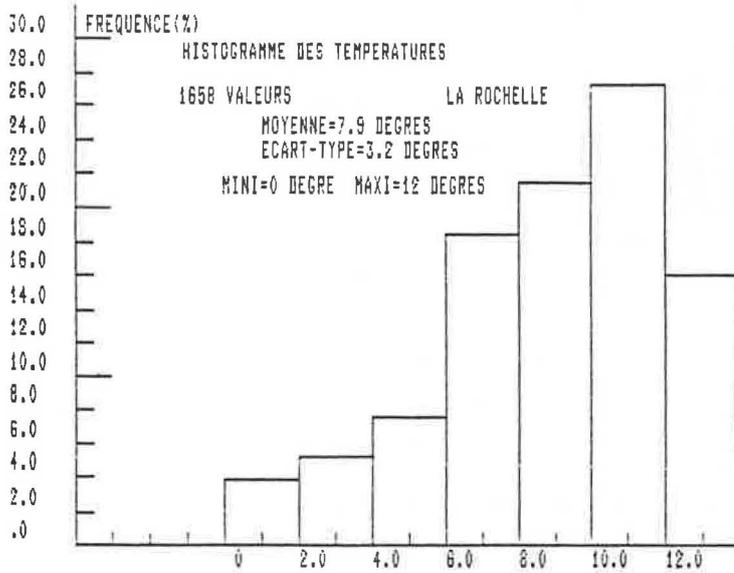
- Les classes modales de températures sont centrées sur les valeurs :
 - 2°C pour MACON et NANCY
 - 4°C pour TRAPPES et CARPENTRAS
 - 6°C pour LIMOGES et AGEN
 - 8°C pour RENNES et NICE
 - 10°C pour LA ROCHELLE
- La dispersion des vitesses de vent de la station de CARPENTRAS est importante (l'écart type est supérieur à la valeur moyenne). Pour des raisons pratiques, on a limité la représentation graphique entre 0 et 13 m/s ce qui représente 99,8 % de la population (3 valeurs de vitesse ne figurent pas sur l'histogramme : 17, 18 et 23 m/s).
- A TRAPPES, RENNES, NICE et LA ROCHELLE, la valeur modale de la vitesse du vent est de 3 m/s ; elle est de 2 m/s dans les quatre autres stations.
- Les vents dominants sont orientés :
 - Nord à NICE
 - Nord-Est à LIMOGES et LA ROCHELLE
 - Est à CARPENTRAS
 - Ouest à AGEN
 - Sud à MACON
 - Sud-Ouest à RENNES, TRAPPES et NANCY.

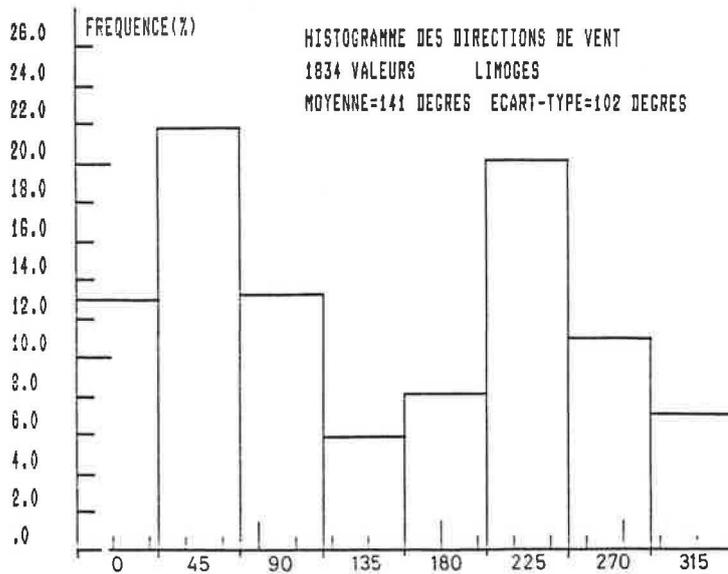
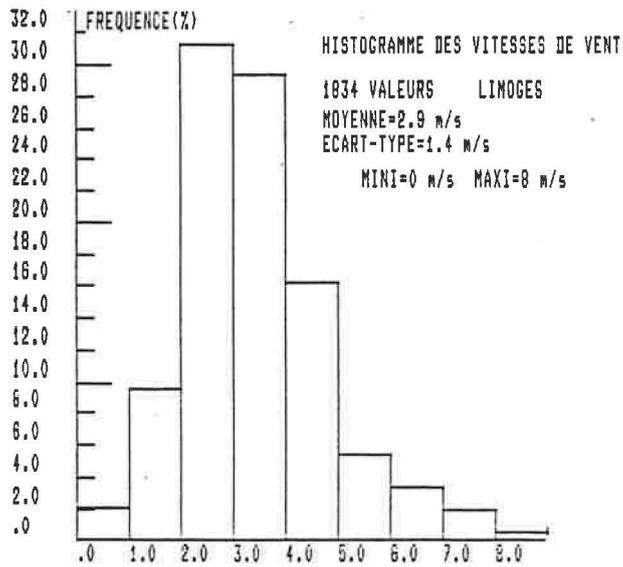
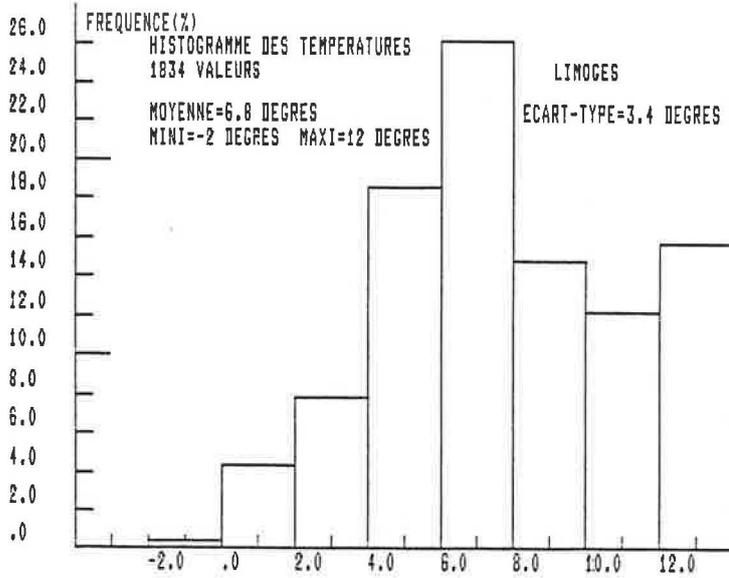
De plus, il convient de noter que l'exposition au vent d'un pavillon à façades non abritées (déterminées selon les Règles Th-G 77) est :

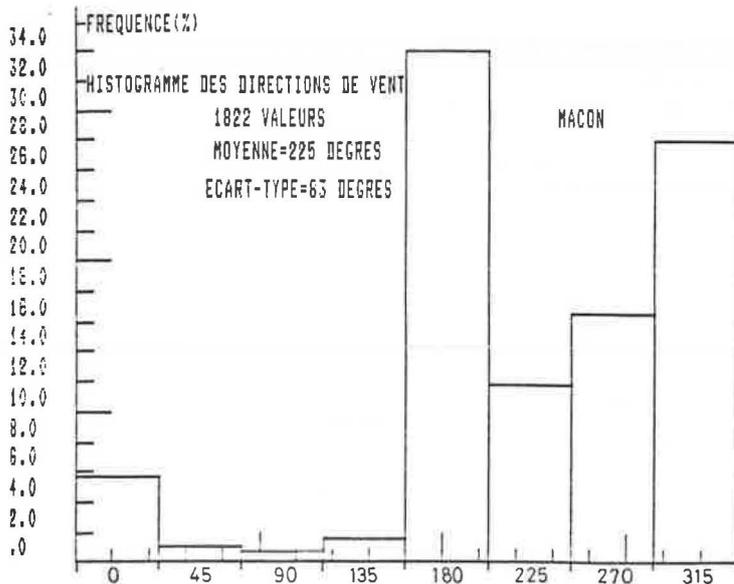
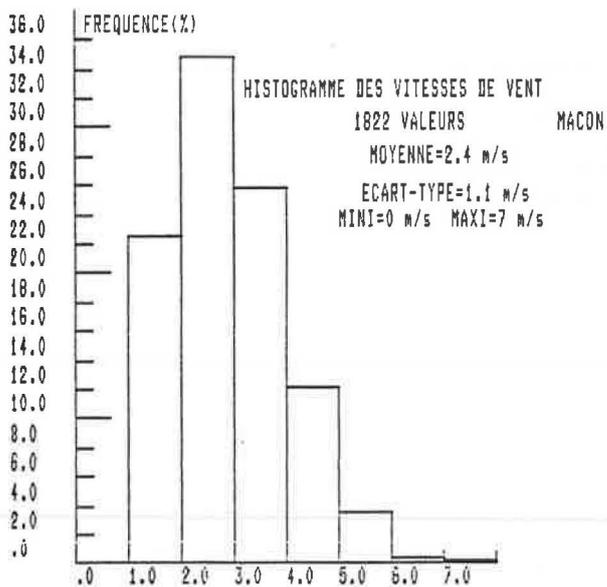
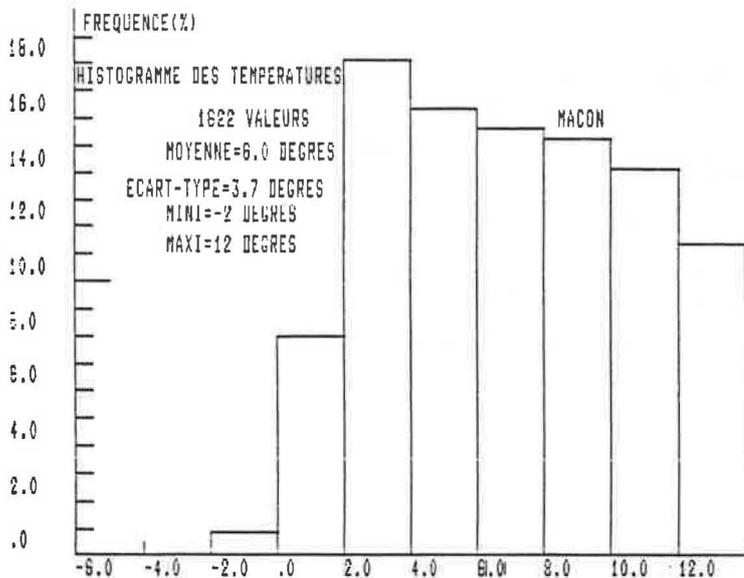
- de classe EX 2 lorsque le logement est situé dans la région de CARPENTRAS ou en bord de mer,
- de classe EX 1 dans les autres configurations de région et de site (classe de rugosité définie en annexe 1).

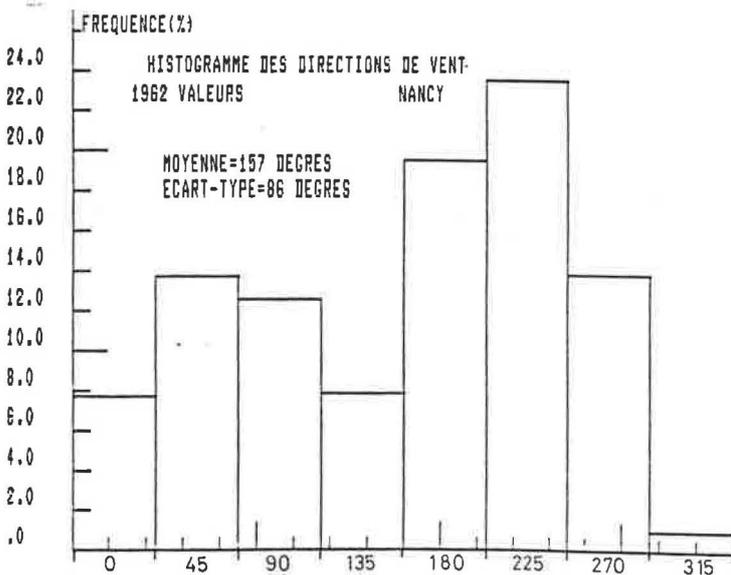
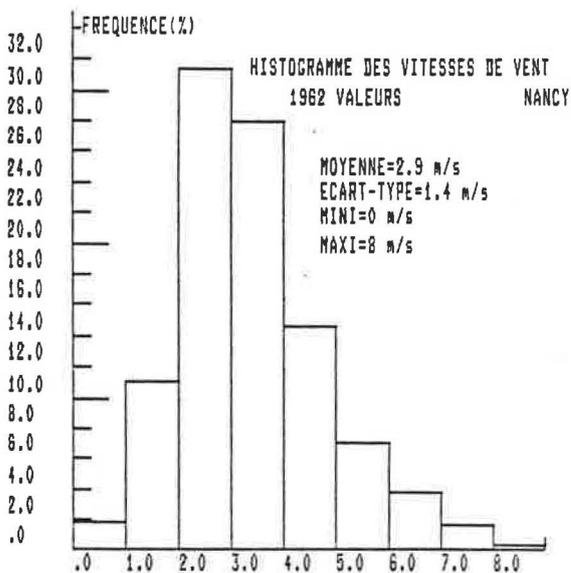
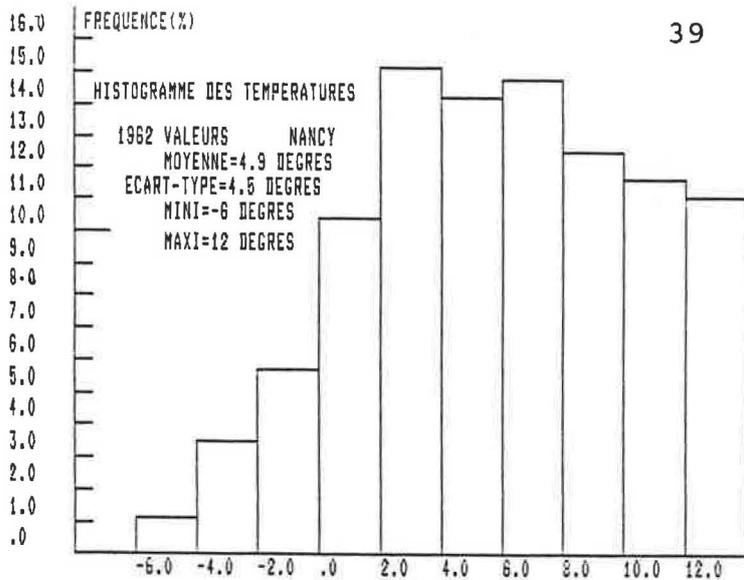


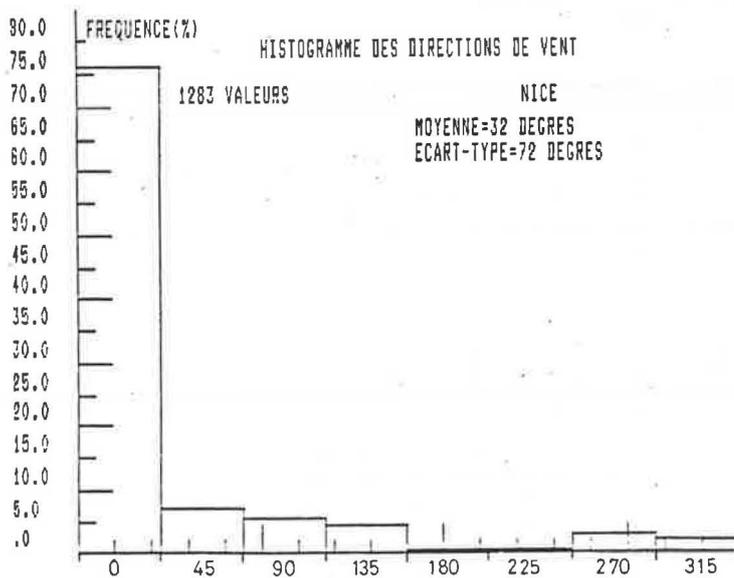
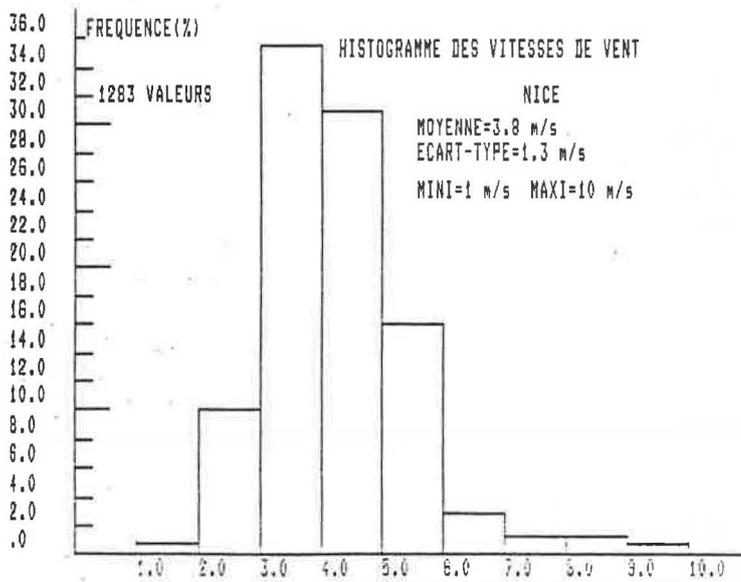
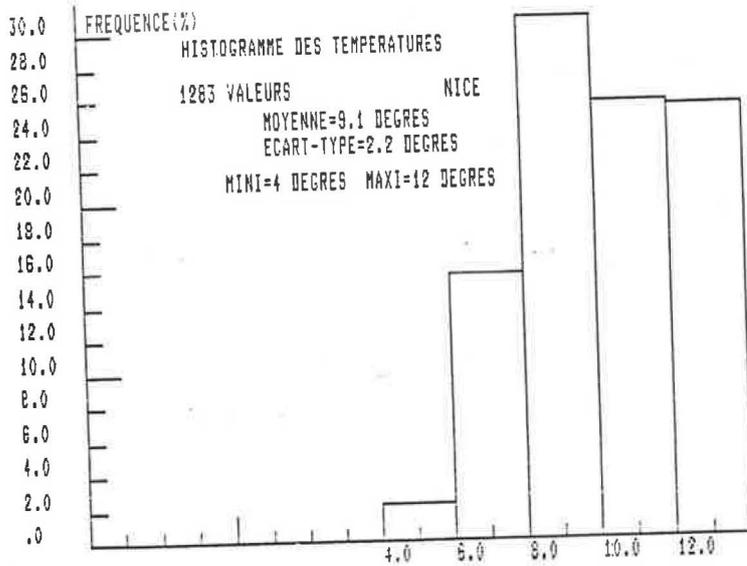


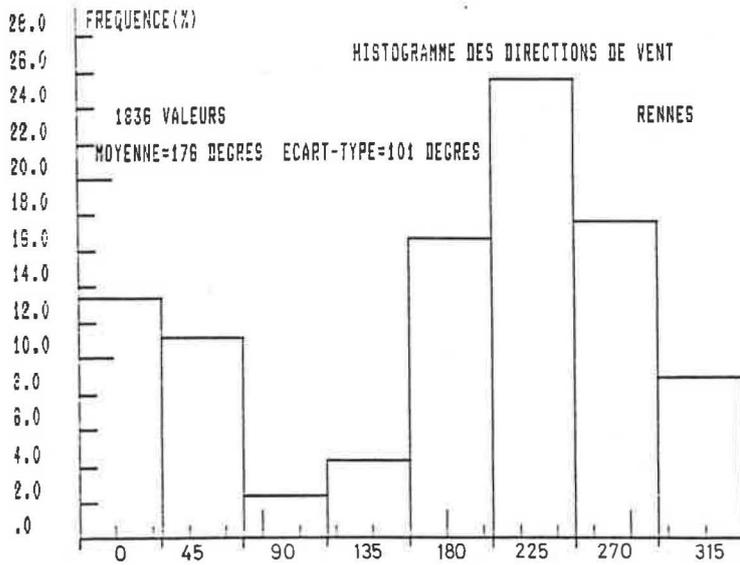
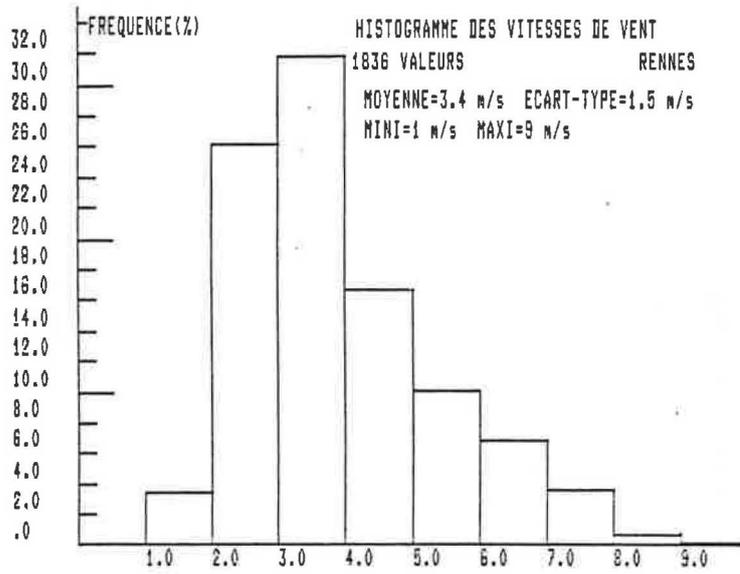
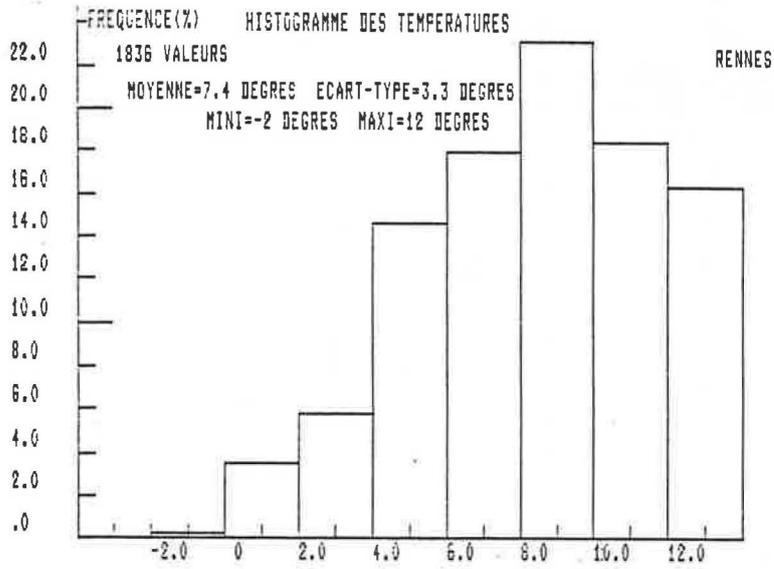


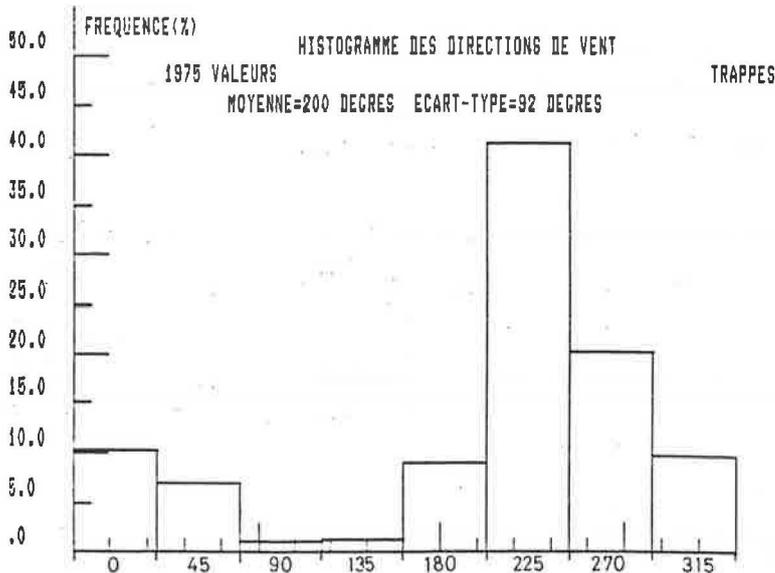
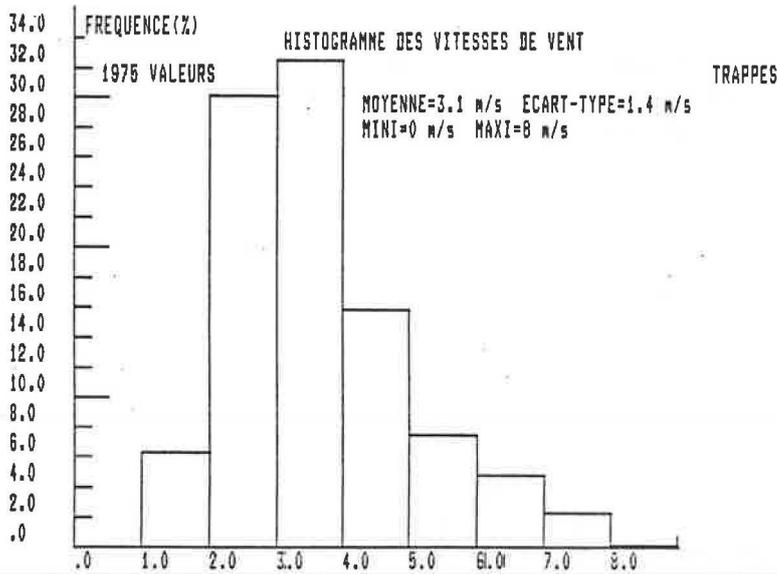
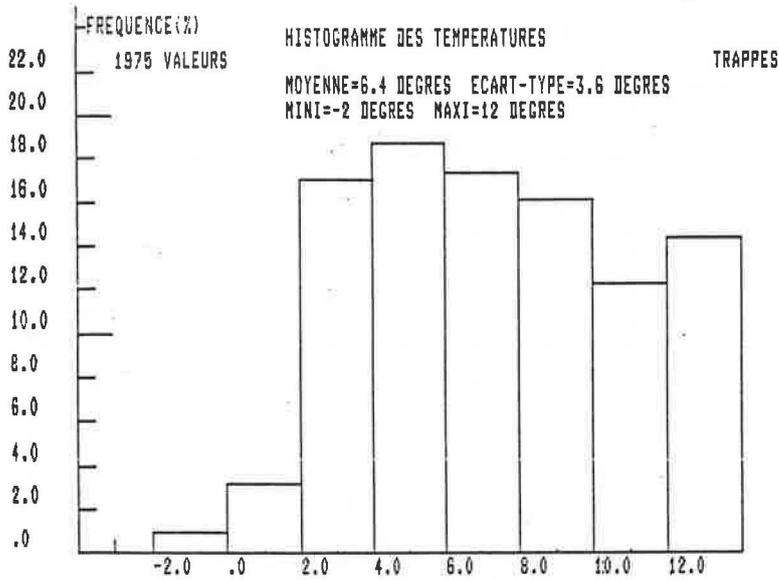












ANNEXE 3

Conduits de ventilation utilisés en habitat individuel Dimensions usuelles

1° / Conduits en béton (source CERIB).

Les dimensions usuelles sont :

10 x 10 cm 10 x 15 cm 20 x 20 cm et 200 cm² (14 x 15).

Les jonctions de conduit en partie haute sont l'exception. Il peut arriver qu'un même conduit desserve à la fois le W.C. et la salle de bains qui sont alors raccordés en partie basse.

On rencontre également des conduits de section plus importante (20 x 25 cm, ...).

2° / Boisseaux en terre cuite (source Ets BAUMEL - Centre d'Etude des Tuiles et Briques).

Il s'installerait de moins en moins de boisseaux en terre cuite qui sont supplantés par les gaines en amiante ciment ou en plastique.

Toutefois, les boisseaux 14 x 20 cm (accolés à un conduit de fumée 20 x 20 desservant des inserts ou une chaudière à mazout) sont encore assez largement employés.

Il existerait d'autres sections (13 x 16 et 14 x 19) moins fréquemment utilisées.

3° / Conduits en amiante-ciment (source Eternit)

Dimensions de gaines : 10 x 10 ; 10 x 15 ; 10 x 20 ; 15 x 20 ; 20 x 20 ; 30 x 30 ; ...

Diamètre des conduits : 10 ; 12,5 ; 15 ; 17,5 ; 20 ; 25 ; ...

Il semble que le diamètre 15 cm soit assez largement employé : les gaines et conduits ont été initialement développés pour les besoins de la ventilation naturelle, mais sont à présent également employés pour d'autres usages.

ANNEXE 4

Hypothèses concernant l'affectation des entrées d'air
et de la perméabilité du logement aux différents
conduits d'extraction

1 - OBJET

Rappelons d'abord que la recherche vise à dimensionner au mieux les constituants du système de ventilation dans une habitation individuelle ventilée de façon naturelle. Pour cela, on se sert d'un code de calcul (voir corps du rapport) en l'appliquant au cas d'une maison comportant un seul conduit d'extraction ; on étudie alors les solutions correspondant à différents dimensionnements du conduit, de son couronnement, de la grille d'extraction et des entrées d'air. Parmi ces solutions, on retient celles qui permettent de satisfaire les exigences réglementaires (débits extraits) tout en minimisant le débit transversal et en tenant compte des contingences pratiques (hauteur du conduit, ...).

On conçoit que cette méthode, bien adaptée au cas d'une habitation équipée d'un seul conduit, ne l'est plus lorsqu'on s'intéresse au cas réel d'une maison équipée de trois conduits (le nombre de solutions à examiner serait prohibitif).

Il y a donc intérêt à étudier chaque conduit séparément, ce qui, en retour, pose problème, car seule une partie de l'air pénétrant par les entrées d'air et les défauts d'étanchéité de l'enveloppe correspond effectivement au conduit considéré : on voit facilement que les débits calculés en considérant un seul conduit seront exacts à condition de lui affecter une fraction des entrées d'air et des défauts d'étanchéité de l'enveloppe qui soit dans le rapport du débit effectivement extrait (c'est à dire en présence des deux autres conduits) par ce conduit au total des débits extraits par l'ensemble des conduits. La présente annexe a pour objet de préciser les modalités pratiques de détermination de ce rapport.

2 - HYPOTHESE SIMPLIFICATRICE

On s'intéresse à une installation dimensionnée selon les règles faisant l'objet de la présente recherche :

Par définition, chacun des trois conduits sera dimensionné de façon à extraire, en valeur moyenne, les débits réglementaires. On admet alors, ce qui devrait être à peu près réalisé en pratique, que pour des conditions climatiques (vent et température) différentes des conditions moyennes, les débits extraits par chacun des trois conduits varient dans le même rapport. Dans ces conditions, il est possible d'affecter à chaque conduit une fraction des entrées d'air et défauts d'étanchéité indépendante des conditions météorologiques.

3 - POURCENTAGE DES ENTREES D' AIR ET DEFAUTS D' ETANCHEITE A CONSIDERER :

Pour déterminer ce pourcentage il convient de considérer les différents régimes de fonctionnement selon les commandes accessibles à l'usager : dans un souci de simplicité on ne considère que deux régimes de fonctionnement, correspondant l'un au grand débit en cuisine l'autre au petit débit.

Pour chacun de ces deux régimes, le tableau ci-dessous donne pour des logements type 3, 4 ou 5, équipés d'une seule salle d'eau (débit extrait 30 m³/h) et d'un seul WC (débit extrait 15 m³/h si la salle d'eau est elle-même équipée d'un cabinet d'aisance), la fraction des entrées d'air et défauts d'étanchéité à affecter à chaque conduit :

commande du débit en cuisine	grand débit			petit débit		
	cuis.	W. C.	S. d. B.	cuis.	W. C.	S. d. B.
T3 débit (m ³ /h)	105	15	30	45	15 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾
fraction (%)	70	10	20	50	-	-
T4 débit (m ³ /h)	120	15	30	45	15 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾
fraction (%)	73	9	18	50	-	-
T5 débit (m ³ /h)	135	15	30	45	15 ⁽¹⁾	30 ⁽¹⁾
fraction (%)	75	8	17	50	-	-

On constate que les pourcentages à considérer dépendent peu du type de logement. On propose en conséquence, et de façon simplificatrice de retenir pour chaque type de conduit les pourcentages suivants :

Conduit WC	: 10 %
Conduit salle de bain	: 20 %
Conduit cuisine (à grand débit)	: 70 %
Conduit cuisine (à petit débit)	: 50 %

On pourra noter que dans le cas particulier où le logement comporte plus d'une salle de bains ou plus d'un W. C., les pourcentages proposés pour le conduit cuisine sont légèrement surestimés.

(1) en théorie, les débits extraits en W. C. et S. d. B. sont légèrement supérieurs à 15 m³/h et 30 m³/h car ces valeurs doivent normalement être obtenues pour le grand débit cuisine.

ANNEXE 5

Pertes de charge utiles pour le calcul des installations
de ventilation naturelle

Passages d'air dans les portes

Sur la base d'essais effectués au CSTB en 1980,
on propose de retenir les
expressions suivantes des pertes d'énergie (1) :

a) détalonnage normal

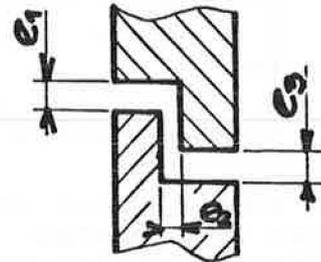
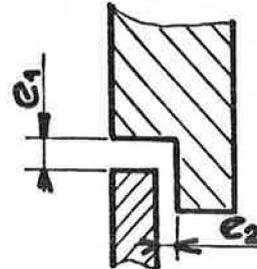
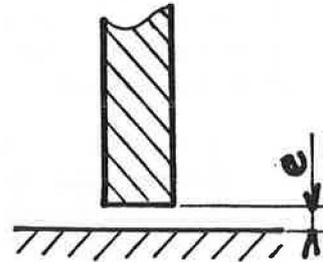
$$\Delta P = \frac{0,17 \cdot (Q/l)}{e^2}^{1,8}$$

b) passage d'air avec un changement de direction

$$\Delta P = \frac{0,30 \cdot (Q/l)}{e^2}^{1,8}$$

c) passage d'air avec 2 changements de direction

$$\Delta P = \frac{0,42 \cdot (Q/l)}{e^2}^{1,8}$$



Dans ces expressions :

e, exprimé en mm est l'épaisseur de la lame d'air qui est souvent déterminée par les butées placées sur les portes. Dans le cas d'écoulement avec changement de direction, on retient la plus petite des valeurs représentées sur la fig. ou

Q, exprimé en m³/h est le débit traversant la porte

l, exprimé en m est la longueur du passage d'air (il s'agit généralement de la hauteur ou de la largeur de la porte)

ΔP , exprimé en Pa est la perte d'énergie.

(1) Ces expressions ont été établies par lissage de résultats expérimentaux obtenus dans la plage de différence de pression 0,3 ; 2,5 Pa et dans la plage d'épaisseur 3 à 10 mm. L'erreur relative à l'intérieur de cette plage est inférieure à 25 %. En dehors de cette plage, les relations ne sont plus utilisables.

ANNEXE 6

Perte de charge des dévoiements

1 - INTRODUCTION

L'évacuation de l'air par tirage naturel nécessite la présence de conduits de ventilation verticaux de hauteur suffisante. Comme la hauteur est souvent limitée par les circonstances, il y a lieu de s'attacher à réduire les dévoiements qui créent des pertes de charge supplémentaires et peuvent gêner le nettoyage des conduits.

La réglementation relative aux conduits à tirage naturel n'autorise, pour un conduit individuel, pas plus de deux dévoiements (c'est à dire plus d'une partie non verticale), l'angle de ces dévoiements avec la verticale n'excédant pas d'une façon générale 20°. Toutefois, s'il s'agit d'un conduit sans rugosité et de moins de 5 m de hauteur, cet angle peut être supérieur à 20° mais sans excéder 45° (cf arrêté interministériel du 22 Octobre 1969 relatif aux conduits de fumée desservant les logements).

On présente ici l'augmentation de la section de conduit qui permet de compenser le supplément de perte de charge dû aux dévoiements.

2 - PERTE DE CHARGE

La perte de charge ΔP à travers un conduit de longueur L et de diamètre \varnothing a pour expression :

$$\Delta P = \Lambda \frac{L}{\varnothing} \cdot \frac{8}{\eta^2} \rho \frac{Q^2}{\varnothing^4}$$

où ρ est la masse volumique de l'air, Q le débit d'air et Λ le coefficient de perte de charge linéaire.

La perte de charge à travers un conduit, de longueur L' , de diamètre \varnothing' , de coefficient de perte de charge Λ' , comportant deux dévoiements peut s'écrire :

$$\Delta p' = \left(\Lambda' \cdot \frac{L'}{\varnothing'} + 2 \xi \right) \cdot \frac{8}{\eta^2} \rho \frac{Q'^2}{\varnothing'^4}$$

où ξ est le coefficient de perte de charge singulière d'un coude.

La longueur d'un conduit présentant deux dévoiements est supérieure à celle d'un conduit vertical de :

$$\Delta L = L' - L = l_0(1 - \cos \theta)$$

où l_0 est la longueur de la partie non verticale du conduit et θ l'angle de dévoiement.

Le conduit dévoyé présentera, pour un débit donné, la même perte de charge que le conduit vertical si on a :

$$\frac{\Lambda' L'}{\varnothing'^5} + \frac{2 \xi}{\varnothing'^4} = \frac{\Lambda L}{\varnothing^5}$$

Le diamètre \varnothing' du conduit dévoyé est donc solution de l'équation polynomiale :

$$\Lambda L \varnothing'^5 - 2 \xi \varnothing^5 \varnothing' - \Lambda' (L + \Delta L) \varnothing^5 = 0$$

3 - RESULTATS

Les résultats de calcul présentés dans le tableau ci-après ont été obtenus en retenant les hypothèses suivantes :

- pour un dévoiement de 20 degrés le coefficient de perte de charge du coude ξ est égal à 0,2 ; pour un dévoiement de 45 degrés, il est égal à 0,3
- le conduit dévoyé de 20 degrés présente la même rugosité que le conduit vertical : $\Lambda' = \Lambda = 0,05$
- la rugosité du conduit dévoyé de 45 degrés est inférieure à celle du conduit vertical : $\Lambda' = 0,03$
- la hauteur du conduit est égale à 5 m
- le supplément de longueur ΔL dû aux dévoiements est de 0,2 m lorsque $\theta = 20^\circ$ et 1,3 m lorsque $\theta = 45^\circ$

$\theta = 0^\circ$	$\theta = 20^\circ$ $\Lambda = \Lambda' = 0,05$	$\theta = 45^\circ$ $\Lambda = 0,05$	
		$\Lambda' = 0,05$	$\Lambda' = 0,03$
$\varnothing = 25,0 \text{ cm}$	$\varnothing' = 27,0 \text{ cm}$	$\varnothing' = 28,6 \text{ cm}$	$\varnothing' = 26,7 \text{ cm}$
$\varnothing = 20,0 \text{ cm}$	$\varnothing' = 21,3 \text{ cm}$	$\varnothing' = 22,5 \text{ cm}$	$\varnothing' = 20,9 \text{ cm}$
$\varnothing = 16,0 \text{ cm}$	$\varnothing' = 16,9 \text{ cm}$	$\varnothing' = 17,8 \text{ cm}$	$\varnothing' = 16,5 \text{ cm}$
$\varnothing = 12,5 \text{ cm}$	$\varnothing' = 13,1 \text{ cm}$	$\varnothing' = 13,7 \text{ cm}$	$\varnothing' = 12,6 \text{ cm}$

L'examen de ce tableau nous amène à faire les remarques suivantes :

Les pertes de charge dues à deux dévoiements de 20 degrés peuvent être compensées par une augmentation du diamètre du conduit de 5 à 8 % ; celles résultant de dévoiements de 45 degrés peuvent être compensées par une augmentation du diamètre de 10 à 14 % si le conduit présente la même rugosité, par une augmentation de 1 à 7 % si le conduit dévoyé est moins rugueux.

ANNEXE 7

Code de calcul MULTIGAINÉ

A la différence du code GAINÉ, ce code de calcul s'applique à une maison individuelle à deux étages comprenant plusieurs conduits d'extraction naturelle.

1 - MODELISATION

Le logement est modélisé en une seule zone à température constante et à pression uniforme sur un niveau donné (modèle monozone en pression). Les entrées d'air et les défauts d'étanchéité du logement sont concentrés sur deux façades en opposition et à deux hauteurs au-dessus du sol (voir figure 1). On suppose que les défauts d'étanchéité sont également répartis sur les quatre orifices du logement ; c'est à dire que l'on affecte à chaque orifice le quart de la perméabilité globale P du logement.

Le réseau de ventilation est constitué de N conduits verticaux. Chaque conduit est équipé à sa base d'une grille d'extraction et à son sommet d'un aspirateur statique, et fait l'objet de la même modélisation que celle retenue dans le code GAINÉ à savoir : pertes de charge linéique par la formule de Colebrook, déperditions thermiques, ...

2 - ALGORITHME DE RESOLUTION

Les inconnues du problème sont la pression intérieure P_{int} du logement et les $N-1$ débits traversant les $N-1$ conduits de ventilation, le dernier débit étant déterminé par l'équation de bilan (la somme algébrique des débits à travers les orifices en façade et dans tous les conduits est nulle).

Par itérations successives, on évalue les débits dans les N conduits, de telle sorte que la perte de charge de ces derniers soit égale à celle calculée par la formule de Colebrook.

Le système non linéaire de N équations à N inconnues est résolu en utilisant le sous-programme ZSCNT de la bibliothèque IMSL (résolution par la méthode des sécantes).

3 - DONNEES D'ENTREE DU PROGRAMME

- Coefficients de pression du vent
- fichier météorologique
- orientation du pavillon
- exposition au vent du site
- température intérieure
- perméabilité du logement
- débits types des entrées d'air : $Q_{e1}, Q_{e2}, Q_{e3}, Q_{e4}$ (m^3/h)
- plage de régulation des entrées d'air : P_1-P_2 (Pa)
- distance entre les deux niveaux des entrées d'air : h_e (m)
- nombre de conduits de ventilation.

Pour chaque conduit de ventilation :

- rugosité (m)
- diamètre (m)
- longueur du conduit (m)
- cote * inférieure du conduit (m)
- section de la grille (cm^2)
- coefficient de dépression de l'aspirateur
- débit à travers l'aspirateur par vent nul (m^3/h sous 1 Pa)

* Le premier niveau des entrées d'air est le niveau de référence.

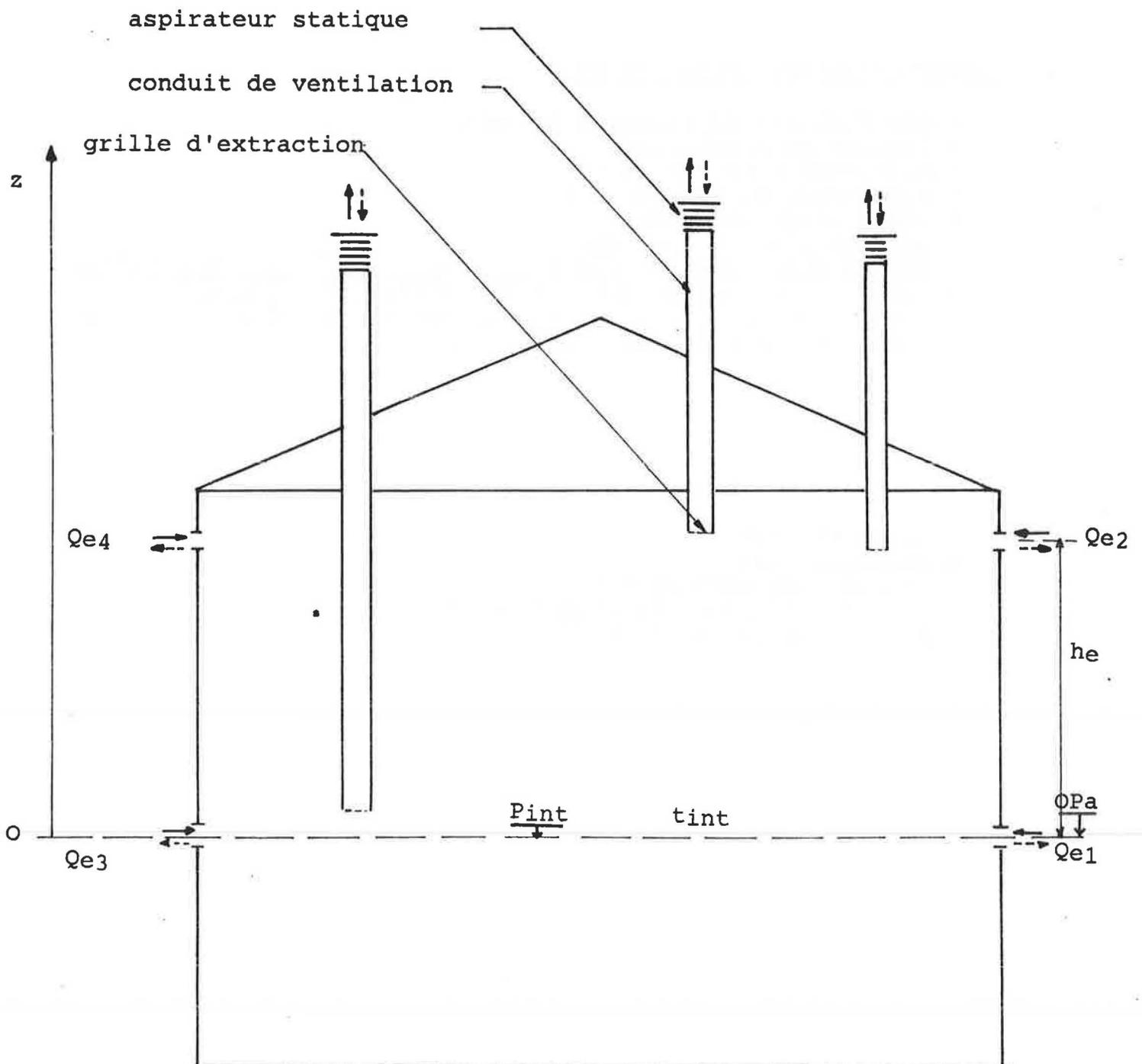


Figure 1 : Modèle d'un pavillon équipé
de 3 conduits d'extraction naturelle.

ANNEXE 8

Hauteur équivalente des entrées d'air dans le cas d'une maison à deux niveaux

1 - OBJET.

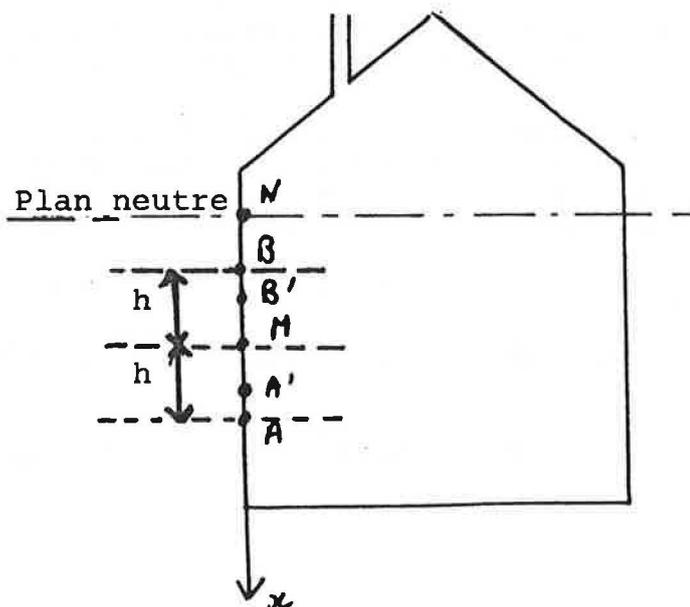
Dans le cas des maisons d'un seul niveau habitable, on peut considérer que les entrées d'air sont toutes à la même hauteur au dessus du sol ; le tirage thermique est alors calculé à partir de la différence de hauteur entre ces entrées d'air et le débouché en toiture, ce qui permet de dimensionner l'installation.

Pour les maisons à deux niveaux, il est possible, en définissant une hauteur équivalente des entrées d'air, de se ramener à ce cas simple. La présente note donne des indications sur le choix de cette hauteur.

2 - SCHEMA ET NOTATIONS

L'emplacement des entrées d'air du premier niveau est noté A, celui du second niveau, B. Le point milieu est noté M ; ce point est choisi comme point origine de l'axe Mx orienté vers le bas.

On considère l'une des deux façades équipées d'entrées d'air, et on note ΔP la différence de pression entre l'extérieur et l'intérieur de part et d'autre du point M. Cette différence de pression est fonction des conditions météorologiques (vent, ...). Elle est en général différente d'une façade à l'autre.



On note également :

$\Delta \rho$: différence entre la masse volumique de l'air extérieur et celle de l'air intérieur

g : accélération de la pesanteur

h : $MA = MB$

$m = \Delta P / (\Delta \rho . g . h)$

N : position du plan neutre ($MN = - m . h$)

X : position de l'entrée d'air équivalente

$x = MX$

$r = MX/MB = x/h$; ce ratio est nul si l'entrée d'air équivalente est située au point milieu M.

3 - HYPOTHESES.

On admet que la pression du vent est uniforme sur la façade considérée.

Le volume d'air habitable est supposé à une température homogène et non compartimenté.

Dans un souci de réduction des écritures, on considère le cas simple où les entrées d'air A et B ont le même débit type.

4 - DETERMINATION DE L'EMPLACEMENT X DE L'ENTREE D'AIR EQUIVALENTE.

On se propose de substituer aux entrées d'air situées en A et B une entrée d'air équivalente dont le débit-type serait égal à la somme des deux précédentes et dont l'emplacement X serait choisi, de façon, pour des conditions météorologiques données, à ne perturber en rien les débits d'air extraits ainsi que la pression intérieure du bâtiment. Il suffit pour cela que le débit d'air traversant cette façade reste le même.

Une variation des conditions météorologiques ainsi d'ailleurs que celle des autres caractéristiques de dimensionnement, se traduit, en ce qui concerne la façade considérée, par une simple translation de son plan neutre :

1er cas : le plan neutre est au-dessus du point B ; ($m > 1$) :

L'égalité des débits d'air traversant la façade s'écrit :

$$(\Delta P - \Delta \rho . g . h)^{\frac{1}{2}} + (\Delta P + \Delta \rho . g . h)^{\frac{1}{2}} = 2 (\Delta P + \Delta \rho . g . x)^{\frac{1}{2}}$$

ce qui compte tenu des notations conduit à :

$$r = \frac{x}{h} = \frac{1}{2} \cdot [(m^2 - 1)^{\frac{1}{2}} - m]$$

Lorsque le plan neutre est très élevé, m est grand et la distance x est asymptotiquement égale à $\frac{h}{4m}$, ce qui signifie que le point x tend vers le point milieu M : $r = 0$.

Inversement, lorsque le plan neutre passe par le point B m est égal à l'unité, et x à $h/2$, ce qui signifie que l'entrée d'air équivalente est située au point milieu entre M et B : $r = -0,5$.

Entre ces deux cas extrêmes, on montre que le ratio r reste constamment compris entre 0 et $-0,5$.

2ème cas : le plan neutre est compris entre les points M et B ;
($0 \leq m \leq 1$) :

Un raisonnement semblable conduit à :

$$r = \frac{1}{2} \cdot [1 - 2m - (1 - m^2)^{\frac{1}{2}}]$$

Cette expression présente un extremum égal à $-0,618$ pour $m = (0,8)^{\frac{1}{2}}$.

Sur la plage de variation de m , le ratio r évolue entre cette valeur et la valeur nulle obtenue lorsque le plan neutre passe par le point M .

3ème et 4ème cas : le plan neutre est situé en dessous de M ;
($m < 0$) :

Ces cas sont symétriques du deuxième et du premier cas.

Le ratio r reste constamment compris entre 0 et $+0,618$.

5 - DISCUSSION.

On voit que, quelles que soient les conditions de fonctionnement de l'installation, l'entrée d'air équivalente X est située entre deux points A' et B' tels que $MA' = 0,618 MA$; $MB' = 0,618.MB$.

Cette conclusion peut en se limitant aux cas où la température extérieure est plus faible que la température intérieure être nuancée.

1er cas : en l'absence de vent, le plan neutre est forcément au-dessus du point milieu M, ce qui signifie que l'entrée d'air équivalente est comprise entre les points M et B'. Cette entrée d'air sera d'autant plus proche de M que le conduit d'extraction est largement dimensionné devant les entrées d'air, et réciproquement.

2ème cas: la maison est soumise à un vent important : si le vent est suffisamment important, le plan neutre est au dessus du point B sur la façade exposée au vent, mais en dessous du point A sur la façade sous le vent.

Ceci signifie que le choix du point milieu M au lieu de X tend, pour chacune des deux façades, à surestimer les valeurs du débit ; ces valeurs étant de signes opposés, il y a pour ce qui concerne l'incidence sur les débits extraits, compensation.

6 - CONCLUSION

Le choix du point milieu M pour l'entrée d'air équivalente conduit à une erreur variable selon les conditions météorologiques. On a montré que cette erreur correspond au maximum à 31% de la dénivellation entre les deux entrées d'air, soit moins de 1 m pour les constructions courantes, et qu'elle tend généralement à surestimer les débits.

Toutefois, il faut tenir compte de ce que :

- 1° dans un grand nombre de cas l'erreur théorique correspond à une valeur très inférieure à 31%. Le calcul de la valeur moyenne nécessiterait l'emploi d'un code de calcul intégrant les tableaux de fréquence des facteurs météorologiques. Dans l'attente d'un tel travail, on peut, en toute première approche estimer que l'erreur pourrait correspondre à une valeur de l'ordre de 10 ou 15%,
- 2° la prise en compte de la perméabilité à l'air du logement modifie ces conclusions,
- 3° les maisons à étages sont soumises à des effets plus importants du vent et donc davantage ventilées que les maisons à un seul niveau.

Compte tenu de ces trois remarques, le point milieu M peut valablement être retenu, pour la position de l'entrée d'air équivalente.

ANNEXE 9

Cas des chaudières à gaz raccordées

1 - OBJET

Dans la solution proposée (voir schéma 1), le conduit de ventilation dessert à la fois :

- une chaudière à gaz par l'intermédiaire d'un conduit de raccordement,
- Une grille manoeuvrable par l'occupant entre une position grande ouverte correspondant au grand débit de la réglementation et une position fermée correspondant au débit minimal.

La section de cette grille doit être suffisamment faible. En effet, dans le cas contraire, le débit extrait par le conduit de raccordement est insuffisant pour assurer le bon fonctionnement de la chaudière à gaz.

Il n'est pas possible, faute d'études suffisantes, de préciser dans l'immédiat la valeur limite de cette section. On peut, toutefois dans une première étape, et en se référant à une version antérieure du D.T.U 61-1 où cette solution était définie, retenir la valeur 50 cm^2 .

L'objet de la présente annexe est, en se référant à cette valeur de 50 cm^2 , de donner une évaluation des débits extraits qu'il est possible d'obtenir, à la fois lorsque la grille est ouverte, et lorsqu'elle est fermée.

2 - CALCULS2.1 - Hypothèses

Les calculs sont menés en considérant les hypothèses suivantes correspondant à un cas type :

- conduit de raccordement : . longueur 1,50 m
 - . diamètre 125 mm
 - . un coude à 90° (rayon moyen de courbure 125mm)
- perte de charge du coupe-tirage : 1,5 Pa sous $100 \text{ m}^3/\text{h}$

2.2 - Calcul de la perte de charge de l'ensemble conduit + coupe tirage

On calcule cette perte de charge lorsque cette chaudière est à l'arrêt en considérant un débit de référence de $80 \text{ m}^3/\text{h}$:

- perte de charge linéique : 0,62 Pa
- perte de charge du coude ($\xi = 0,316$) 0,61 Pa
- coupe tirage : 0,96 Pa.

La perte de charge totale est donc de 2,2 Pa, ce qui équivaut, dans le cas d'une grille à larges mailles ($\xi = 3,8$) à une section de grille de 225 cm^2 .

2.3 - Calcul des débits extraits moyens

Compte tenu du calcul précédent, on peut estimer que l'ensemble grille + conduit de raccordement est équivalent à une grille de section variable :

- à grand débit : 275 cm^2
- à petit débit : 225 cm^2 .

Il est alors possible, par utilisation du code de calcul GAINÉ, d'en déduire les valeurs moyennes du débit extrait en cuisine.

Le calcul a été effectué pour deux valeurs de la perméabilité P de l'enveloppe, de la longueur L du conduit, du coefficient de dépression C à son débouché, et de la température intérieure : 19°C et 50°C représentatives respectivement d'une chaudière à l'arrêt et d'une chaudière en fonctionnement. On a considéré un conduit de diamètre 22 cm et des entrées d'air dont le débit type total est de $150 \text{ m}^3/\text{h}$ sous 10 Pa.

Les résultats sont présentés au tableau 1. Pour chaque cas on a fait figurer deux valeurs du débit correspondant, l'une à un débouché de conduit présentant une perte de charge de 1 Pa pour un débit de $150 \text{ m}^3/\text{h}$, l'autre à une perte de charge nulle.

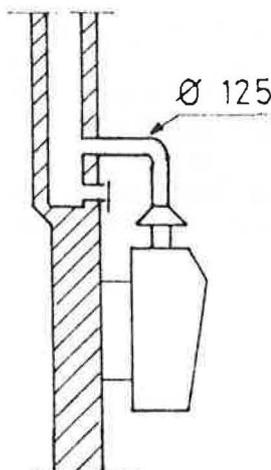


schéma 1

P	L	C	Chaudière à l'arrêt (19C)		Chaudière en fonctionnement (50°C)	
			grand débit	petit débit	grand débit	petit débit
40	3	0,2	63 et 66	48 et 51	95 et 101	73 et 79
40	3	0,6	73 et 77	56 et 60	102 et 108	78 et 84
40	4	0,2	67 et 71	51 et 54	105 et 111	80 et 86
40	4	0,6	77 et 81	59 et 66	111 et 118	85 et 91
100	3	0,2	74 et 79	58 et 63	109 et 117	86 et 94
100	3	0,6	84 et 90	66 et 72	116 et 124	92 et 101
100	4	0,2	78 et 84	62 et 69	119 et 128	94 et 103
100	4	0,6	88 et 94	70 et 76	126 et 136	100 et 110

TABLEAU 1

Débits moyens extraits en cuisine pour les deux positions extrêmes de la grille de ventilation.

2.4 - Analyse des Résultats

On constate au vu du tableau 1 que l'adjonction d'une grille de section 50 cm^2 conduit à une augmentation de débit de l'ordre de 15 à $20 \text{ m}^3/\text{h}$, lorsque la chaudière est à l'arrêt, de 20 à $30 \text{ m}^3/\text{h}$ lorsque la chaudière fonctionne.

Lorsque la chaudière est arrêtée, la valeur moyenne du grand débit, de l'ordre de 75 à $80 \text{ m}^3/\text{h}$ est inférieure à l'exigence réglementaire (105 à $135 \text{ m}^3/\text{h}$ selon le nombre de pièces). En revanche, les débits requis peuvent être atteints lorsque la chaudière fonctionne.

La valeur moyenne du petit débit, voisine de $60 \text{ m}^3/\text{h}$ pour une chaudière à l'arrêt et $90 \text{ m}^3/\text{h}$ pour une chaudière en fonctionnement, reste toujours supérieure à la valeur minimale réglementaire ($45 \text{ m}^3/\text{h}$).

On notera enfin que les résultats présentés ici ont valeur de première indication : le débit réellement extrait est notamment fonction de la perte de charge du coupe tirage de l'appareil à gaz dont la valeur varie selon les appareils. Il y aurait lieu, de plus, de définir des scénarios de fonctionnement de la chaudière à gaz afin d'affiner la prise en compte du tirage thermique.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- (1) Redwan MOUNAJED : Note de présentation du Code de Calcul
GAINE
CSTB - CTBE/TASE n° 86.3737 - 4 Novembre 1986
- (2) Exemples de Solutions pour faciliter l'application du
règlement de construction des bâtiments d'habitation,
titre II : Ventilation
Cahier du CSTB n° 1071 - Livraison 124 - Novembre 1971
- (3) I. E. IDEL' CICK : Mémento des pertes de charge
Eyrolles 1969
- (4) M. A. GONZALEZ : On the aerodynamics of natural ventilators
Building Environment - Vol 19 - N°3 PP 179-189 - 1984
- (5) International Mathematical and Statistical Libraries
user's manual - Volume 4 - November 1984 -
- (6) Jacques GANDEMER : Ecoulements et charges induites par le
vent sur les bâtiments
Cahier du CSTB n° 2045 - Livraison 265 - Décembre 1985
- (7) Christian SACRE : La simulation de la météo
CSTB Magazine n° 4 - Mai 1987

