

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

é n e r g i e

**La ventilation des bâtiments
en relation avec la consommation d'énergie
pour le chauffage**

COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

é n e r g i e

La ventilation des bâtiments en relation avec la consommation d'énergie pour le chauffage

RAPPORT III

G. CARPENTIER et J. UYTENBROECK

Rapport présenté par le
Centre scientifique et technique de la Construction
41, rue du Lombard, 1000 Bruxelles

à la

Direction générale du Marché intérieur et des Affaires industrielles de la
Commission des Communautés européennes

Publié par
COMMISSION DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES
Direction générale
« Information scientifique et technique et gestion de l'Information »
Bâtiment Jean Monnet
LUXEMBOURG

AVERTISSEMENT

Ni la Commission des Communautés européennes, ni aucune autre personne agissant au nom de la Commission, n'est responsable de l'usage qui pourrait être fait des informations ci-après

Une fiche bibliographique figure à la fin de l'ouvrage

© CECA-CEE-CEEA, Bruxelles-Luxembourg, 1978

Printed in Belgium

ISBN 92-825-0674-6

N° de catalogue : CD-ND-78-011-FR-C

Sommaire

1.	Préface.	p. 1
2.	Introduction.	p. 2
3.	Considérations physiologiques.	p. 5
	3.1. Les besoins en oxygène.	p. 5
	3.2. Contamination de l'air par l'occupant.	p. 5
	3.3. Contamination de l'air par l'activité physique humaine.	p. 6
	3.4. Contamination par les matériaux et produits.	p. 6
	3.5. Concentration maximale en contaminants - Tolérances à appliquer.	p. 6
	3.6. Détermination des besoins en air frais.	p. 7
	3.7. Exigences de ventilation.	p. 9
	3.8. Proposition.	p. 13
4.	Ventilation et infiltration d'air.	p. 15
	4.1. Considérations générales.	p. 15
	4.2. Débit d'infiltration d'air.	p. 15
	4.3. Importance des infiltrations d'air.	p. 16
	4.4. Caractéristiques de l'enveloppe extérieure.	p. 18
	4.5. Le tirage thermique.	p. 19
	4.6. Action du vent.	p. 20
	4.7. Les résistances internes à la circulation d'air.	p. 30
	4.8. Récapitulation.	p. 31
5.	Conclusions et interprétation.	p. 33
6.	Comparaison de la réglementation en matière de ventilation en vigueur dans les pays membres de la C.E.E.	p. 38
	6.1. Base de comparaison.	p. 38
	6.2. Exigences de ventilation en vigueur dans les pays membres de la C.E.E.	p. 38
7.	Détermination de l'étanchéité à l'air des bâtiments.	p. 55
	7.1. Les méthodes d'essai.	p. 55
	7.2. Les méthodes d'essai aux gaz traceurs	p. 55
	7.3. Méthodes de mesures agissant sur la pression dans les locaux ou les bâtiments.	p. 56
8.	Bibliographie.	p. 58

LA VENTILATION DES BATIMENTS EN RELATION
AVEC LA CONSOMMATION D'ENERGIE POUR LE CHAUFFAGE

1. Préface

La ventilation des locaux fait régulièrement l'objet de discussions dans les milieux s'intéressant à l'économie de l'énergie. Certains sont d'avis que la ventilation des bâtiments est trop importante, d'autres, par contre, prétendent que la ventilation est insuffisante dans la plupart des cas. Cette divergence des points de vue illustre la connaissance imparfaite du phénomène.

En ce qui concerne la santé et le confort des occupants, la ventilation correcte des locaux est indispensable, mais étant donné l'effet de cette ventilation sur la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments, il est nécessaire qu'elle soit limitée à un niveau tel que le confort voulu puisse être réalisé; ventiler plus signifie gaspillage d'énergie.

L'on peut se former une idée de ce gaspillage en considérant les différents paramètres intervenant dans la consommation d'énergie; une expression traduisant la cohésion de ces paramètres a été proposée dans notre rapport II < 1 >. Lors de la discussion de ce rapport, il est apparu qu'une connaissance suffisante de certains paramètres fait défaut, c'est notamment le cas pour la ventilation des bâtiments.

Dans l'optique de faire le point au sujet de la connaissance actuelle du paramètre "ventilation", le C.S.T.C. a accepté, à la demande de la C.C.E., de réaliser une étude bibliographique à ce sujet. Le but de cette étude consiste d'abord à examiner si la littérature disponible permet une définition suffisamment précise des besoins de renouvellement d'air des locaux. Ensuite, nous examinons comment les besoins en air frais ont été traduits en termes réglementaires actuellement en vigueur dans les différents pays membres de la C.E.E. Finalement, nous donnons un aperçu des méthodes d'essai couramment utilisées pour le contrôle de l'étanchéité à l'air de l'enveloppe extérieure des bâtiments. La comparaison des résultats de ces mesures nous semblait intéressante; en effet, ce n'est que lorsque les infiltrations d'air dans les bâtiments sont connues que l'on peut juger d'autres mesures éventuellement à prendre.

2. Introduction

La littérature approche généralement la définition de la qualité de l'air de deux façons :

- du point de vue de l'hygiène, il est important de connaître la concentration maximale admissible en produits nuisibles à la santé ou en produits irritants. Ceci est d'un intérêt particulier pour les établissements industriels;
- le fait de satisfaire aux critères de santé ne signifie pas que l'air puisse être qualifié de confortable. Dans les locaux d'habitation et de bureaux, la qualité de l'air est généralement jugée sur base de la présence plus ou moins grande de matières odorantes.

La pollution de l'air d'un local est combattue par l'introduction d'air frais et l'évacuation de l'air vicié.

En matière de ventilation des bâtiments, il faut distinguer :

- le volume d'air introduit volontairement soit par l'ouverture de dispositifs de ventilation soit mécaniquement,
- le volume d'air qui s'infiltré par les imperfections de l'enveloppe extérieure du bâtiment. Le volume d'infiltration d'air dépend des conditions atmosphériques et des caractéristiques de l'enveloppe du bâtiment.

Pratiquement tous les pays disposent de règles de bonne pratique renseignant le taux de renouvellement d'air des locaux en fonction de leur destination. Ces règles sont normalement utilisées pour le calcul des déperditions de chaleur et donc pour le dimensionnement des installations de chauffage, et la connaissance du taux réel de renouvellement d'air manque donc complètement.

En se basant sur ces règles, on peut donc garantir que pour les volumes d'air frais considérés, l'installation de chauffage donnera encore satisfaction même pour des conditions climatiques assez sévères. Mais ces règles ne nous disent rien quant aux volumes d'air qui entrent réellement dans les locaux.

On peut penser que le souci pour le contrôle et la connaissance des infiltrations ou de la ventilation n'est pas né avec la crise énergétique mais plutôt avec la mode des bâtiments élevés.

En effet dans les bâtiments élevés, tous les problèmes qu'on rencontre dans des bâtiments normaux se trouvent multipliés par un facteur proportionnel à la hauteur et ceci est certainement vrai pour l'infiltration ou la ventilation.

N'oublions pas en effet que les bâtiments élevés :

- ont généralement des locaux à grandes profondeurs qui nécessitent en permanence un éclairage artificiel important et une ventilation mécanique de tous les locaux aveugles
- ont généralement un taux très élevé de vitrage (en % des façades)
- sont généralement assez légers
- disposent donc impérativement d'une installation de conditionnement d'air; le bon fonctionnement de cette installation de conditionnement d'air impose un contrôle suffisamment précis des infiltrations d'air sauvages, contrôle qui est beaucoup plus difficile dans les bâtiments élevés surtout par leur exposition aux vents forts, par la grande longueur des joints dans les façades légères et par l'effet de cheminée considérable.

On comprend dès lors que tous ceux qui s'intéressaient à la construction de bâtiments élevés sont très rapidement arrivés aux conclusions suivantes :

- il faut des façades très étanches
- il faut des systèmes de ventilation mécanique contrôlée dans tous les locaux.

Ces conclusions ont été traduites en partie en règles, normes ou réglementations (ex. test d'étanchéité des éléments de façades) auxquelles l'industrie a essayé de satisfaire.

Et actuellement, il est donc possible de réaliser des bâtiments suffisamment étanches et de les équiper d'une installation complète de ventilation mécanique contrôlée (V.M.C.).

Si tout ce qui précède est indispensable pour tout bâtiment élevé, il faut être extrêmement prudent avant de généraliser ces conclusions à d'autres bâtiments.

S'il est vrai que la mode des bâtiments élevés est en retraite, il faut être attentif à ne pas imposer, pour la construction normale, des solutions qui étaient indispensables pour la construction en hauteur, mais qui pourraient être inutiles et anti-économique pour la construction traditionnelle.

Il faut donc retourner aux questions de base :

- quels sont les besoins en air de ventilation des divers types de bâtiments et ceci en fonction e.a. de l'occupation de ces bâtiments ?

- quelles sont les caractéristiques d'étanchéité requises de ces bâtiments ?
- en fonction des réponses sur les deux questions précédentes, quelles sont les caractéristiques des systèmes de ventilation à prévoir éventuellement ?

Comme suite à l'évolution schématisée ci-dessus, on a entrepris dans tous les pays des études et des essais sur l'étanchéité surtout des éléments légers des façades (murs-rideaux, châssis de fenêtre).

Ces travaux ont donné lieu à des méthodes d'essais et des réglementations assez sévères pour ces éléments. Mais il faut avouer que les connaissances ainsi obtenues ne permettent pas de se faire une idée suffisamment précise au sujet de l'infiltration réelle d'air extérieur dans les bâtiments.

Depuis la crise énergétique, le problème s'est posé de connaître cette infiltration d'air extérieur avec plus de précision. Diverses méthodes de mesure ont été utilisées et proposées. Les résultats obtenus par ces méthodes ne sont pas toujours comparables. Mais il est utile de signaler ici que grâce à ces mesures in situ on a pu constater que la perméabilité à l'air d'un bâtiment normal était fonction non seulement des qualités des châssis de portes et fenêtres mais dépendant en grande partie de l'étanchéité parfois très médiocre d'autres éléments de construction ou de l'existence de fissures ou de joints entre éléments supposés jusqu'à présent comme étanches.

*

3. Considérations physiologiques

Par le processus de la vie, l'organisme consomme de l'oxygène et dégage des contaminants dans l'air. Des contaminants proviennent aussi de l'activité humaine et de la présence de certains matériaux ou produits.

La ventilation des locaux a comme buts principaux :

- l'apport de la quantité d'oxygène nécessaire à la respiration
- l'évacuation des contaminants

de façon qu'il en résulte des conditions suffisantes d'hygiène et de confort pour l'occupant.

3.1. Les besoins en oxygène

Par la respiration, la teneur en oxygène de l'air dans les poumons descend de 21 % à 16,5 %. Un adulte physiquement au repos consomme en moyenne 100 litres d'oxygène à l'heure (0,028 l/s).

Fanger < 2 > propose une expression permettant de calculer la quantité d'air expiré,

$$G = 0,0052 M$$

G = quantité d'air expiré en kg/h

M = métabolisme en Watt

Le besoin d'oxygène pour la respiration est largement couvert lorsqu'on considère d'autres nuisances. Les taux de ventilation ne tiennent pas compte directement des nécessités respiratoires toujours satisfaites lorsque les conditions énoncées aux paragraphes suivants sont respectées.

Aucun préjudice à la sensation de bien-être ne semble être constaté jusqu'à une teneur de 16,5 % (en volume) de O₂ dans l'air d'un local occupé < 3 >.

3.2. Contamination de l'air par l'occupant

Au repos ou faiblement actif, l'occupant dégage en moyenne :

- environ 115 W de chaleur
- environ 38 g/h de vapeur d'eau (à 20°C)
- environ 20 l/h de CO₂
- diverses traces gazeuses (NH₃ - H₂S, etc) qui constituent les matières odorantes
- diverses particules de poussière (peau, vêtements, etc)
- des micro-organismes.

Lorsque l'occupant fume, on peut considérer que la contamination est plus que doublée quantitativement. La cigarette dégage directement dans le local < 4 > :

- du CO : 22 à 100 mg/cigarette
- du CO₂ : 57 à 98 mg/cigarette
- de l'acroléine (gaz lacrymogène attaquant les muqueuses) :
0,4 à 0,7 mg/cigarette (1 mg acroléine = 4×10^{-7} m³ dans les conditions normales d'un local)
- diverses particules solides et liquides (goutelettes de nicotine, de goudron, etc) : 400 à 500 mg/cigarette.

3.3. Contamination de l'air par l'activité physique humaine

Les processus de production et de transformation dégagent des gaz et des particules solides, la nature et la quantité de contaminants est fonction de la fabrication.

Dans le cas de logements, il s'agit essentiellement de l'activité culinaire et d'odeurs provenant des salles d'eaux et des toilettes.

3.4. Contamination par les matériaux et produits

En plus des poussières dégagées par les matériaux, il faut tenir compte de la toxicité de certains constituants des peintures, colles et agglomérés (composés de mercure, résines phénoliques, etc) et des produits d'entretien et de nettoyage.

En principe les évaporations résiduelles de solvants par exemple s'atténuent dans le temps.

Certains matériaux présents dans les locaux absorbent les odeurs pendant la période d'occupation et les restituent après, c'est notamment le cas pour les matériaux textiles.

Les odeurs absorbées et le degré d'absorption sont fonction de la nature du textile. La restitution des odeurs après l'occupation est plus rapide lorsque l'humidité relative de l'air du local est plus faible < 5 >.

3.5. Concentration maximale en contaminants - Tolérances à appliquer

La liste des valeurs MAC (Maximum Allowable Concentration) renseigne la concentration en produits nuisibles considérés comme maximum pour un séjour continu de 8 heures (lieu de travail). Le respect de la tolérance MAC

garantit donc un niveau minimum d'hygiène, ces tolérances sont toutefois trop larges pour garantir un réel confort de l'occupant.

En contamination humaine, on considère souvent le CO₂ comme un traceur sans grande toxicité propre mais facilement mesurable et produit en proportion constante avec les autres contaminants (notamment les odeurs) qui, eux, sont difficilement mesurables. Il est cependant possible que la toxicité du CO₂ est sous-estimée < 6 >.

La valeur limite de la teneur en CO₂ physiologiquement admissible (indice MAC) est de 0,5 % en volume. Dans l'optique d'obtenir une qualité d'air raisonnable exempte d'odeurs, il est souvent admis une teneur maximale en CO₂ de 0,15 % en volume voire 0,1 % < 6 > < 7 >.

La plupart des auteurs et des règlements en vigueur se basent sur ces chiffres qui résultent en fait de considérations subjectives.

En plus des concentrations gazeuses, on devrait limiter celles en poussière et en bactéries, mais les teneurs limites acceptables sont encore mal définies < 6 >.

Le problème se complique en raison des interactions possibles entre les différents contaminants, par exemple, les poussières véhiculent les bactéries, ces poussières souvent hygroscopiques se déposent plus rapidement si le degré hygrométrique de l'air est plus élevé et peuvent dans ce cas être moins nocives.

Aussi la perceptibilité des odeurs est influencée par le degré d'humidité de l'air dans ce sens que l'intensité des odeurs diminue lorsque l'humidité relative augmente. Cet effet est plus prononcé pour certaines odeurs que pour d'autres.

Une personne s'adapte relativement vite aux odeurs au début de la période d'exposition, le niveau de perceptibilité diminue lors d'une exposition prolongée mais, l'irritation augmente lorsque ces odeurs ont en même temps un effet irritant. C'est notamment le cas pour la fumée de tabac, l'irritation des yeux et du nez augmente dans le temps. L'irritation est plus prononcée dans le cas d'humidité relative faible de l'air < 5 >.

Compte tenu de la multiplicité des contaminants humains, il semble difficile de caractériser la qualité de l'air par un critère unique < 6 >.

3.6. Détermination des besoins en air frais

Les besoins en air frais résultent d'un bilan de contamination des locaux en appliquant les tolérances choisies. La teneur en CO₂ de l'air des villes

est de l'ordre de 0,03 à 0,04 % en volume, mais peut varier jusque 0,07 % de CO₂ dans des zones industrielles très polluées. En d'autres termes, l'air frais est déjà contaminé < 6 > < 8 >. Il faut donc tenir compte :

- des sources de contamination (nature et quantité de contaminants produits)
- de l'intermittence de la production de contaminants
- de la teneur en impuretés de l'air d'apport.

De ce qui précède, il semble utile de grouper les bâtiments comme suit :

- bâtiment où la contamination de l'air résulte pratiquement exclusivement de la présence humaine cãd les logements et les immeubles à usage de bureaux
- bâtiments où la contamination de l'air résulte surtout d'une activité professionnelle cãd les immeubles industriels, hôpitaux, etc.

Nous ne considérons pas ici les locaux dont l'occupation est très intermittente par exemple les salles de spectacle etc. Nous n'avons pas considéré non plus la contrainte de maintenir une température déterminée dans les locaux ni le problème de la condensation de vapeur d'eau sur les parois des locaux à forte production de vapeur d'eau. Ces problèmes doivent être considérés en relation respectivement avec le confort thermique et l'isolation thermique des structures. Nous nous limitons donc au problème du maintien de la qualité de l'air pendant la période de chauffage.

En ce qui concerne les logements, l'occupation et donc aussi les besoins en air frais sont variables d'une heure à l'autre.

L'occupation des immeubles de bureaux peut être considérée comme constante pendant une période donnée de la journée (généralement 8 heures par jour). Pendant cette période, les besoins en air frais sont maximaux et pratiquement constants. En dehors des périodes d'occupation (environ 2/3 de la journée), les besoins en air frais sont pratiquement nuls et on peut se contenter d'une très légère ventilation pour évacuer les odeurs dégagées par les matériaux et produits présents dans les locaux.

Pour limiter la teneur en CO₂ respectivement à 0,5 - 0,15 ou 0,1 %, il faut apporter, dans le cas d'occupation continue, 4,25 - 16,6 ou 28,6 m³/h pour chaque occupant en supposant une production de CO₂ de 20 l/h et une concentration de 0,03 % de CO₂ dans l'air d'apport. Ces débits peuvent être réduits si la ventilation est continue alors que les locaux ne sont occupés que par intermittence. Le volume disponible par personne joue un rôle favorable dans le cas de contamination intermittente. Lorsque ce volume est plus important, la concentration en contaminants croît effectivement moins rapidement.

Pour la facilité des calculs de déperdition de chaleur des bâtiments, le volume d'air frais introduit par heure est souvent traduit en un seul chiffre appelé taux de renouvellement d'air.

Ce taux de renouvellement d'air n est défini comme suit :

$$n = \frac{\text{volume d'air frais introduit par heure (m}^3 \cdot \text{h}^{-1})}{\text{volume du bâtiment (m}^3)} \quad (\text{h}^{-1})$$

Le taux de renouvellement d'air ne permet pas de se former une idée précise si la ventilation d'un bâtiment est trop faible ou exagérée puisque le volume d'air frais à introduire est fonction du nombre d'occupants de ce bâtiment.

3.7. Exigences de ventilation

Sur base de travaux de Yaglou, l'ASHRAE < 5 > et l'IHVE guide < 9 > proposent un débit d'air minimal décroissant au fur et à mesure qu'augmente le volume disponible par personne.

Les valeurs proposées par l'IHVE guide sont reprises au tableau suivant :

Volume disponible par personne m ³ /pers.	Apport d'air frais par personne					
	Minimum		Minima recommandés			
	m ³ /h	l/s	interdiction de fumer		autorisation de fumer	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
3	40,68	11,3	61,2	17,0	81,36	22,6
6	25,56	7,1	38,52	10,7	51,12	14,2
9	18,72	5,2	28,08	7,8	37,44	10,4
12	14,4	4,0	21,6	6,0	28,8	8,0

L'apport minimal d'air frais (exempt d'odeurs) par personne (dans les conditions de laboratoire), renseigné par l'ASHRAE 1972 < 5 > correspond à peu près aux valeurs de l'IHVE guide, notamment :

Volume disponible par personne (m ³)	Apport minimal d'air frais (exempt d'odeurs) par personne (m ³ /h)
2,7	42,5
5,4	27,2
8,1	20,4
13,5	11,9

L'ASHRAE 1977 < 10 > propose les valeurs suivantes :

	Minima		Minima recommandés	
	m ³ /h	l/s	m ³ /h	l/s
Pièces de séjour et chambres à coucher (par personne)	9	2,5	12,6 à 18	3,5 à 5
Cuisines (pour le local)	36	10	54 à 90	15 à 25

Les règles allemandes de ventilation VDI < 11 > recommandent de partir des valeurs minimales suivantes en fonction de la température extérieure.

Température de l'air extérieur (°C)	Apport d'air frais par personne en m ³ /h	
	interdiction de fumer	autorisation de fumer
- 20	8	12
- 15	10	15
- 10	13	20
- 5	16	24
0 à 26	20	30
> 26	15	23

Les règles VDI acceptent donc un confort de moindre qualité pendant les périodes très froides et très chaudes.

Sur base d'expériences réalisées en URSS (Goromosov & Ciper 1952; Sakovskaja 1963; Sergeev 1963), Goromosov < 6 > propose un débit d'air minimum de 25 à 30 m³ par heure et par personne dans toutes les conditions.

L'ASHRAE 1977 recommande deux valeurs comme minima; ces valeurs correspondent sans doute respectivement aux locaux où il est interdit de fumer et à ceux où il est permis de fumer.

Remarquons que les valeurs de l'ASHRAE 1977 sont nettement plus faibles que celles proposées par l'IHVE guide et par les règles VDI (12,6 à 18 m³/h

par rapport respectivement à 21,6 - 28,8 m³/h et 20 - 30 m³/h).

Il est à noter que l'ASHRAE 1977 a été édité après le début de la crise énergétique, les valeurs plus faibles pourraient donc résulter de considérations d'économie d'énergie.

Le débit total de ventilation résulte d'un débit d'air introduit par les dispositifs de ventilation et un débit d'infiltration d'air (voir 4.1). Il n'est pas exclu que les valeurs proposées constituent le débit d'air introduit par les dispositifs de ventilation, dans ce cas, on pourrait considérer que les valeurs plus faibles résultent d'une meilleure connaissance du débit d'infiltration d'air.

Les exigences de ventilation, dans le cas de présence de fumeurs, sont d'environ 50 % plus élevées que dans le cas d'absence de fumeurs. Au 3.2, nous avons signalé que la contamination est quantitativement plus que doublée par la fumée de tabac. Les chiffres proposés tiennent donc compte de la présence de non-fumeurs dans la même pièce.

Les débits d'air proposés sont à peu près tous du même ordre de grandeur cãd :

- environ 20 m³/h par personne dans le cas de locaux avec interdiction de fumer
- environ 30 m³/h par personne dans le cas de locaux avec autorisation de fumer.

A notre connaissance seul l'ASHRAE 1977 propose actuellement des valeurs plus faibles.

En nous basant sur ces chiffres, nous avons calculé les besoins de ventilation de quelques bâtiments. Nous avons déterminé les dimensions minimales des logements en nous basant sur les normes élaborées conjointement par l'Union Internationale des Organismes Familiaux (UIOF) et la Fédération Internationale de l'Urbanisme, de l'Habitation et de l'Aménagement du Territoire (FIUH) < 12 > cãd d'une surface totale minimale de 66 m² pour une famille de 3/4 personnes et une surface totale minimale de 87 m² pour une famille de 4/6 personnes.

Ensuite nous avons appliqué les mêmes calculs à des logements d'une surface de 50 % supérieure à celle des logements précédents (cette surface est sans doute plus courante actuellement). Les calculs avec un apport d'air frais de 20 m³/h correspondent à peu de choses près aux recommandations actuelles de l'ASHRAE. Les calculs sont résumés au tableau ci-après.

Logement	surface habitable (m ²)	volume total (m ³)	Volume d'air frais		Taux de renouvellement n	
			20 m ³ /pers (m ³)	30 m ³ /pers (m ³)	20 m ³ /pers (h ⁻¹)	30 m ³ /pers (h ⁻¹)
3/4 pers	66	165	80	120	0,485	0,727
4/6 pers	87	217,5	120	180	0,55	0,827
3/4 pers	100	250	80	120	0,32	0,48
4/6 pers	130	325	120	180	0,37	0,55

Ces chiffres ne tiennent pas compte de l'occupation intermittente des logements.

D'après les calculs, l'ordre de grandeur du taux de renouvellement d'air est de :

- n ≈ 0,5 à 0,8 (h⁻¹) dans le cas de logements à volume réduit
- n ≈ 0,35 à 0,5 (h⁻¹) dans le cas de logements plus spacieux.

Ces chiffres sont valables pour une occupation continue.

Nous ne disposons pas d'arguments permettant d'affirmer que l'augmentation du taux de renouvellement d'air au delà des chiffres cités conduirait à une amélioration sensible de l'hygiène ou du confort dans les logements.

Nous avons appliqué les mêmes calculs à des locaux de bureaux, en nous basant sur les volumes suivants :

- bureau à grande densité d'occupation : 11,5 m³ par personne (volume minimal par personne prévu au Royaume-Uni)
- petit bureau individuel et bureau paysager : 30 m³ par personne
- bureau individuel normal (4 x 4 x 3) = 48 m³ par personne

Volume disponible par personne	Volume d'air frais		Taux de renouvellement n	
	20 m ³ /pers	30 m ³ /pers	20 m ³ /pers (h ⁻¹)	30 m ³ /pers (h ⁻¹)
11,5 m ³	20	30	1,74	2,60
30 m ³	20	30	0,66	1
48 m ³	20	30	0,41	0,625

Ce taux de renouvellement d'air devrait pouvoir être réalisé pendant les heures d'occupation; en dehors de cette période, la ventilation peut être très réduite.

3.8. Proposition

Nous avons déjà signalé que le taux de renouvellement d'air n ne nous semble pas le paramètre indiqué permettant de se former une idée précise de la qualité de la ventilation d'un bâtiment (voir 3.6).

L'apport horaire d'air frais D (m^3/h) est fonction :

- du volume d'air frais nécessaire par personne d ($m^3/h.pers$)
- du nombre de personnes présentes dans le bâtiment p

$$D = d \cdot p \cdot (m^3/h) \quad (1)$$

Le taux de ventilation n est égal à :

$$n = \frac{D}{V} = \frac{d \cdot p}{V} \quad (h^{-1}) \quad (2)$$

V étant le volume du bâtiment (m^3).

Le volume du bâtiment étant égal à la surface totale de plancher $A(m^2)$ que multiplie la hauteur d'étage $h(m)$, on peut donc écrire :

$$n = \frac{D}{V} = \frac{d \cdot p}{A \cdot h} = \frac{d}{h} \cdot \frac{1}{A/p} \quad (h^{-1}) \quad (3)$$

Le facteur A/p représente la surface de plancher disponible par personne ($m^2/pers$):

En adoptant les valeurs de d retenues au § 3.7 càd 20 et 30 $m^3/h.pers$ et en fonction de la hauteur d'étage (par exemple 2,5 m) on peut représenter l'évolution de n en fonction de la surface de plancher disponible par personne.

$$n_1 = \frac{20}{2,5} \cdot \frac{1}{A/p} = \frac{8}{A/p} \quad (4)$$

$$n_2 = \frac{30}{2,5} \cdot \frac{1}{A/p} = \frac{12}{A/p} \quad (5)$$

Nous avons représenté ces expressions dans un diagramme ($A/p; n$) (fig. 1).

La zone située entre les deux courbes définit les besoins de ventilation.

Des apports d'air frais se situant au-dessus de la courbe n_2 indiquent une surventilation des bâtiments. Des apports d'air frais se situant en dessous de la courbe n_1 indiquent une ventilation trop faible et compromettent donc le confort.

On constate aussi que l'imposition d'une valeur n précise ne donne satisfaction que pour une gamme réduite des valeurs A/p (par exemple $n = 0,5$ donne satisfaction pour des valeurs A/p de 16 à 24 $m^2/pers$).

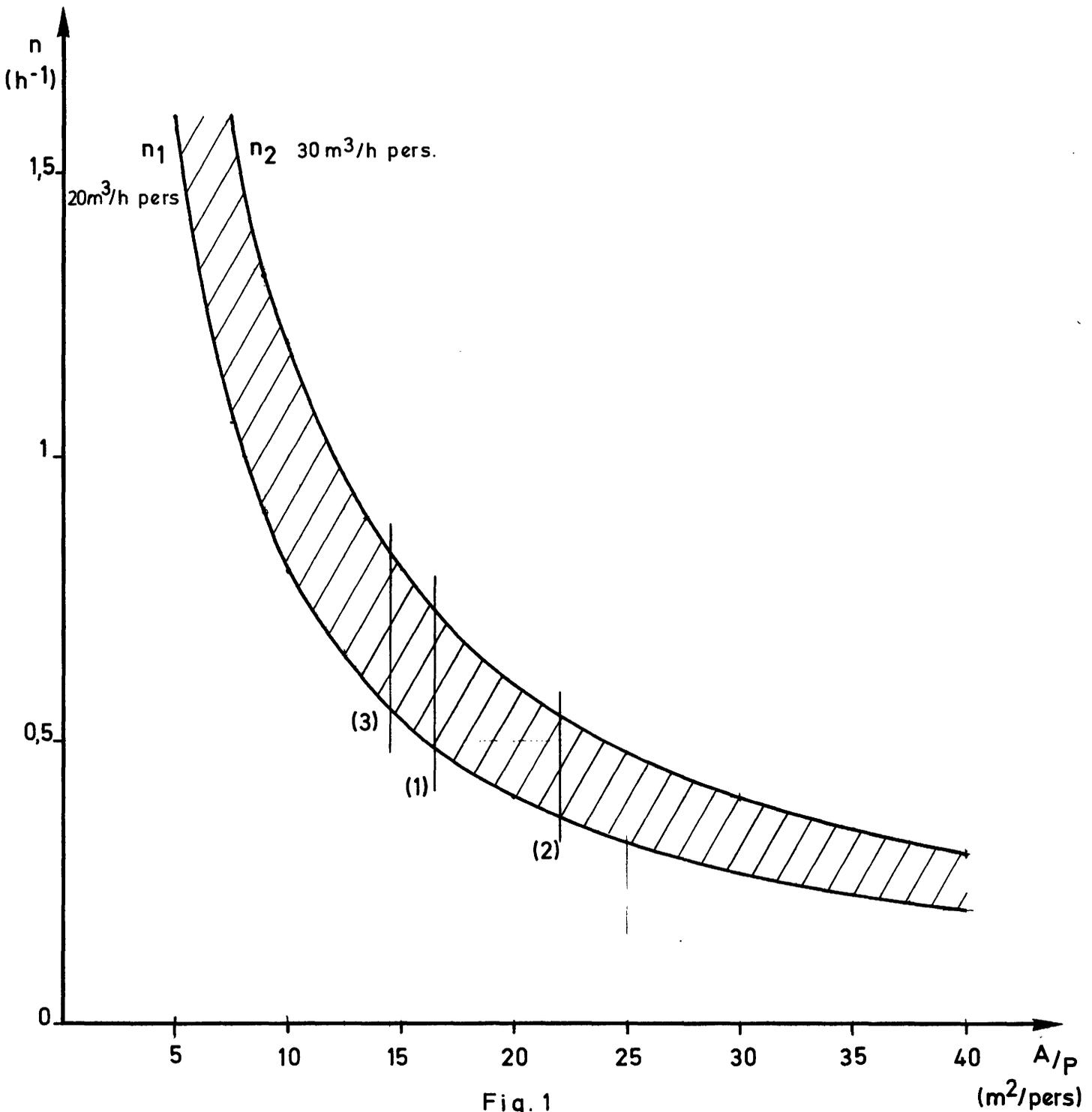


Fig. 1

- | | |
|---|---------------------|
| (1) logement de $66 m^2$ occupé par 4 personnes | $A/p = 16,5 m^2/p$ |
| (2) idem occupé par 3 personnes | $A/p = 22 m^2/p$ |
| logement de $87 m^2$ occupé par 4 personnes | $A/p = 21,75 m^2/p$ |
| (3) logement de $87 m^2$ occupé par 6 personnes | $A/p = 14,5 m^2/p$ |

4. Ventilation et infiltration d'air

4.1. Considérations générales

Le système de ventilation devrait pouvoir satisfaire les besoins à tout moment. Puisque ces besoins sont variables en fonction de l'occupation (nombre d'occupants et durée d'occupation) et étant donné l'influence de la ventilation sur la consommation d'énergie, l'apport d'air frais doit donc aussi être réglable. Le volume total de ventilation D_{tot} (m^3/h) est composé de deux facteurs, notamment :

- du volume d'air introduit par les dispositifs de ventilation D_v (m^3/h) (grilles, canaux verticaux, hotte de cuisine, VMC, etc)
- du volume d'infiltration d'air D_{inf} (m^3/h) entrant par les imperfections de l'enveloppe extérieure du bâtiment

$$D_{tot} = D_v + D_{inf} \quad (m^3/h)$$

Dans le cas de systèmes de ventilation mécanique, le débit D_v est dérangé par l'infiltration d'air; l'ordre de grandeur de D_v est connu.

Dans la plupart des bâtiments, la ventilation est réalisée par des moyens naturels tels que, ouvertures des dispositifs de ventilation, ouvertures de fenêtres lorsque les conditions climatiques le permettent, etc. Dans ce cas, la ventilation est réglable mais la fraction D_v n'est pas connue puisque l'influence des utilisateurs est déterminante.

Il est cependant important d'avoir une idée de la ventilation lorsque l'occupant s'efforce à réduire le débit d'air suite à l'influence des conditions climatologiques (température très basse, vent de vitesse élevé, etc). C'est donc avant tout le débit d'infiltration d'air D_{inf} qu'il est intéressant de connaître.

4.2. Débit d'infiltration d'air

Le débit d'infiltration d'air dépend en première instance des matériaux et éléments utilisés et des soins apportés à la mise en oeuvre, il peut donc être considéré comme une caractéristique du bâtiment.

Ce débit dépend ensuite de la différence de pression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment. Cette différence de pression résulte de l'action du vent et de la différence de température entre l'extérieur et l'intérieur.

$$\Delta p_{tot} = \Delta p_{vent} \pm \Delta p_{th} \quad (Pa)$$

Δp_{tot} = différence totale de pression (Pa)
 Δp_{vent} = différence de pression due à l'action du vent (Pa)
 Δp_{th} = tirage thermique (Pa)

Par suite de la variation de la pression totale, le débit d'infiltration d'air est également variable. Les résultats de mesure ne faisant pas intervenir ces variables, n'ont qu'une valeur qualitative et ne sont que difficilement comparables entre elles.

Le débit d'air dépend aussi de la perte de charge lors de son passage au travers du bâtiment (portes intérieures, grilles, etc) < 9 > < 13 > < 14 >.

4.3. Importance des infiltrations d'air

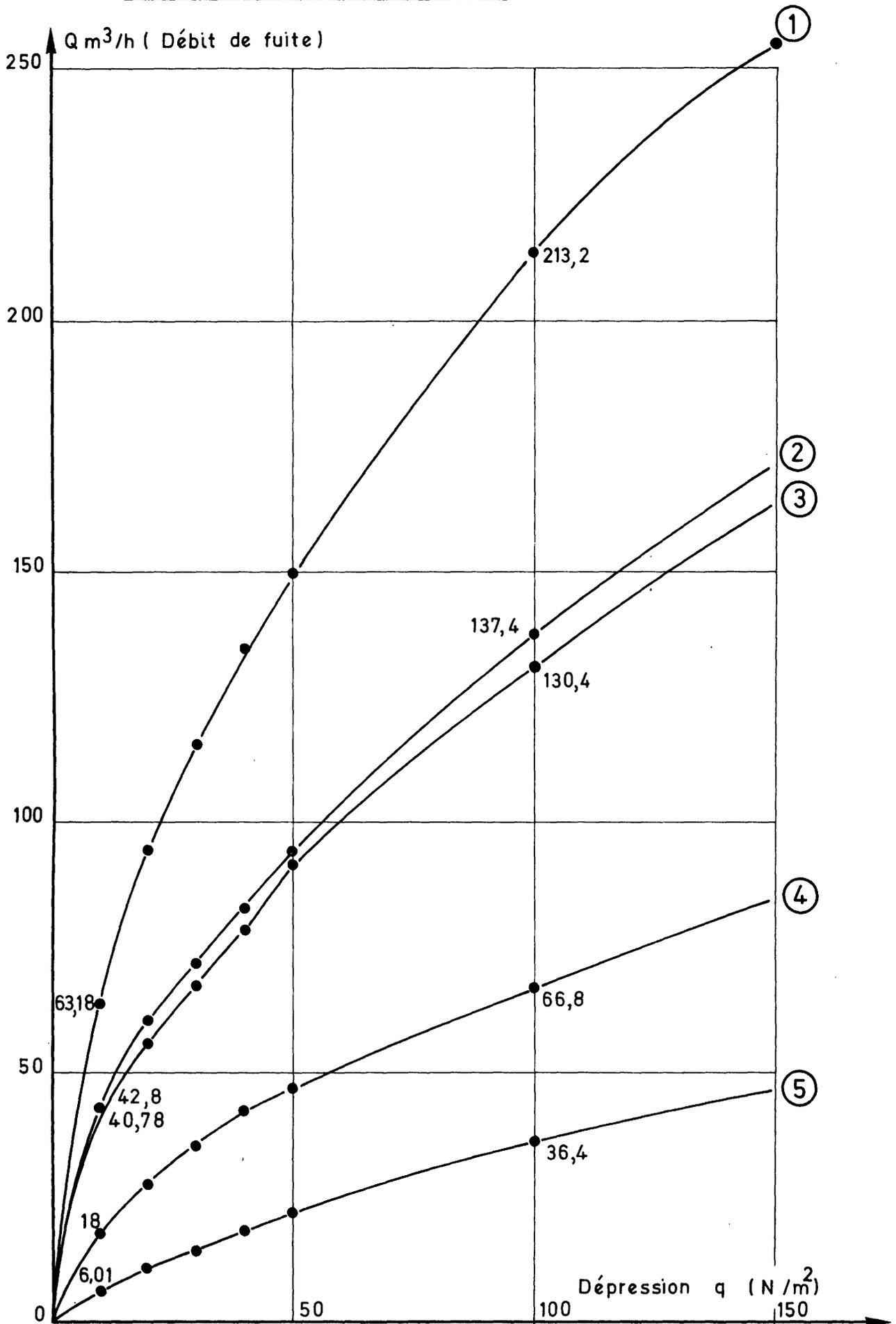
Les campagnes de mesures montrent que les bâtiments sont moins étanches à l'air qu'on ne le pensait et que cette étanchéité est souvent variable avec la saison par suite des variations dimensionnelles de certains éléments de construction soumis aux influences du climat extérieur (variations d'humidité et de température). Des mesures in situ ont permis de constater que les joints de la menuiserie extérieure ne présentent qu'une partie de l'inétanchéité < 15 > < 16 > < 17 > < 18 >.

Une étude expérimentale particulière a montré qu'environ 40 % de l'infiltration d'air passe au travers des joints de la menuiserie extérieure et environ 35 % de cette infiltration échappe encore à l'identification < 17 > ; d'autres essais réalisés par le C.S.T.C. ont permis d'identifier 95 % de la totalité du débit d'infiltration d'air. Par ailleurs, l'étude précitée < 17 > constate des variations importantes entre maisons identiques construites au même moment par le même personnel et au moyen d'éléments identiques. La figure 2 montre l'évolution de l'inétanchéité d'un local < 15 > :

- courbe 1 : volume d'infiltration d'air en fonction de la dépression réalisée dans le local
- courbe 2 : même évolution après avoir rendu étanche la porte intérieure
- courbe 3 : idem courbe 2 mais de plus les interrupteurs et prises de courant ont été rendus étanches
- courbe 4 : idem courbe 3 mais après étanchéisation du joint entre gros oeuvre et menuiserie extérieure
- courbe 5 : idem courbe 4 mais les battées de la menuiserie extérieure ont été rendues étanches.

Dans ce cas, environ 17 % de l'infiltration échappe à l'identification.

Fig. 2. Mesures d'étanchéité in situ



Diverses études font apparaître qu'il est difficile par diverses précautions d'étanchéité de réduire le taux d'infiltration en dessous de 0,3 à 0,4 volumes par heure; le minimum absolu semblerait correspondre à environ 0,12 vol/h < 18 > compte tenu des conditions d'essai.

Dans des maisons neuves courantes en Belgique, on trouve un taux d'infiltration d'air de l'ordre de 0,4 à 0,7 vol/h < 19 > pour un vent météorologique de l'ordre de 2 m/s. Cette même étude constate que l'infiltration est très variable d'un local à l'autre. Le minimum absolu d'environ 0,2 vol/h pour les constructions les plus soignées se retrouve aussi dans diverses études < 20 > < 21 >.

Remarques

- a) Nous avons déjà signalé que le taux d'infiltration d'air exprimé en volumes par heure ne permet pas de se former une idée précise du volume réel d'infiltration d'air (voir 3.6). Il n'est pas exclu que pour un bâtiment compact (surface extérieure S faible par rapport au volume V enfermé, donc S/V faible), ce taux d'infiltration d'air soit plus faible que dans le cas de bâtiments peu compacts (S/V élevé). Il n'est pas exclu non plus que le volume d'infiltration d'air pour un bâtiment donné, correspondant à une valeur de n faible, soit égal au volume d'infiltration d'air d'un autre bâtiment mais qui correspond dans ce cas à une valeur de n plus élevée; dans la détermination de n, le volume du bâtiment a en effet son importance.
- b) Les mesures sont faites dans des conditions météorologiques données, et il n'est pas possible d'extrapoler en tenant compte d'autres conditions < 19 >, notamment la vitesse et la direction du vent.
- c) Les conditions météorologiques au moment de l'essai ont une influence importante sur le résultat obtenu (surtout dans le cas de mesures au gaz traceur). Certains auteurs mentionnent la vitesse et la direction du vent de la station météorologique la plus proche, il n'est pas exclu que, par suite d'une exposition toute différente du bâtiment d'essai, la vitesse et la direction du vent y soient tout différentes (voir 4.6), ce qui peut fortement influencer le résultat.

4.4. Caractéristiques de l'enveloppe extérieure

Par la nature des fuites, il est difficile de déterminer la façon dont elles se distribuent dans le bâtiment < 16 >.

Les courbes de la figure 2 ont été obtenues par la mise en dépression d'un local (voir méthodes d'essai); dans cet essai interviennent aussi les fuites entre local d'essai et les locaux adjacents (fuites par les interrupteurs) <15> .

Ce qui nous intéresse est le débit d'air qui quitte le bâtiment, ceci peut être mesuré par la mise sous pression de l'ensemble du bâtiment < 22 >.

Sur base de ces essais, certains auteurs définissent une ouverture équivalente < 15 >, d'autres définissent un degré de perméabilité à l'air de l'enveloppe extérieure < 23 > < 24 > < 25 >.

L'ouverture équivalente représente la section d'ouverture que l'on devrait appliquer dans un bâtiment complètement étanche afin d'obtenir un débit d'air égal au débit de fuite. La perméabilité de l'enveloppe extérieure étant définie comme suit :

$$\text{perméabilité } \% = \frac{\text{surface de l'ouverture équivalente}}{\text{surface de l'enveloppe extérieure}} \times 100$$

La perméabilité à l'air des bâtiments semble être de l'ordre de 0,01 % à 0,05 % < 23 >.

La connaissance de l'ouverture équivalente ou du degré de perméabilité à l'air des bâtiments ainsi qu'une meilleure connaissance de la distribution de cette perméabilité sur la surface de l'enveloppe extérieure des bâtiments pourraient conduire à une connaissance plus précise du volume d'infiltration d'air. Une étude particulière démontre l'importance des hypothèses de distribution des fuites sur le résultat des calculs < 16 >.

4.5. Le tirage thermique

Le tirage thermique Δp_{th} résulte de la différence de température (et donc de la différence de masse volumique de l'air) entre l'intérieur et l'extérieur des bâtiments. Il peut être calculé par l'expression suivante :

$$\Delta p_{th} = g \cdot \rho \cdot h \cdot 273 \left(\frac{T_i - T_e}{T_i \times T_e} \right) \quad (\text{Pa})$$

Pour des différences de température de l'ordre de 10°K, le tirage thermique est d'environ :

$$\Delta p_{th} \approx 0,043 \cdot h \cdot \Delta t \quad (\text{Pa})$$

h : distance verticale entre ouvertures d'entrées et de sorties (m);

Δt : différence de température intérieure/extérieure (°K).

En dessous d'une certaine vitesse du vent ou lorsque le bâtiment est protégé du vent, l'infiltration d'air dépend essentiellement du tirage thermique.

Sous l'effet du tirage thermique, certaines parties du bâtiment sont en dépression et d'autres parties sont en surpression.

Il s'installe un plan de pression neutre où la pression est égale à la pression atmosphérique.

Dans le cas de bâtiments avec portes et fenêtres normalement fermées et suite au manque d'étanchéité de l'enveloppe extérieure, le plan neutre se situe généralement un peu au-dessus de la moitié de la hauteur du bâtiment à cause du manque d'étanchéité à l'air de la toiture.

Le tirage thermique a son importance sur la hauteur totale d'un bâtiment surtout lorsqu'il y a des communications entre les différents étages (cages d'escaliers, gaines d'ascenseurs, etc).

Le tirage thermique a aussi son importance dans chaque local individuellement à cause de la présence de joints de menuiserie non étanches.

En période hivernale, l'air entre dans le bâtiment en dessous du plan de pression neutre et quitte le bâtiment au-dessus de ce plan.

Ce phénomène peut avoir comme effet le refoulement d'odeur du rez-de-chaussée par la cage d'escalier dans les étages supérieurs < 3 > < 13 > < 26 >.

Le tirage thermique est généralement faible sauf dans le cas d'immeubles élevés avec cages d'escaliers dépourvues de portes aux différents paliers. Toutefois il peut donner naissance à des courants d'air importants. Des mesures dans un bâtiment expérimental ont montré que sous l'influence du tirage thermique, le taux de renouvellement d'air était de 0,38 vol/h < 27 >.

Certaines études et certains essais ont démontré l'efficacité de la ventilation naturelle par tirage thermique de locaux équipés de châssis à guillotine présentant une ouverture inférieure et supérieure < 28 > et par des ouvertures de ventilation < 29 >.

4.6. Action du vent

4.6.1. Caractéristiques du vent

L'action du vent sur les constructions est un phénomène très complexe à cause du nombre de facteurs d'influence et de la variabilité de ces facteurs.

A de faibles hauteurs < 30 > < 31 > < 32 >, le vent présente une turbulence importante, cet écoulement turbulent peut être caractérisé par < 32 > :

- une vitesse moyenne \bar{u}
- une turbulence c'ad la variation autour de la vitesse moyenne
- une échelle spatiale (ou échelle de turbulence).

Ces facteurs sont variables avec la hauteur.

La vitesse moyenne est faible au niveau du sol à cause du frottement au contact du sol et de ses aspérités (végétations, constructions, etc), elle croît rapidement dans les premiers mètres et devient constante et égale à U_G (vitesse du gradient) à une cote Z_G (épaisseur de la couche limite atmosphérique). Au-dessus de cette hauteur, la vitesse du vent est constante et fonction de la situation atmosphérique générale.

La vitesse moyenne \bar{u} à une hauteur donnée (z) peut être calculée par l'expression de Davenport < 30 > < 31 > < 32 > :

$$\frac{\bar{u}}{U_G} = \left(\frac{z}{Z_G}\right)^\alpha$$

Les paramètres Z_G et α dépendent essentiellement de la rugosité de l'endroit rencontrée par le vent.

Davenport propose les valeurs suivantes :

	α	Z_G (m)	Exemple : Vitesse \bar{u} d'un vent de vitesse $U_G = 10$ m/sec calculée à la hauteur $z = 20$ m
Campagne dégagée	0,16	270	6,59 m/s
Zones suburbaines et petites villes	0,28	390	4,35 m/s
Centre des villes	0,40	420	2,96 m/s

La turbulence du vent peut être caractérisée statistiquement par son écart type, celui-ci dépend essentiellement de la rugosité dans les basses couches et croît avec elle.

La vitesse des rafales croît moins rapidement avec la hauteur que la vitesse moyenne, l'expression suivante donne une idée de l'évolution de la vitesse des rafales avec la hauteur < 31 >.

$$\frac{u_1}{u_2} = \left(\frac{z_1}{z_2}\right)^{0,085}$$

u_1 : vitesse des rafales à la hauteur z_1 (m) au-dessus du sol

u_2 : vitesse des rafales à la hauteur z_2 (m) au-dessus du sol.

Les rafales, déplacement d'un grand volume d'air en une période très courte, ont des dimensions longitudinales, verticales et transversales, l'introduction de la notion d'échelle spatiale ou d'échelle de turbulence permet de caractériser complètement le vent et son comportement turbulent.

La description du vent ci-dessus se présente dans le cas de température décroissante avec la hauteur et de vent fort ($u > 5$ m/s). S'il y a une inversion de température avec la hauteur (ce qui se présente souvent à la campagne pendant les nuits claires), la zone d'inversion est généralement calme ou à vitesse de vent faible. Dans ces cas la variation de la vitesse du vent avec la hauteur peut être complexe et dépend d'influences topographiques locales.

La présence d'un îlot de chaleur au-dessus des villes peut rendre la situation encore plus complexe.

En ce qui concerne la direction du vent, des variations journalières et saisonnières importantes peuvent se présenter.

4.6.2. Influence des zones bâties

Dans les villes, il y a des variations appréciables de vitesse et de direction du vent, en fait les écoulements au niveau du sol, dans les ensembles bâtis, résultent de l'interaction complexe entre le vent et les masses construites. Celles-ci modulent les écoulements par leurs formes, leurs dimensions et leurs juxtapositions en fixant la distribution des zones de pression différentes autour des obstacles créant des survitesses et des tourbillons.

Des mesures faites à Londres démontrent qu'un plan neutre s'installe environ 8 à 10 m au-dessus du niveau général des toitures, au-dessus de ce plan, la vitesse varie exponentiellement (voir expression de Davenport). En dessous de ce plan, la vitesse du vent est généralement réduite. Landsberg (1956) constate qu'il y a une réduction de la vitesse moyenne de l'ordre de 20 à 30 % par rapport aux observations météorologiques à 10 m; Kratzen (1956) arrive à la même conclusion.

Les rafales aussi sont réduites de 10 à 20 % tandis que le nombre de périodes calmes est augmenté de 5 à 20 % (Landsberg 1962).

La présence de bâtiments élevés perturbe fortement l'écoulement de l'air.

La pression sur la façade d'un bâtiment élevé croît avec la hauteur jusqu'à environ 3/4 à 2/3 de la hauteur. Par la pression plus importante au sommet du bâtiment qu'à sa base, il peut y avoir des courants d'air descendants à vitesse élevée ainsi que des tourbillons.

A la façade exposée au vent et aux façades latérales, les vitesses du vent peuvent être de 2 à 3 fois celles en zone dégagée.

La forme générale du bâtiment et son implantation dans le site ont leur importance et notamment le rapport hauteur/largeur du bâtiment < 31 > < 32 > < 33 >.

4.6.3. Informations météorologiques

La vitesse du vent est mesurée à l'anémomètre dont l'exposition standard est de 10 m au-dessus du sol sans obstacle appréciable dans un rayon d'au moins 200 m.

La vitesse du vent u_h à la hauteur h peut être calculée par l'expression suivante :

$$\frac{u_h}{u_{10}} = \left(\frac{h}{10}\right)^{0,16}$$

u_{10} = vitesse du vent à 10 m au-dessus du sol.

L'expression précédente peut aussi s'écrire comme suit :

$$\frac{u_h}{u_{10}} = Kh^a$$

Les valeurs suivantes de K et a sont proposées < 29 > .

Type de terrain	K	a
Terrain plat et dégagé	0,68	0,17
Campagne avec coupe-vent (arbres, haies, etc)	0,52	0,20
Zones suburbaines et petites villes	0,40	0,25
Centre des villes	0,31	0,33

Partant des données concernant l'évolution de la vitesse du vent en fonction de la hauteur et en tenant compte de la rugosité de l'environnement, l'exposition d'un bâtiment est souvent définie comme suit < 9 > < 35 > :

- bâtiments abrités : bâtiments au centre des villes ne dépassant pas 3 étages ou jusqu'au 3^e étage pour les immeubles élevés;
- exposition normale :
 - . la plupart des bâtiments à la campagne et dans les zones suburbaines dont la hauteur ne dépasse pas 4 étages ou jusqu'au 4^e étage des immeubles élevés
 - . 4^e au 8^e étage des immeubles élevés au centre des villes;
- exposition sévère :
 - . bâtiments à la côte ou sur une hauteur
 - . les étages dépassant le 5^e des immeubles élevés à la campagne et dans les zones suburbaines
 - . les étages dépassant le 8^e des immeubles élevés au centre des villes.

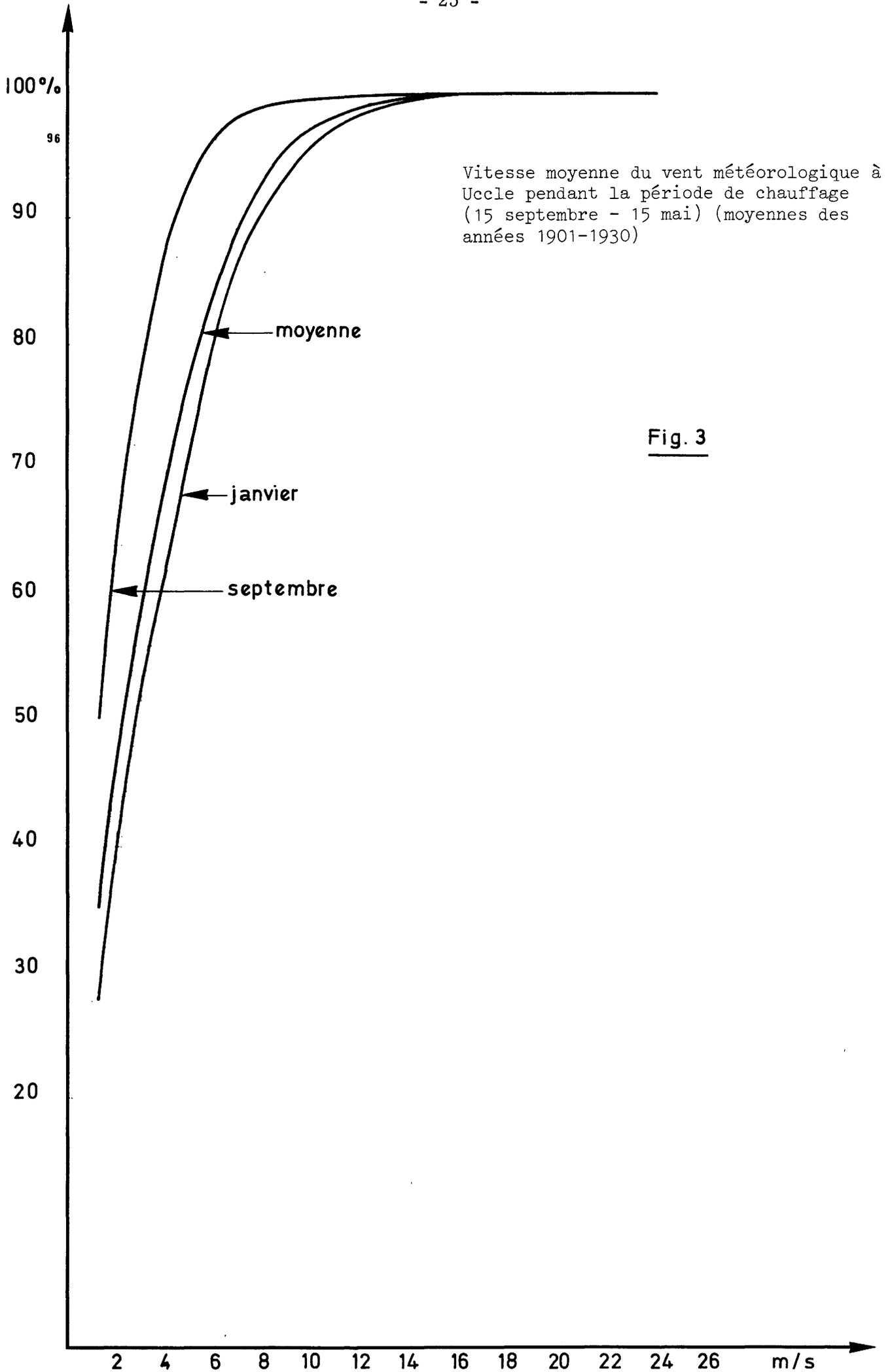
La figure 3 représente la distribution des fréquences de la vitesse moyenne horaire du vent météorologique en m/s mesurée à Uccle (Bruxelles) pour la période 1901-1930 < 34 >.

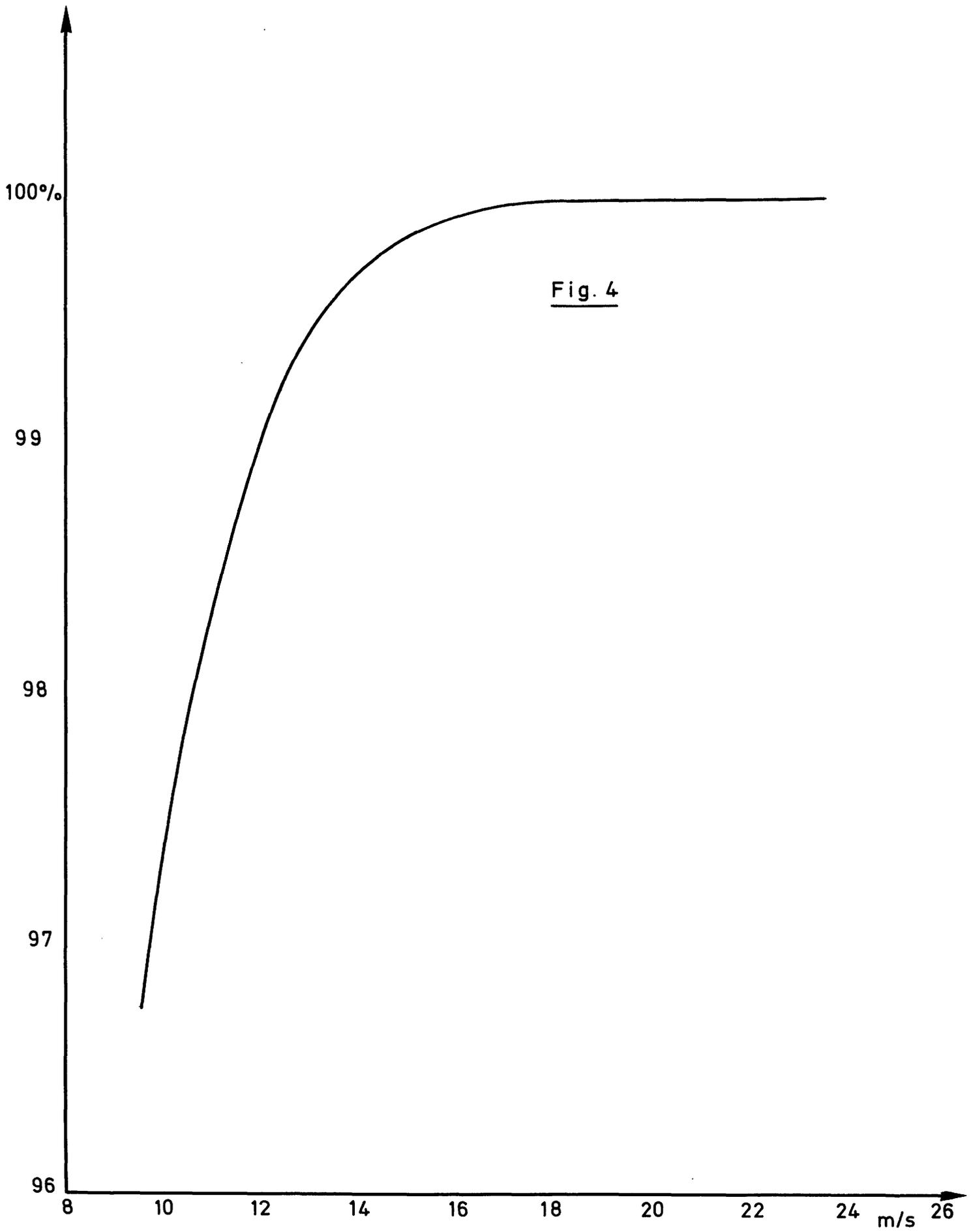
La figure 4 est un détail de la figure 3 pour des vitesses moyennes du vent météorologique supérieures à 8 m/s.

On constate qu'à Uccle la vitesse moyenne de 12 m/s est dépassée en moyenne pendant 1 % de la saison de chauffage (environ 60 heures); la vitesse moyenne de 15 m/s est dépassée en moyenne pendant 0,15 % de la saison de chauffage (environ 9 heures).

Le tableau ci-après donne la correspondance approximative de la vitesse moyenne horaire en zone bâtie par rapport au vent météorologique, les valeurs ont été calculées au moyen des données du tableau précédent et pour une hauteur de 10 m :

vent météorologique = vitesse du vent en zone plate et dégagée	campagne avec coupe-vent	zones suburbaines et petites villes	centre des villes
12 m/s	9,88	8,53	7,95
15 m/s	12,36	10,67	9,94





4.6.4. Action du vent sur un bâtiment

Pour la détermination du volume d'infiltration d'air dans un bâtiment, il est important d'avoir une idée des zones de pression et de dépression autour de ce bâtiment.

a) Formule générale

Dans les calculs pratiques, le phénomène vent est généralement très simplifié, ce qui rend le résultat très aléatoire.

Les pressions et dépressions locales p sur un bâtiment sont calculées partant de la pression dynamique du vent : $p = p_d \times C$ dans laquelle :

$$p_d = \frac{1}{2} \rho u^2 \approx \frac{u^2}{1,6} \quad (\text{Pa})$$

- p_d : pression dynamique (Pa)
- u : vitesse du vent (m/s)
- ρ : masse volumique de l'air,
- C : coefficient de correction

$$p = C \times \frac{u^2}{1,6} \quad (\text{Pa})$$

La plupart des codes de bonne pratique adaptent la vitesse du vent u en fonction de la région, du site et de la forme du bâtiment.

b) Valeurs expérimentales de C

-Le facteur C dépend de l'angle d'attaque du vent; sa valeur maximale est obtenue par vent perpendiculaire à la façade considérée. Lorsque l'angle d'attaque est oblique par rapport à la façade, le vent est dévié, la pression sur les façades est généralement plus faible. La figure 5 représente la distribution des pressions pour un bâtiment isolé rectangulaire $< 31 >$ pour deux directions du vent. Les valeurs de la figure doivent être multipliées par la pression dynamique p_d du vent.

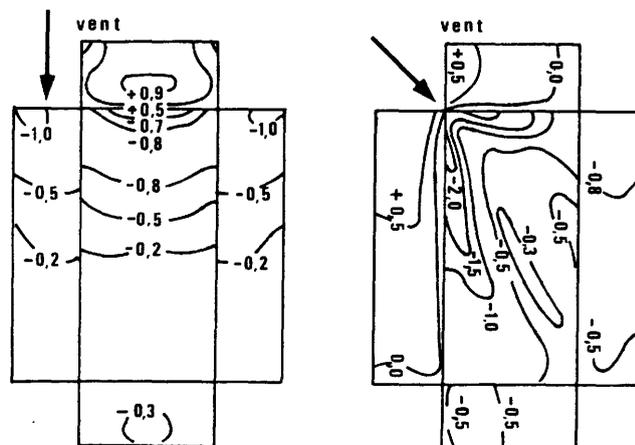


Fig.5 Distribution de la pression du vent sur un bâtiment rectangulaire pour deux directions du vent

-La figure 6 montre l'évolution du facteur C en fonction de la direction du vent, les mesures ont été faites en un point de la façade est < 16 >.

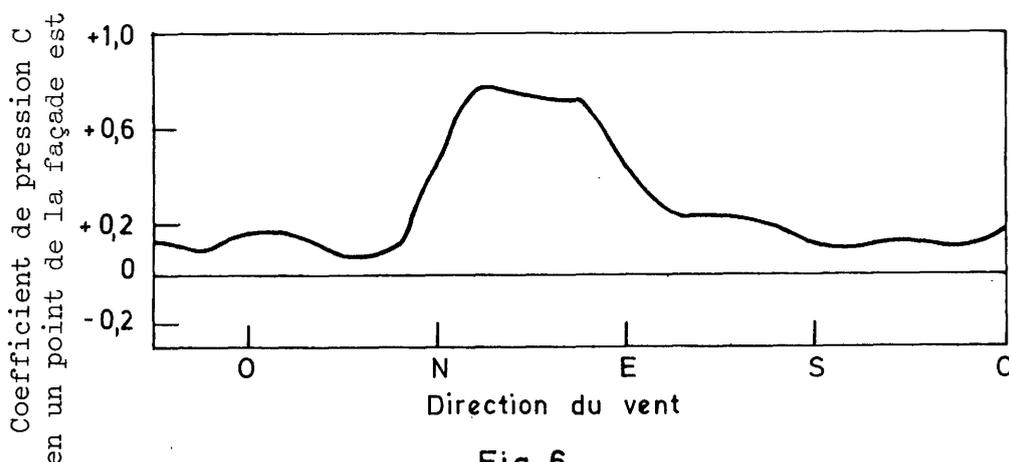


Fig. 6

-Des études en soufflerie ont permis de constater que la différence du coefficient moyen de pression ΔC entre la façade au vent (C au vent) et la façade sous le vent (C sous le vent) peut varier de 0,1 pour un bâtiment abrité à 1 pour un bâtiment isolé ou qui dépasse relativement le niveau des bâtiments ou les obstacles environnants < 29 > ($\Delta C = C \text{ au vent} - C \text{ sous le vent}$).

c) Volume d'air traversant le bâtiment

Le volume d'air Q traversant un bâtiment est proportionnel aux caractéristiques des ouvertures d'entrée et de sortie (dimensions, formes, nombre de Reynolds) ainsi qu'à la différence de pression entre la façade au vent et la façade sous le vent :

$$Q \div (\Delta p \text{ vent})^n$$

$$0,6 < n < 0,7$$

De ce qui précède, il résulte que pour une même vitesse de vent le volume d'air infiltrant un bâtiment protégé est approximativement 1/3 du volume infiltrant un bâtiment exposé < 29 >.

d) Valeurs utilisées en pratique

Les valeurs de C utilisées couramment dans les calculs pratiques sont < 35 > < 34 > < 37 > < 38 > :

C = + 0,8 pour les zones de pression

C = - 0,5 pour les zones de dépression.

La différence de pression Δp vent entre la façade au vent et la façade sous le vent est égale à $1,3 u^2/1,6$ (Pa).

Sur les constructions courantes rigides, on considère que les pressions et dépressions se répartissent uniformément. Nous avons vu qu'en réalité les choses sont beaucoup moins simples car le vent peut avoir toutes les orientations, il est rarement perpendiculaire à une façade et on ne saurait négliger l'inégale répartition des pressions aux différents points de la façade ni le degré d'exposition du bâtiment.

La méthode de calcul exposée ci-dessus donne cependant une idée de la situation la plus défavorable, elle s'applique surtout pour les calculs de résistance mécanique et de stabilité. En attendant que plus d'informations soient disponibles au sujet de la répartition plus exacte des zones de pression et de dépression autour des bâtiments, ce calcul permet de se former une idée du volume maximal d'infiltration d'air qui pourrait se présenter à un certain moment.

4.6.5. Influence de la turbulence du vent

La turbulence du vent induit de très importantes fluctuations dans les profils de pression.

En raison de la compressibilité de l'air, les oscillations de pression entraînent des écoulements alternés au travers des défauts d'étanchéité de l'enveloppe du bâtiment. L'écoulement de l'air au travers d'un orifice soumis à une oscillation de pression est irréversible (voir fig. 7).

Le volume d'air pénétrant au cours d'une alternance de pression n'est pas le même que le volume qui en ressort à l'alternance suivante < 39 > < 40 >.

Même au niveau d'un local qui ne comporterait qu'un seul orifice, les rafales provoquent une certaine ventilation alors que le taux de ventilation serait nul en l'absence de turbulence.

Les oscillations de pression ont donc un effet cumulatif quant aux infiltrations d'air.

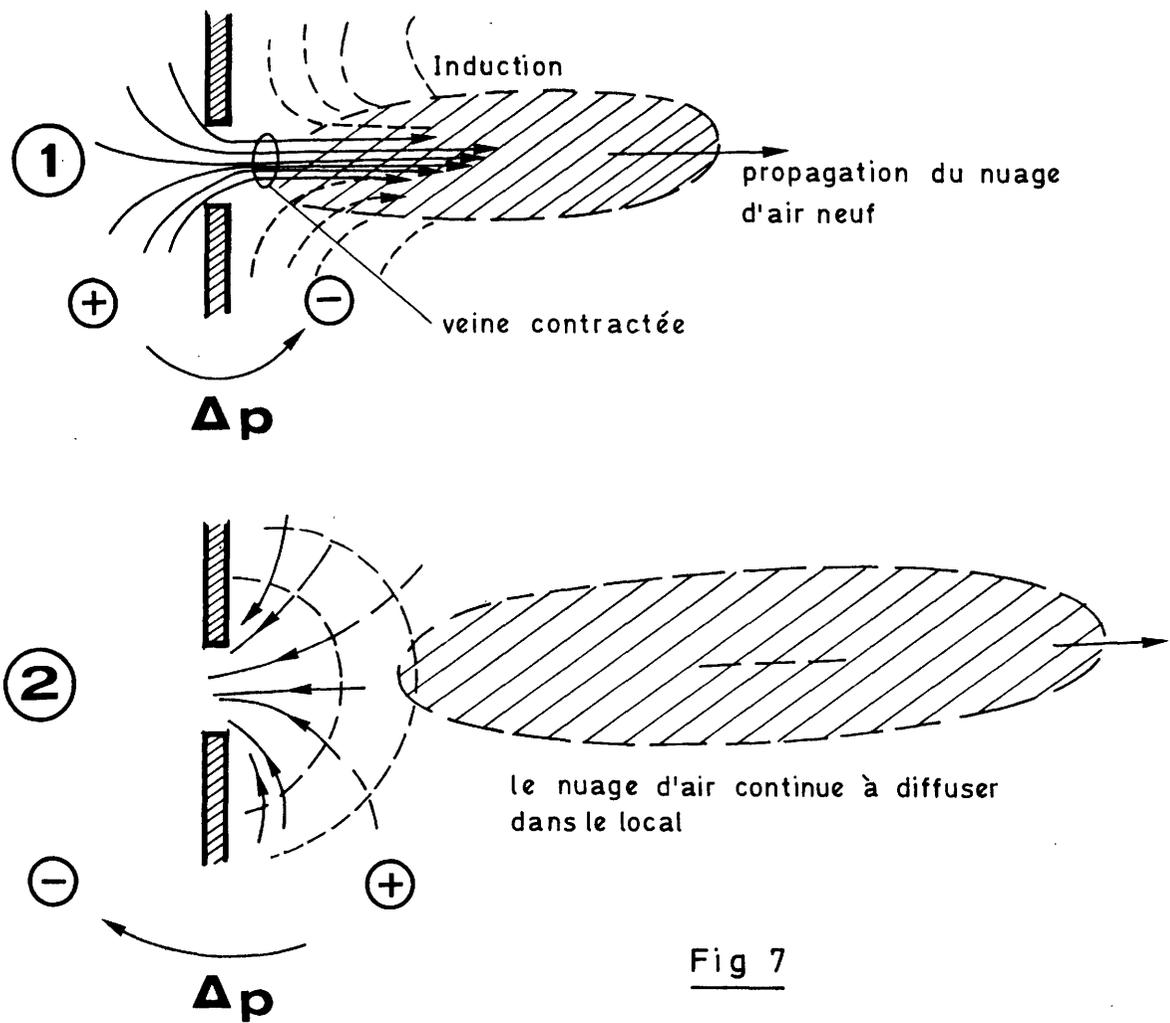


Fig 7

4.7. Les résistances internes à la circulation d'air

L'air extérieur pénètre le bâtiment par la façade au vent et en sort par la façade sous le vent. Le débit d'infiltration étant égal au débit sortant (en kg masse).

La structure interne d'un bâtiment comporte généralement plusieurs cellules communicantes constituant un réseau aéraulique compliqué offrant de nombreuses résistances au passage de l'air; ces résistances sont généralement placées en série, les résistances d'entrée et de sortie du bâtiment (orifices dans

l'enveloppe extérieure) par contre sont placées en parallèles < 14 >.

Le débit d'infiltration d'air peut être réduit par l'augmentation des résistances internes, la fermeture des portes intérieures et une étanchéité suffisante de ces portes ont donc une importance surtout lors de périodes de grand vent < 13 > < 14 > < 29 >.

L'IHVE Guide < 9 > propose des coefficients de réduction dans les calculs d'infiltration d'air tenant compte des résistances internes. En France, une étanchéité minimale est exigée des portes palières des immeubles à appartements.

Pour un bâtiment donné, la somme de toutes les résistances est constante, mais comme la distribution des orifices sur l'enveloppe extérieure du bâtiment n'est pas connue, il n'est pas exclu que pour une même vitesse du vent l'infiltration d'air soit plus importante pour une direction du vent que pour une autre; les orifices d'entrées dans un cas peuvent devenir orifices de sorties dans l'autre cas < 14 >.

4.8. Récapitulation

- a) Il n'est pas correct de faire des estimations du taux de ventilation des bâtiments en se basant sur les vitesses du vent renseignées par les stations météorologiques. Les vitesses à considérer doivent être corrigées en fonction de la hauteur du bâtiment et de la rugosité du site.
- b) La présence de bâtiments élevés peut avoir localement une influence considérable sur l'écoulement de l'air.
- c) La vitesse et la direction du vent induisent des zones de pression et de dépression autour des bâtiments.

La différence maximale de pression entre la façade au vent et la façade sous le vent se présente en général lorsque le vent souffle perpendiculairement à la façade au vent. Il semble que la valeur de cette pression peut varier de 0,1 à 1,3 de la pression dynamique du vent. Une meilleure connaissance de la distribution des pressions est indispensable en tenant compte de la forme du bâtiment, de la vitesse et de la direction du vent et de la rugosité du site.

- d) La distribution des fréquences de la vitesse moyenne horaire du vent météorologique donne une idée de la durée relativement faible des vents à vitesses élevées pendant la saison de chauffage.

- e) L'influence du vent sur l'infiltration d'air diminue au fur et à mesure que la protection du bâtiment est améliorée. Dans ces cas, pour une grande partie de la saison de chauffage, l'infiltration d'air est pratiquement indépendante de la vitesse du vent. Pour ces bâtiments, l'influence du tirage thermique est généralement dominant.

- f) L'enveloppe du bâtiment n'est jamais étanche à l'air, on constate que la menuiserie extérieure ne présente qu'une fraction de la perméabilité du bâtiment. Les essais in situ décèlent souvent des surprises, infiltrations par tous les joints des éléments fixes, par les fines fissures de ces éléments, entrées importantes par les boîtes aux lettres, feux ouverts, etc. Le minimum absolu d'infiltration d'air pour une construction normale mais très soignée semble correspondre à environ 0,2 vol/h.

- g) Une meilleure connaissance de la perméabilité à l'air des bâtiments ainsi que la connaissance de la distribution de cette perméabilité à l'air sur l'ensemble de l'enveloppe extérieure est indispensable. La connaissance de ces facteurs est primordiale pour l'établissement de modèles de calculs pour la prédiction du volume d'infiltration d'air. L'étanchéité à l'air d'éléments individuels de construction peut être testée au laboratoire, mais l'étanchéité à l'air de l'ensemble du bâtiment ne peut pas être déterminé sur base de ces résultats.

- h) La présence de résistances internes au passage de l'air a une influence bénéfique sur la diminution des infiltrations d'air.

5. Conclusions et interprétation

- 5.1. Caractériser la qualité de l'air par un critère unique (p.ex. teneur en CO₂) semble difficile. Des recherches dans ce domaine s'imposent dans le but de mieux définir les critères de confort et les volumes d'apport d'air frais.
- 5.2. L'apport d'air frais recommandé varie d'environ 20 à 30 m³/h selon qu'il est permis de fumer ou non. Depuis le début de la crise énergétique, il y a une tendance à diminuer les volumes d'apport d'air. Les valeurs actuellement recommandées aux Etats-Unis varient de 12,6 à 18 m³/h.
- 5.3. Dans l'état actuel de nos connaissances, on peut considérer qu'une ventilation satisfaisante est obtenue lorsque le taux de renouvellement d'air n en fonction de la surface disponible par personne (valeur A/p) se situe entre les courbes n₁ et n₂ définies à la figure 1.

L'utilisation d'un appareil mécanique de ventilation pour faire face à une contamination temporaire et très locale ou pour réduire le danger de condensation de vapeur d'eau à certains moments peut être utile (hotte de cuisine, extracteur dans la salle de bain, etc).
- 5.4. La ventilation efficace des immeubles de bureaux exige des apports d'air frais considérables particulièrement dans le cas d'une densité élevée d'occupation. Compte tenu de la durée d'occupation de ces immeubles pendant laquelle ces apports considérables sont nécessaires (environ 1/4 de la saison de chauffe) et des besoins fortement réduits en dehors de la période d'occupation, nous sommes d'avis qu'une installation de ventilation mécanique pourrait satisfaire les besoins. En dehors de la période d'occupation, le volume d'infiltration d'air peut satisfaire pour l'évacuation de la contamination provenant des matériaux présents dans les locaux.
- 5.5. A l'heure actuelle, la relation entre les paramètres climatologiques et le taux réel de ventilation n'est pas établi avec suffisamment de précision. Une meilleure connaissance de la répartition des pressions sur le bâtiment est indispensable.
- 5.6. Dans les calculs de ventilation, il y a lieu de corriger la vitesse du vent pour tenir compte de la hauteur et de la rugosité du site; il n'y a en effet pas de relation linéaire entre la vitesse du vent météorologique et le taux de ventilation des bâtiments. Cette relation semble varier linéairement en fonction de la vitesse du vent corrigé < 41 >.

5.7. Des essais in situ montrent que l'enveloppe extérieure des bâtiments présentent de nombreux défauts d'étanchéité; les infiltrations d'air ne se limitent pas aux joints de la menuiserie extérieure. Des essais de laboratoire permettent de se former une idée de l'étanchéité des éléments de construction. Dans la pratique, il apparaît que les joints de montage ne sont pas étanches à l'air.

Les essais in situ montrent que dans certains cas et pour certaines conditions climatologiques, le débit d'infiltration d'air suffit largement pour compenser les besoins de ventilation. Négliger l'infiltration d'air dans les calculs de ventilation conduit nécessairement à des débits de ventilation exagérés < 16 > < 21 >.

On peut maintenant se demander :

- a) quels taux de ventilation il y a lieu de prévoir ?
- b) à quel niveau faut-il limiter les infiltrations d'air ?

La réponse à la première question résulte du point 5.3 des conclusions c'est à dire le taux de renouvellement d'air n , représenté dans un diagramme $(A/p; n)$, doit se situer entre les deux courbes n_1 et n_2 de la figure 1.

Dans le cas d'installations de ventilation mécanique, les valeurs ci-dessus doivent être considérées en tenant compte du volume d'infiltration d'air.

Ces valeurs peuvent également être utilisées dans les calculs de dimensionnement d'installations de chauffage.

En ce qui concerne la deuxième question, il faut avoir à l'esprit que :

- la qualité du confort, dans des conditions météorologiques sévères, peut être compromise
- l'imposition d'une exigence sévère aura une répercussion sur le prix de la construction. En effet, nous avons vu que le minimum absolu du taux d'infiltration d'air semble être de l'ordre de 0,2 vol/h pour des constructions très soignées. Une imposition de ce type augmenterait considérablement le prix de la construction ce qui n'est certainement pas souhaitable dans les conditions économiques actuelles
- dans le cas d'installations de ventilation mécanique contrôlée, l'infiltration d'air a une influence néfaste sur la ventilation.

Compte tenu de ce qui précède, nous sommes d'avis que les performances

suivantes peuvent être prévues :

- a) pour des vitesses du vent qui se présentent pendant environ 99,85 % de la durée de la saison de chauffe (corrigée en fonction de la hauteur du bâtiment et de la rugosité du site $\bar{u}_{99,85}$), le débit d'infiltration d'air, lorsque l'occupant s'efforce à réduire la ventilation (càd avec toutes les ouvertures de ventilation normalement fermées), ne peut être supérieur aux besoins de ventilation définis par la courbe n_1 de la figure 8;
- b) cette règle ne s'applique pas aux bâtiments équipés d'une installation de VMC à cause de l'influence néfaste des infiltrations d'air sur la ventilation. Pour ces bâtiments, le volume d'infiltration d'air ne peut être supérieur aux valeurs définies par la courbe n_{VMC} de la figure 8, pour des vitesses de vent qui se présentent pendant environ 99,85 % de la durée de la saison de chauffage (vitesse du vent corrigée en fonction de la hauteur du bâtiment et de la rugosité du site = $\bar{u}_{99,85}$).

La courbe n_{VMC} a été déterminée compte tenu du fait que dans l'état actuel de la technique, il semble difficile de descendre en dessous de la valeur $n = 0,3$ à $0,4$ (voir 4.3). Des soins particuliers s'imposent pour arriver à $n = 0,2$. Nous proposons donc de tracer la courbe n_{VMC} passant par le point ($A/p = 12$; $n = 0,3$) et en prenant $h = 3$ m (immeubles de bureaux). Dans ce cas, l'expression

$$n = \frac{d}{h} \cdot \frac{1}{A/p} \quad \text{devient} \quad 0,3 = \frac{d}{3} \cdot \frac{1}{12}$$

la valeur de d est donc de $10,8$ m³/pers.

La correction de la vitesse du vent conduit automatiquement à une exigence plus sévère pour des bâtiments plus exposés et donc aussi pour les niveaux supérieurs des bâtiments élevés.

Remarques

- 1) L'air extérieur s'infiltrant par des locaux chauffés s'échauffe également et se charge en vapeur d'eau (résultant de l'expiration et de l'activité physique humaine). Si cet air traverse ensuite des locaux non chauffés, son refroidissement peut donner lieu à une condensation sur les parois froides avec toutes les causes néfastes qui en résultent.

Ce problème est actuellement fréquemment rencontré en Belgique dans de nouvelles habitations pourvues d'une bonne isolation thermique et d'une très bonne étanchéité de l'enveloppe extérieure.

Le même problème est également rencontré dans d'autres pays notamment aux Pays-Bas < 14 > et au Luxembourg.

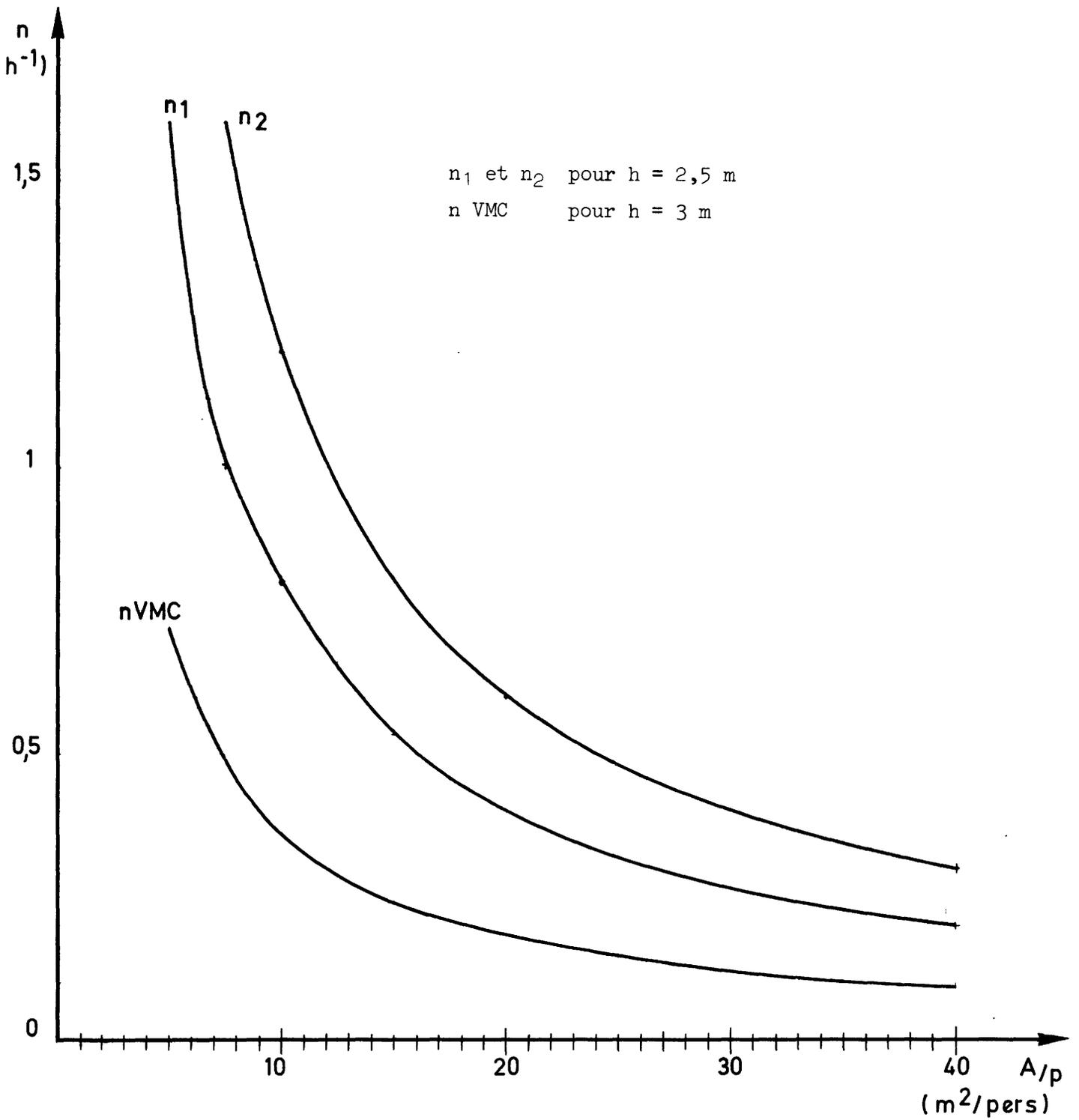


Fig. 8

Ces constatations prouvent que, pendant une grande partie de la saison de chauffage, la ventilation de ces habitations est insuffisante. L'amélioration considérable de l'étanchéité à l'air des habitations et l'absence de dispositifs réglables de ventilation peuvent donc conduire à d'autres problèmes surtout lorsque le bâtiment se trouve en site protégé.

Une conception judicieuse des possibilités de ventilation est donc indispensable. L'utilisation d'un appareil d'extraction dans certains locaux peut être de nature à réduire ce problème (hotte de cuisine, extracteur dans la salle de bain, etc).

- 2) Il est nécessaire de prévoir une ventilation efficace des locaux où fonctionnent des appareils à flamme ouverte (combustion à usage de cuisine, de chauffage des locaux ou de l'eau chaude sanitaire). Un apport insuffisant d'air de combustion donne lieu à une production de CO, gaz fixé par l'hémoglobine du sang.

•

6. Comparaison de la réglementation en matière de ventilation en vigueur dans les pays membres de la C.E.E.

6.1. Base de comparaison

Afin de comparer les diverses normes et prescriptions concernant la ventilation, nous avons adopté la méthode proposée au § 3.8.

Dans cette proposition, l'exigence de ventilation est définie par une zone limitée par deux courbes n_1 et n_2 . La courbe n_1 correspond à un apport d'air frais de 20 m^3 par personne et par heure tandis que la courbe n_2 correspond à un apport d'air de $30 \text{ m}^3/\text{h.pers}$ (en tenant compte d'une hauteur d'étage $h = 2,5 \text{ m}$).

Le détail de cette comparaison est donné au § 6.2.

6.2. Exigences de ventilation en vigueur dans les pays membres de la C.E.E.

6.2.1. Réglementation française

En France, il faut distinguer :

- l'arrêté du 22 octobre 1969 < 42 > traitant de l'aération des logements
- l'arrêté n° 74.306 du 10 avril 1974 modifié par l'arrêté du 2 août 1976 < 43 > en vigueur depuis le 1er juillet 1975. Ce règlement traite des déperditions de chaleur par transmission et par ventilation et fut spécialement établi pour faire face à la crise énergétique.

6.2.1.1. L'arrêté du 22/10/69 concernant l'aération des logements
.....

L'arrêté a pour but de permettre le renouvellement de l'air dans les logements de telle façon que les taux de pollution notamment en ce qui concerne les gaz brûlés et l'humidité de l'air soient compatibles avec la santé des occupants, leur confort et l'absence de risque de condensation.

L'entrée de l'air est prévue par les pièces principales (chambres, pièces de séjour) et la sortie par les pièces où se produisent en plus grande partie la vapeur d'eau et les pollutions (cuisines, salles d'eau, buanderies, cabinets d'aisance).

Le système de ventilation doit être conçu pour que la ventilation soit permanente sauf dans les habitations individuelles isolées, jumelées ou en bandes pour lesquelles chaque pièce peut être ventilée séparément, l'obligation d'une ventilation permanente ne subsiste que pour la cuisine.

L'arrêté prévoit que la ventilation doit pouvoir assurer un renouvellement d'air d'environ une fois le volume des pièces principales par heure dans les conditions climatologiques normales d'hiver.

Dans une notice technique < 44 >, le C.S.T.B. présente des solutions types pour satisfaire aux dispositions réglementaires.

La notice technique prévoit les débits types repris au tableau suivant. Les débits types doivent être obtenus dans les conditions moyennes de tirage thermique et de pression de vent en hiver. Ces débits types ne sont donc pas obtenus à chaque instant en ventilation naturelle.

Local	débit d'entrée d'air m ³ /h	débit de sortie d'air m ³ /h
pièces principales : - règle générale - ou : pièce principale < 18m ² pièce principale > 18m ²	1 volume/h 30 m ³ /h 60 m ³ /h	
cuisine dans un logement de - moins de 3 pièces principales - plus de 3 pièces principales		45-90 (75)* 60-120 (90)*
salle de bains ou de douches - destinée à recevoir des appareils à gaz - appelée à servir de séchoir - autres cas		60 30-60 30
cabinet d'aisance		30

* Ces valeurs peuvent être adoptées dans le cas d'utilisation d'une hotte efficace.

En nous basant sur les valeurs reprises au tableau précédent, nous avons calculé les besoins minimaux de ventilation de quelques bâtiments. Nous avons déterminé les dimensions minimales des logements en nous basant sur les normes de l'UIOF et de la FIUH < 9 >. Ensuite nous avons appliqué les mêmes calculs à des logements d'une surface supérieure de 50 %.

Les logements sont donc composés comme suit.

1. Logements de surface minimale

	logement de 3 à 4 personnes L1	logement de 4 à 6 personnes L2
pièce séjour	18 m ² (volume 45 m ³)	22 m ² (volume 55 m ³)
chambres	30 m ² (2 chambres)(75 m ³)	42 m ² (3 chambres)(105 m ³)
cuisine	7 m ²	8 m ²
salle de bains	4 m ²	5 m ²
W.C.	(dans la salle de bains)	1,2 m ²
débarras	1,5 m ²	2
dégagements	5,5 m ² (vol. 13,75 m ³)	6,8 m ² (vol. 17 m ³)
surface totale A	66 m ²	87 m ²
surface par personne A/p	16,5 à 22 m ² /p	14,5 à 21,75 m ² /p
V	165 m ³	217,5 m ³

2. Logements de surface supérieure (+ 50 %)

	logement de 3 à 4 personnes L3	logement de 4 à 6 personnes L4
pièce séjour	27 m ² (67,5 m ³)	33 m ² (82,5 m ³)
chambres	45 m ² (2 chambres)(112,5m ³)	63 m ² (3 chambres)(157,5m ³)
cuisine	10,5 m ²	12 m ²
salle de bains	6 m ²	7,5 m ²
W.C.	1,2 m ²	2,4 m ² (2 x 1,2)
débarras	2,25 m ²	3 m ²
dégagements	7,05 m ² (17,62 m ³)	9,6 m ² (34,56 m ³)
surface totale A	99 m ²	130,5 m ²
surface par personne A/p	24,75 à 33 m ² /pers	21,75 à 32,62 m ² /pers
V	247,5 m ³	326,25 m ³

local	L1		L2		L3		L4	
	débit d'entrée (m ³ /h)	débit de sortie (m ³ /h)	débit d'entrée (m ³ /h)	débit de sortie (m ³ /h)	débit d'entrée (m ³ /h)	débit de sortie (m ³ /h)	débit d'entrée (m ³ /h)	débit de sortie (m ³ /h)
séjour	30 (40)*		60 (55)		60(67,5)		60(82,5)	
chambres	60 (75)		90(105)		120(112,5)		180(157,5)	
cuisine		60 - 120		60 - 120		60 - 120		60 - 120
salle de bains		30		30		30		30
W.C.		-		30		30		30
D **	90-(120)	90 - 150	150-160	120-180	180-180	120-180	240-240	120-180
n	90	150	150	180	180	240	240	
A/p	$\frac{90}{165} = 0,55$	$\frac{150}{217,5} = 0,69$	$\frac{180}{247,5} = 0,73$	$\frac{240}{326,25} = 0,74$				
	16,5 à 22	14,5 à 21,75	24,75 à 33	21,75 à 32,62				

* Les valeurs entre parenthèses résultent de l'application de la règle : 1 volume de ventilation par heure.

** Comme débit minimal D de ventilation, nous avons retenu la valeur qui satisfait au critère débit d'entrée = débit de sortie.

Les résultats du calcul sont représentés graphiquement à la figure 9.

La figure montre clairement que les critères de ventilation conviennent pour des logements de volume réduit, pour des logements plus spacieux, par contre les exigences de ventilation sont exagérées.

6.2.1.2. Le décret n° 74.306 du 10 avril 1974

Ce décret limite les déperditions globales de chaleur (par transmission et par ventilation) d'une maison ou d'un appartement par l'imposition d'une valeur maximale au coefficient G.

$$G = \frac{\text{pertes par transmission et par ventilation d'un logement par } ^\circ\text{C}}{\text{volume du logement}} \quad \text{W/m}^3\text{K}$$

Nous pouvons donc dire que le coefficient G est la somme de deux termes :

$$G = G_{tr} + G_{vent} \quad (\text{W/m}^3\text{K})$$

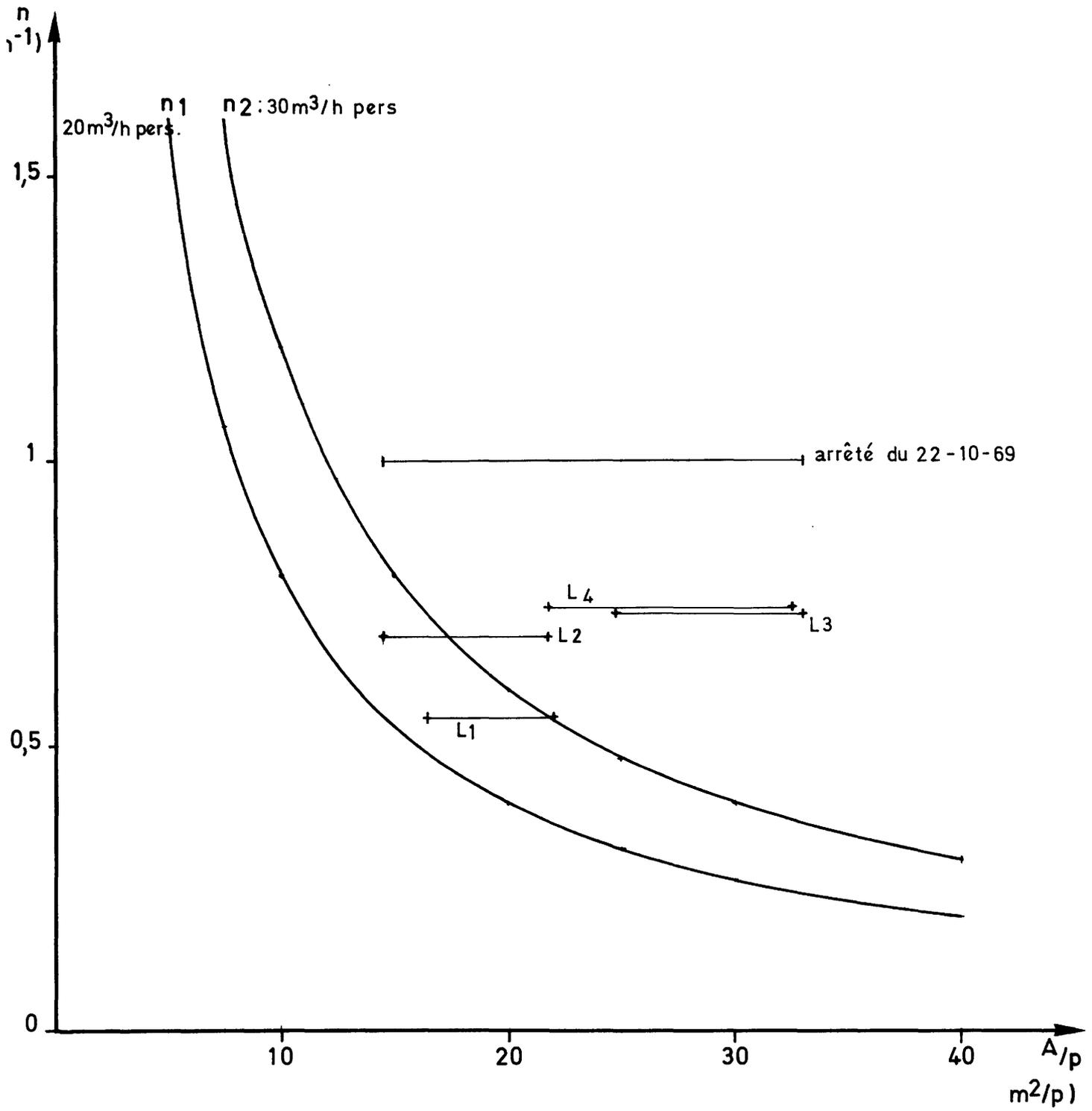


fig. 9 Réglementation française

Les règles de calcul Th - G 77 < 45 > conseillent de calculer la fraction G_{vent} des maisons individuelles en tenant compte d'un taux horaire de renouvellement d'air $n = 0,5$, si celui-ci n'est pas défini avec précision (cas de la ventilation naturelle). Il est à noter qu'il s'agit ici d'une hypothèse de calcul du coefficient G. Les règles de calcul ne modifient donc pas les dispositions de l'arrêté concernant l'aération des logements.

6.2.2. Réglementation en République fédérale d'Allemagne

- La norme DIN 1946 Blatt 1 < 11 > (VDI Lüftungsregeln - Grundregeln) traitant de la ventilation des locaux est encore en vigueur.
- Le projet de norme DIN 4701 < 46 > est sorti en mars 1978.
- Une réglementation spécifique concernant l'utilisation rationnelle de l'énergie (Wärmeschutzverordnung - Wärmeschutz V) a été publiée le 11 août 1977 < 47 > et est entrée en vigueur le 1er novembre 1977.

6.2.2.1. La norme DIN 1946

.....

La norme renseigne l'apport d'air frais minimal en fonction de la température extérieure (voir 3.7).

Pour une température extérieure variant de 0 à 26°C, la norme exige les débits suivants :

- 20 m³/h.pers dans le cas de locaux avec interdiction de fumer
- 30 m³/h.pers dans le cas de locaux avec autorisation de fumer.

La norme précise qu'il s'agit de débits minimaux et il est à conseiller de les majorer de 10 m³/h.pers. Dans le cas de bâtiments élevés pourvus de châssis de fenêtre fixes, il est conseillé de doubler les débits exigés.

Les valeurs minimales exigées par la norme correspondent exactement aux deux courbes de la figure 8.

6.2.2.2. La norme DIN 4701

.....

Cette norme traite du calcul des déperditions de chaleur des bâtiments. La norme décrit notamment une méthode de calcul des déperditions de chaleur dues aux infiltrations d'air, cette méthode de calcul est basée sur les caractéristiques de perméabilité à l'air de la menuiserie extérieure.

La norme renseigne qu'il y a lieu de tenir compte d'un taux de renouvellement d'air de 0,5 vol/h pour les locaux de séjour. D'après la figure 8, on peut dire que ce taux de ventilation convient pour des valeurs de A/p d'environ 16 à 24 m²/pers.

6.2.2.3. Wärmeschutzverordnung du 11.8.77
.....

Les prescriptions du Wärmeschutzverordnung ont pour but :

- de limiter les déperditions de chaleur par transmission par l'imposition de valeurs k_m maximales en fonction de la compacité S/V des bâtiments
- de limiter les déperditions de chaleur par infiltration d'air par l'imposition d'une perméabilité maximale de la menuiserie extérieure.

En ce qui concerne la ventilation proprement dite, le règlement ne modifie pas les prescriptions de ventilation imposées par les règlements de construction en vigueur dans les différents "Länder".

6.2.3. La norme néerlandaise NEN 1087 de 1974

La norme néerlandaise < 48 > s'applique aux logements, elle définit des exigences minimales de ventilation au niveau de chaque local dans le but de réaliser des conditions d'hygiène et de confort de l'ambiance intérieure.

La norme a été étudiée avant le début de la crise énergétique et ne peut donc être considérée comme une réponse valable à cette crise.

Nous avons résumé les exigences principales au tableau suivant :

Local	exigence minimale de ventilation
pièce de séjour	- le total des volumes de ventilation des autres chambres - avec minimum 75 m ³ /h maximum 150 m ³ /h
autres chambres	- 3,6 m ³ /h par m ² de surface de plancher - minimum 25 m ³ /h
cuisine - surface de plancher < 10 m ² - surface de plancher > 10 m ²	75 m ³ /h 100 m ³ /h
salle de bains salle de bains + W.C.	50 m ³ /h
W.C./débaras > 1,5 m ²	25 m ³ /h
cage d'escaliers, couloirs	1 vol/h

Ces exigences doivent être satisfaites dans les conditions suivantes :

- vitesse du vent : maximum 2 m/s perpendiculairement à une façade
- différence maximale de température extérieure-intérieure : 10°K.

Les prescriptions de la norme permettent de partir de plusieurs hypothèses :

1. La norme précise que l'air entre de préférence par les "autres chambres" et sort par la pièce de séjour, cuisine, salle de bains, etc.
Dans ce cas, il n'y a pas moyen de faire un bilan; en effet, les exigences de ventilation relatives aux "autres pièces" restent très inférieures aux besoins de ventilation de la salle de séjour, de la cuisine, de la salle de bains.
2. L'air entre par les autres chambres (ex. 3 chambres x 25 m³/h = 75 m³/h). Cet air est envoyé dans la pièce de séjour (qui demande 75 m³/h). Il s'ensuit que la cuisine et la salle de bain doivent disposer d'une entrée d'air frais et d'une sortie d'air vicié.
3. Pour les logements unifamiliaux, l'air entre par la façade exposée au vent et quitte le bâtiment par la façade sous le vent. Il est donc exclu de dire quoi que ce soit au sujet de l'écoulement d'air dans cette habitation. Dans ce cas, si les pièces dans le vent ont un renouvellement d'air frais égal à 1 vol/h, on peut grosso modo dire que toute la maison a un renouvellement de 1/2 vol/h. Le même phénomène peut se présenter dans les appartements en contact avec une seule façade de l'immeuble. Le volume d'air entrant par la façade doit être évacué par les locaux aveugles (salle de bains, W.C., dégagements, etc).

Les calculs basés sur les hypothèses 2 et 3 sont résumés au tableau suivant :

	L1		L2		L3		L4	
	débit d'entrée	débit de sortie	débit d'entrée	débit de sortie	débit d'entrée	débit de sortie	débit d'entrée	débit de sortie
<u>hypothèse 2</u>								
tr. chamb.	50(108)*		75 (151)		50 (162)		75(226,8)	
jour		75 (150)		75 (150)		75 (150)		75 (150)
cuisine		75		75		100		100
salle de bains		50		50		50		50
W.C.		-		25		25		50
dégagements		25		25		25		25
		13,75		17 m ³		17,62		34,56
	50 (108)	238,75 (313,75)	75 (151)	267(342)	50 (162)	242,62 (367,62)	75(226,8)	334,56 (409,56)
débit min)	238,75 à 313,75 1,45 à 1,90		267 à 342 1,23 à 1,57		242,62 à 367,62 0,98 à 1,48		334,56 à 409,56 1,03 à 1,26	

* (voir page 46).

	L1		L2		L3		L4	
	débit d'entrée	débit de sortie	débit d'entrée	débit de sortie	débit d'entrée	débit de sortie	débit d'entrée	débit de sortie
<u>Hypothèse 3</u>								
Autr. chamb.	50 (108)*		75 (151)		50 (162)		75 (226,8)	
séjour	75 (150)		75 (150)		75 (150)		75 (150)	
cuisine	75		75		100		100	
salle bains	50		50		50		50	
W.C.	-		25		25		50	
débarras	25		25		25		25	
dégagements	13,75		17		17,62		34,56	
	288,75 à 421,75		342 à 493		342,62 à 529,6		409,56 à 636,36	
D(débit min)	144,37 à 210,87		171 à 246,5		171,31 à 264,8		204,78 à 318,18	
n	0,87 à 1,28		0,79 à 1,13		0,69 à 1,07		0,63 à 0,98	
A/p	16,5 à 22		14,5 à 21,75		24,75 à 33		21,75 à 32,62	

* Les valeurs entre parenthèses résultent de l'application de la règle $3,6 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ ou du débit maximal prévu par la norme.

Les résultats du calcul sont représentés graphiquement à la figure 10.

Il en résulte que pour les deux hypothèses vérifiées, la norme conduit à des taux de ventilation beaucoup trop élevés. Le fait d'arriver à plusieurs hypothèses qui satisfassent à la norme montre que les prescriptions ne sont pas claires.

6.2.4. La réglementation au Royaume-Uni

Au Royaume-Uni, il faut distinguer < 49 > :

- les "Building Regulations" d'application en Angleterre et au Pays de Galles à l'exception de Londres, ils ont pour but la réglementation de la sécurité et de l'hygiène des occupants
- la construction à Londres est réglementée par le "Greater London Council".

La réglementation est complétée par des codes de bonne pratique telles que :

- les Codes of Practice édités par le "British Standards Institute"
- les Building Research Station Advisory Papers
- l'IHVE Guide.

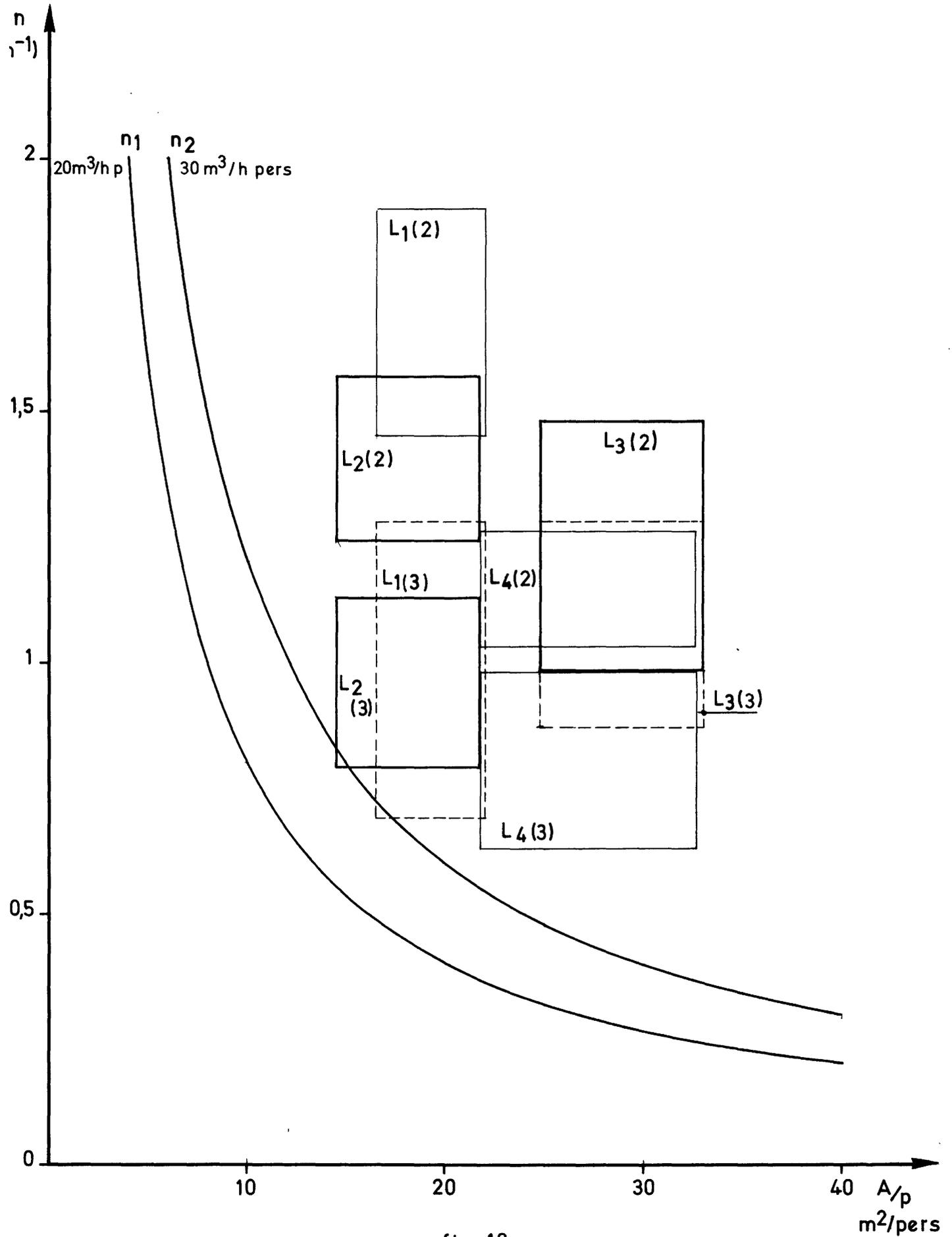


fig. 10

Norme néerlandaise NEN 1087 (1974)

6.2.4.1. La réglementation
.....

A. Building Regulations 1976 - Section K

La réglementation prévoit qu'en principe chaque local doit pouvoir être mis en communication directe avec l'air extérieur soit par l'ouverture de fenêtres soit par l'ouverture d'autres dispositifs de ventilation. Pour certains locaux les dimensions minimales des orifices de ventilation sont définies.

La ventilation mécanique des locaux sanitaires doit pouvoir assurer un renouvellement d'air de 3 vol/h.

B. Greater London Council Regulations

Ce règlement impose une installation de ventilation mécanique :

- dans les immeubles de bureaux ne pouvant être ventilés normalement par l'ouverture de fenêtres;
- dans les locaux publics (salles de spectacles, salles de danse) d'une surface de plancher > 46 m².

L'installation de VMC dans les immeubles de bureaux doit pouvoir assurer un apport d'air de 21 m³ par heure et par 5 m² de plancher. Dans le cas de conditionnement de l'air l'apport d'air extérieur peut être limité à 14 m³/h, le supplément de 7 m³/h pouvant provenir du recyclage d'air intérieur filtré. En nous basant sur une hauteur d'étage de 2,5 m, on peut dire que l'apport d'air est de 21 m³/h pour un volume de 12,5 m³; ce qui donne une valeur de $n = 21/12,5 = 1,68$ pour $A/P = 5 \text{ m}^2$. On voit à la figure 11 que ce point se situe légèrement au-dessus de la courbe n₁ (point B).

6.2.4.2. Les codes de bonne pratique
.....

A. Code of Practice CP3

Ce document est en révision. Le nouveau texte sera vraisemblablement basé sur les résultats des travaux de Yaglou (voir 3.7). D'après les informations, on compte prévoir pour les immeubles de bureaux un apport d'air frais de 10,8 m³/h.pers à 28,8 m³/h.pers pour un volume disponible par personne de 15 m³. Ces chiffres s'entendent respectivement pour des locaux où il est interdit de fumer et des locaux où il est permis de fumer (3 cigarettes/heure).

Les taux de renouvellement d'air n sont respectivement de :

$$n = \frac{10,8}{15} = 0,72 \qquad n = \frac{28,8}{15} = 1,92$$

En prenant comme hauteur d'étage $h = 2,5 \text{ m}$, le facteur A/p devient

$$A/p = \frac{15}{2,5} = 6 \text{ m}^2/\text{pers.}$$

Ces points ont été représentés graphiquement à la figure 11 (ligne verticale CP3).

B. BRE Digest n° 170 "Ventilation of internal bathrooms and W.C's in dwellings" - October 1974

Ce document traite de la ventilation mécanique intermittente des locaux sanitaires exempts d'une communication directe avec l'extérieur (locaux aveugles).

Il est recommandé de faire fonctionner la ventilation mécanique depuis le début de l'occupation jusqu'à 20 minutes après la fin de l'occupation.

L'extraction minimale d'air par opération est de :

- 20 m³ pour les salles de bains et les W.C.'s
- 40 m³ lorsque la salle de bains et le W.C. sont combinés.

C. IHVE Guide 1970

Le Guide se base sur les résultats des travaux de Yaglou (voir 3.7). Les apports d'air frais recommandés pour les immeubles de bureaux conditionnés sont repris au tableau suivant :

Local	Présence de fumée de tabac	Apport d'air frais en m ³ /h.pers		
		Volume recommandé par personne (m ³ /h)	Volumes maximaux par personne (m ³ /h)	par m ² de plancher (m ³ /h)
Bureau paysager	un peu	28,8	18	4,68
Bureau privé	beaucoup	43,2	28,2	4,68
Bureau à grande densité d'occupation	très élevée	90	64,8	21,6 m ³ /h

Les valeurs minimales reprises aux deux dernières colonnes de droite nous permettent de déterminer n et A/p, en nous basant sur une hauteur d'étage de 2,5 m (1 m² de plancher correspond à un volume de 2,5 m³).

Local	n (h ⁻¹)	A/p (m ² /pers)	référence à la fig. 11
Bureau paysager	$\frac{4,68}{2,5} = 1,87$	$\frac{18}{4,68} = 3,85$	point C
Bureau privé	$\frac{4,68}{2,5} = 1,87$	$\frac{28,2}{4,68} = 6,02$	point D
Grand bureau	$\frac{21,6}{2,5} = 8,64$	$\frac{64,8}{21,6} = 3$	-

6.2.5. La réglementation en Italie

En Italie, il n'y a pas de réglementation spécifique traitant de la ventilation des bâtiments. La consommation globale d'énergie pour le chauffage des bâtiments a été réglementée par la loi et par un règlement d'application, il s'agit de :

- la legge du 30 avril 1976 n° 373 < 50 >
- regolamento di esecuzione della legge du 30 avril 1976 n° 373 < 51 > .

Cette réglementation limite les déperditions globales de chaleur (par transmission et par ventilation) d'une maison ou d'un appartement par l'imposition d'une valeur maximale au coefficient C_g.

$$C_g = \frac{\text{Pertes par transmission et par ventilation d'un logement par } ^\circ\text{C}}{\text{Volume du logement}}$$

W/m³K

Le coefficient C_g est la somme de deux termes :

$$C_g = C_v + C_d$$

C_v concerne les déperditions par ventilation et C_d les déperditions par transmission. Le règlement d'application précise que : C_v = 0,3 n
n représente le taux de renouvellement d'air en vol/h.

Le règlement d'application précise ensuite que pour le calcul du facteur C_v d'un logement ventilé de façon naturelle, il y a lieu de se baser sur une valeur de n = 0,5.

Il est à noter qu'il s'agit ici d'une hypothèse de calcul du coefficient C_g, cette hypothèse n'impose donc pas une valeur n = 0,5.

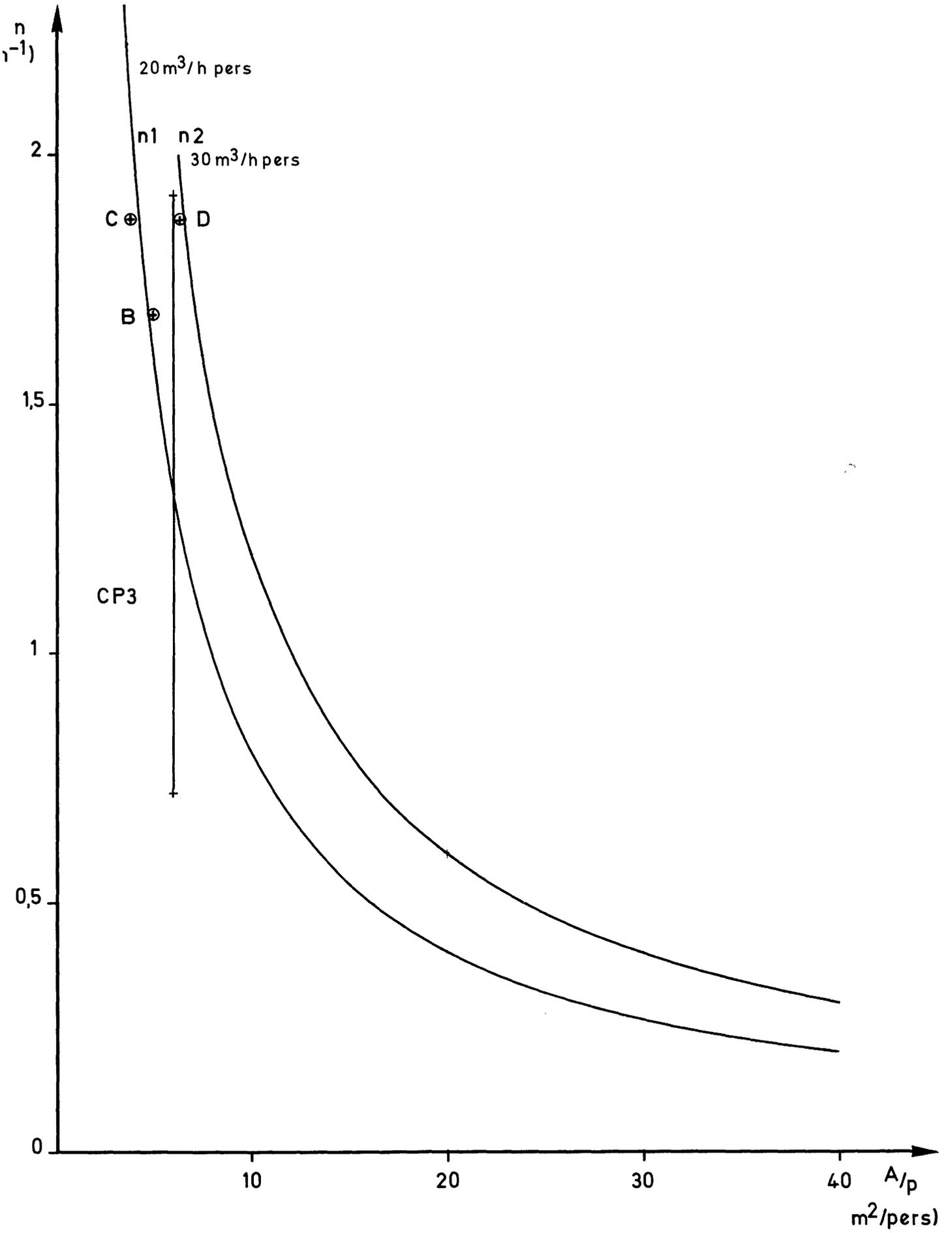


fig. 11

Royaume Uni

6.2.6. La réglementation au Danemark

Au Danemark, un nouveau règlement de construction est entré en vigueur en février 1977. Le chapitre 11 de ce règlement traite de la ventilation des bâtiments et plus particulièrement des logements.

L'apport d'air frais doit pouvoir être réduit lorsque beaucoup d'énergie est nécessaire pour le chauffage de l'air frais et au moment où les locaux ne sont pas occupés. Le tableau suivant donne un aperçu des principales exigences du règlement.

Local	Dispositifs de ventilation naturelle	débit d'extraction mécanique	
		l/s	m ³ /h
Pièce de séjour	fenêtres ou portes ouvrant sur l'extérieur, ou un orifice réglable de 30 cm ² de section	-	-
Cuisine surface de plancher > 7m ² < 7m ²	idem que pour la pièce de séjour idem	20 15	72 54
Salle de bains et W.C.	fenêtre ouvrante de 0,2 m ² en un orifice de ventilation de 100 cm ² minimum	15	54
Cage d'escaliers	fenêtre ouvrante par étage de 0,2m ² ou un orifice de 50cm ² par étage	10	36
Buanderie	fenêtre ouvrante + un orifice de 150 cm ² minimum	20	72

Il résulte de l'aperçu précédent que l'on a surtout voulu donner des directives pratiques aux professionnels de la construction.

Les résultats d'une vaste campagne de mesure concernant aussi bien les maisons individuelles que les appartements, montrent que le taux horaire de renouvellement d'air est de l'ordre $n = 0,65$. Les essais démontrent aussi que le taux de renouvellement d'air est plus faible dans des bâtiments de construction récente < 52 >.

6.2.7. La réglementation en Belgique

Les prescriptions des règlements de construction en vigueur en Belgique concernent surtout la sécurité et l'hygiène des occupants. Dans cette optique, ils définissent généralement des dimensions minimales des orifices de ventilation.

La norme NBN B62-001 < 53 > conseille les précautions à prendre afin de limiter les infiltrations d'air par les joints de la menuiserie extérieure.

La norme prévoit notamment les règles suivantes :

- la longueur totale des joints ouvrants des fenêtres situées dans un local de volume V (m^3) doit être inférieure ou égale à $V/4$ (m). La perméabilité pondérée correspondant au site où la fenêtre est utilisée doit être inférieure à $6 m^3/h$ m de joint ouvrant;
- si la règle précédente constitue une entrave à la conception, on peut utiliser des fenêtres dont la perméabilité pondérée est inférieure à $3 m^3/h$ m et dans ce cas, la longueur maximale des joints est limitée à $V/2$ (m).

La perméabilité pondérée est calculée en multipliant les débits d'air d'infiltration sous des différences de pression croissantes par des facteurs de pondération correspondant au site, les produits sont additionnés.

Si Q_{100} , Q_{200} , Q_{400} et Q_{750} sont les débits d'air mesurés respectivement sous 100, 200, 400 et 750 Pa, les règles précédentes deviennent :

en site protégé : $Q_{100} \times 1,00 \leq 6 m^3/hm$ ou $3 m^3/hm$

en site non protégé : $Q_{100} \times 0,88 + Q_{200} \times 0,1 + Q_{400} \times 0,02 \leq 6$ ou $3 m^3/hm$

en site très exposé : $Q_{100} \times 0,7 + Q_{200} \times 0,2 + Q_{400} \times 0,08 + Q_{750} \times 0,02 \leq 6$ ou $3 m^3/hm$.

Si l'infiltration d'air se limitait uniquement aux joints de la menuiserie extérieure, on pourrait dire que le volume d'infiltration d'air est limité aux valeurs suivantes :

- perméabilité des joints $6 m^3/hm$: $\frac{V}{4} \times 6 m^3/hm = 1,5 V$ (m^3/h)

- perméabilité des joints $3 m^3/hm$: $\frac{V}{2} \times 3 m^3/hm = 1,5 V$ (m^3/h)

Puisqu'une façade est en surpression et que la façade opposée est en dépression, le taux d'infiltration d'air par la menuiserie extérieure pour

l'ensemble du bâtiment est limité à $1,5 V/2 = 0,75 V$. Dans ce cas, la valeur n est de 0,75.

6.2.8. La réglementation en Irlande

L'Irlande ne dispose pas d'une réglementation spécifique concernant la ventilation des logements.

Pour les calculs, il est généralement fait référence au IHVE Guide. Ce qui a été dit au § 6.2.4.2.C est donc également valable ici.

Dans un rapport provisoire < 54 > concernant les performances thermiques et l'utilisation de l'énergie dans les bâtiments, on adopte une valeur uniforme de $n = 2$.

6.2.9. La réglementation au Luxembourg

Au Luxembourg, on n'impose pas de critères de ventilation minimaux.

•

7. Détermination de l'étanchéité à l'air des bâtiments

7.1. Les méthodes d'essai

Il faut distinguer les méthodes d'essai permettant de déterminer le volume de renouvellement d'air et celles permettant la détermination d'un débit de fuites par la mise en pression ou en dépression d'un local ou d'un bâtiment entier. Cette dernière méthode permet aussi de localiser les fuites. La mesure du renouvellement d'air se fait généralement au moyen de gaz traceurs.

7.2. Les méthodes d'essai aux gaz traceurs

Le gaz traceur injecté dans une ambiance peut être considéré comme un contaminant artificiel; la ventilation de l'ambiance a comme effet la diminution de la concentration en gaz traceur dans le temps.

Du bilan de la concentration en gaz traceur pour un intervalle de temps défini, il y a moyen de calculer le volume de renouvellement d'air.

Le gaz traceur à utiliser doit répondre à certains critères, notamment il doit être stable et non toxique, il ne peut réagir chimiquement avec des matières présentes dans le local ou le bâtiment soumis à l'essai, et sa concentration doit être facilement mesurable. La quantité de gaz à utiliser est notamment fonction du volume d'apport d'air frais et de la concentration mesurable en gaz.

Les gaz traceurs couramment utilisés et la méthode de détection correspondante sont :

- | | |
|------------------------------------|---------------------------|
| - le monoxyde d'azote (N_2O) | - analyseur à infra-rouge |
| - le dioxyde de carbone (CO_2) | - analyseur à infra-rouge |
| - l'oxygène (O_2) | - kathoromètre |
| - l'azote (N_2) | - kathoromètre |
| - l'hélium | - kathoromètre |
| - le krypton 85 | - tube Geiger-Müller |

Il est indispensable que le gaz soit mélangé uniformément à l'air de l'ambiance à soumettre à l'essai.

Deux types d'essai peuvent être utilisés notamment :

- la méthode de mesure en continu : une quantité connue de gaz par unité de temps est injectée dans l'ambiance à soumettre à l'essai, partant de la

mesure de la concentration d'équilibre, on peut écrire un bilan de la quantité de gaz introduit et de la quantité de gaz échappé et de là calculer le volume d'apport d'air

- la méthode de mesure de la vitesse de dilution du gaz traceur : une quantité limitée de gaz est introduite dans l'ambiance. Par la ventilation, la concentration diminue dans le temps d'après une loi exponentielle. De cette loi, on peut ensuite déterminer le volume de renouvellement d'air pendant la période d'essai. Les essais peuvent être réalisés soit en différentes opérations, local par local, soit en une opération pour l'ensemble du bâtiment. Dans ce dernier cas, les portes intérieures doivent rester ouvertes au moins pendant la période d'injection du gaz traceur, dans le but d'obtenir un bon mélange avec l'air du bâtiment.

Nous avons déjà discuté de l'effet des conditions climatologiques sur la ventilation des bâtiments et notamment de la vitesse et de la direction du vent ainsi que la différence de température intérieure/extérieure.

L'interprétation des résultats d'essai et l'extrapolation ne sont possibles que lorsqu'on dispose d'un nombre suffisant de résultats de mesures et cela pour différentes directions du vent. Par suite de l'influence des conditions climatologiques sur les résultats d'essai, il faut éviter de faire des mesures lors de périodes de vent calme ou de vent de vitesse et de direction variables.

La durée nécessaire par mesure est de l'ordre de 2 heures, pendant cette période les conditions climatologiques peuvent subir des modifications.

Les conditions climatologiques au moment des essais doivent être connues. Les données de la station météorologique la plus proche sont souvent insuffisantes par suite de l'influence des obstacles sur la vitesse et la direction du vent.

7.3. Méthodes de mesures agissant sur la pression dans les locaux ou bâtiments

La dépendance des résultats d'essai des conditions climatologiques a donné lieu au développement d'autres méthodes d'essai notamment par mise en pression ou en dépression de locaux ou de l'ensemble du bâtiment. Dans certains cas, on procède à des cycles de pression-dépression.

Un ventilateur permet de réaliser une différence de pression Δp bien définie entre l'intérieur et l'extérieur du local ou du bâtiment soumis à l'essai.

Les mesures du débit d'air se font généralement pour plusieurs valeurs de la différence de pression.

La méthode d'essai permet la comparaison de l'étanchéité à l'air des bâtiments ainsi que l'origine des fuites d'air, elle permet donc la vérification des performances d'étanchéité.

Cette méthode ne permet pas de déterminer le volume de renouvellement d'air de l'espace soumis à l'essai.

Les essais sont de préférence réalisés lors de périodes de vent faible, en effet, même un vent modéré peut provoquer des difficultés de maintenir constante la différence de pression lors des mesures.

*

8. Bibliographie

- < 1 > Uyttenbroeck J. - Carpentier G.
Vers une attitude commune des différents pays membres de la C.E.E. en matière de diminution de la consommation d'énergie pour le chauffage des bâtiments.
Doc. XI/918/76-F. Août 1976.
- < 2 > Fanger P.O.
Thermal comfort. Copenhagen 1970. Danish technical press.
- < 3 > Rietschel H. & Raiss W.
Traité de chauffage et de climatisation. Dunod-Paris.
- < 4 > Brundrett G.W. & Barker R.
An investigation into the air quality of three working men's clubs. The electricity council research centre. Capenhurst Chester CH1 6ES. Job n° 610. August 1977.
- < 5 > ASHRAE Handbook of fundamentals 1972, Chapter 11.
The american society of heating, refrigerating and air-conditioning engineers Inc.
- < 6 > Goromosov M.S.
The physiological basis of health standards for dwellings. World Health Organization Geneva. 1968.
- < 7 > Langlet G. & Quemener Y.
L'amélioration de l'habitat existant. Revue technique du bâtiment et des constructions industrielles n° 60. Mai-Juin 1977.
- < 8 > Georgii H.W.
The effects of air pollution on urban climates. Urban climates. Technical note n° 108. World meteorological organization. Brussels 1968.

- < 9 > IHVE Guide. Book A4. 1976.
The institution of heating and ventilating engineers.
London. 1976.
- < 10 > ASHRAE Handbook of Fundamentals 1977.
The american society of heating, refrigerating and air-
conditioning engineers Inc.
- < 11 > DIN 1946. Feuilletts 1 & 2. Règles VDI. Avril 1960.
- < 12 > • Union internationale des organismes familiaux et la
Fédération internationale de l'urbanisme de l'habitation
et de l'aménagement du territoire.
Recommandations de Cologne. 1957.
- < 13 > Jardinier M.
Comment assurer la ventilation des immeubles collectifs
d'habitation par des gaines verticales à tirage naturel.
Cahier du C.S.T.B. n° 542. Paris. Décembre 1963.
- < 14 > van Gunst E.
Het raam in onze woning in verband met gezondheid en
economie. I. Ventilatie. Instituut voor gezondheids-
techniek TNO. Publikatie 101.
- < 15 > Meert E. & Vanackere G.
Recherches sur les performances dans le bâtiment. Etan-
chéité des façades et des toitures. Rapport final.
Juin 1977. IC-IB. Bruxelles.
- < 16 > Etheridge D.W. & Phillips P.
The prediction of ventilation rates in houses and the
implications for energy conservation. CIB S 17.
Holzkirchen. September 1977.
- < 17 > Guillaume M. & Ptacek J. (CSTC) - Warren P.R. & Webb B.C.
(BRE).
Measurements of ventilation rates in houses with natural
and mechanical ventilation systems. CIB S 17. Holzkirchen.
September 1977.

- < 18 > Ambrose E.R.
Excessive infiltration and ventilation air. Heating -
piping - air-conditioning. November 1975.
- < 19 > Nusgens P. & Caluwaerts P.
Determination of the ventilation rate in a serie of so-
cial houses. CIB S 17. Holzkirchen. September 1977.
- < 20 > Tamura G.T.
Measurements of air leakage characteristics of house
enclosure. ASHRAE. Trans. 1975. Paper 2339.
- < 21 > Lebrun J.
A propos du choix d'un taux de ventilation mécanique
contrôlée pour les logements. Rapport interne. Univer-
sité de Liège.
- < 22 > Mc Intyre I.S. & Newman C.J.
The testing of whole houses for air leakage.
Building research establishment note N 21/75. February
1975.
- < 23 > Building research establishment digest 119. Assessment
of wind loads. Building Research Station. Garston,
Watford WD27 JR.
- < 24 > Cadierges R.
Perméabilité des bâtiments à l'air au gaz et aux vapeurs.
ITBTP n° 69. Septembre 1953.
- < 25 > Cadierges R.
Industries thermiques n° 8-9. Août 1957.
- < 26 > Wilson A.G. & Tamura G.T.
Digeste de la construction au Canada. Effet de cheminée
dans les bâtiments. Ottawa. Juin 1972.

- < 27 > Faison Thomas F.
Air infiltration measurements on the NBS Experimental Building. National bureau of standards. Washington DC 20.234.
- < 28 > Verhoeven A.C. T.H. Delft.
Die hohe Effektivität der Stosslüftung von Quer-Schiebefenstern ist schon bei der Planung zu berechnen.
CIB S17 Holzkirchen - September 1977.
- < 29 > Building Research Establishment Digest 210. February 1978. Principles of natural ventilation. Building Research Station. Garston, Watford.
- < 30 > Munn R.E.
Airflow in urban areas. Urban climates. Technical note n° 108. World meteorological organization. Brussels 1968.
- < 31 > Lacy R.E.
Climate and building in Britain. Building Research Establishment Report. 1977.
- < 32 > Gandemer J. & Guyot A.
Intégration du phénomène vent dans la conception du milieu bâti. Ministère de l'Equipement. France. Décembre 1976.
- < 33 > de Gids W.F. & den Ouden H. Ph.L.
Drie onderzoeken naar de werking van kanalen voor natuurlijke ventilatie, waarbij nagegaan is de invloed van plaats en hoogte van de uitmonding, van de bebouwing in de omgeving en van de vorm van de uitmonding. Instituut voor milieuhygiëne en gezondheidstechniek TNO Delft.
- < 34 > Poncelet & Martin.
Esquisse climatographique de la Belgique.
- < 35 > Règles définissant les effets de la neige et du vent sur les constructions et annexes. Document technique unifié. France. Décembre 1976.

- < 36 > Newberry C.W. & Eaton K.J.
Wind loading handbook. Building Research Establishment
Report. 1974.
- < 37 > NBN 460.03. Action du vent sur les constructions. Institut
belge de Normalisation. 1960.
- < 38 > Sachs Peter.
Wind forces in engineering. International series of mono-
graphs in civil engineering vol. 3.
- < 39 > Lebrun J.
Utilisation optimale des données météorologiques pour la
conception et l'exploitation des bâtiments et de leurs
équipements. Aspects énergétiques. Colloque CIFOP-ATIC.
Charleroi. 24 septembre 1976.
- < 40 > Cockroft J.P. & Robertson P.
Ventilation of an enclosure through a single opening.
Building and environment. Vol. 11 pp. 29-35.
- < 41 > de Gids W.F., Ton J.A., van Schijndel L.L.M.
Investigation of the relationship between the natural
ventilation of a flat and the meteorological conditions.
Publ. 620 of the Research Institute for Environmental
Hygiene TNO.
- < 42 > Journal officiel de la République Française du 30.10.69.
- < 43 > Journaux officiels de la République Française des 18.4.74
et 21.8.76.
- < 44 > Cahier 879 du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment.
Paris.
- < 45 > Règles Th-G 77. Règles de calcul du coefficient G des
logements et autres locaux d'habitation et du coefficient
G₁ des bâtiments autres que les bâtiments d'habitation.
Document Technique Unifié DTU - CSTB - Paris.

- < 46 > DIN 4701 - Entwurf-Regeln für die Berechnung des Wärmebedarfs von Gebäuden. Deutsches Institut für Normung.

- < 47 > Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden. Bundesgesetzblatt. Jahrgang 1977. Teil I. 11.8.1977.

- < 48 > NEN 1087 "Ventilatie van woongebouwen". Nederlands Normalisatie-instituut.

- < 49 > Brundrett G.W.
Ventilation : British Guides. CIB S 17 Meeting at Holzkirchen. September 1977.

- < 50 > Gazzetta ufficiale della Repubblica Italiana n° 148. 7 giugno 1976.

- < 51 > Corvi Zazzera Mario.
Possibilita' di coordinamento delle differenti normative dei paesi membri della CEE in materia di contenimento del consumo di energia per il riscaldamento degli edifici.

- < 52 > Christophersen E.
Ventilation requirements, Danish regulations and actual measurements. J.No. B-9/S17. Danish Building Research Institute.

- < 53 > NBN B62-001 - Hygrothermie des bâtiments. Isolation thermique. Conditions hivernales. Institut belge de Normalisation.

- < 54 > Thermal performance and use of energy in buildings. Interim report for New Housing. An Foras Forbartha and the Institute for Industrial Research and Standards. February 1975.

Communautés européennes — Commission

EUR 6117 — La ventilation des bâtiments en relation avec la consommation d'énergie pour le chauffage

Rapport présenté par le Centre scientifique et technique de la Construction à la Direction générale du Marché intérieur et des Affaires industrielles de la Commission des Communautés européennes

Luxembourg : Office des publications officielles des Communautés européennes

1978 — 68 p. — 21,0 × 29,7 cm

Série énergie

FR

ISBN 92-825-0674-6

N° de catalogue : CD-ND-78-011-FR-C

BFR	DKR	DM	FF	LIT	HFL	UKL	USD
200	35	12,80	28	5 400	22	5	9

Dans cette étude relative à la ventilation des bâtiments en relation avec la consommation d'énergie pour le chauffage, les auteurs, en se basant sur des considérations physiologiques, définissent dans un premier stade les besoins en air frais des bâtiments.

Ils étudient ensuite le problème des infiltrations d'air au travers de l'enveloppe des bâtiments, et notamment leur importance et les facteurs qui les influencent, tels que l'action du vent, l'influence des zones bâties, etc., et indiquent dans quels cas une ventilation s'impose.

Pour terminer, il est fait une comparaison des dispositions réglementaires et des normes existantes dans les États membres, et il est donné une description des méthodes d'essai utilisées pour déterminer l'étanchéité à l'air des bâtiments.

**Salgs- og abonnementskontorer · Vertriebsbüros · Sales Offices
Bureaux de vente · Uffici di vendita · Verkoopkantoren**

Belgique - België

Moniteur belge — Belgisch Staatsblad
Rue de Louvain 40-42 —
Leuvensestraat 40-42
1000 Bruxelles — 1000 Brussel
Tél. 512 00 26
CCP 000-2005502-27
Postrekening 000-2005502-27

Sous-dépôts — Agentschappen:

Librairie européenne — Europese
Boekhandel
Rue de la Loi 244 — Wetstraat 244
1040 Bruxelles — 1040 Brussel

CREDOC

Rue de la Montagne 34 - Bte 11 —
Bergstraat 34 - Bus 11
1000 Bruxelles — 1000 Brussel

Danmark

J.H. Schultz — Boghandel

Møntergade 19
1116 København K
Tlf. (01) 14 11 95
Girokonto 1195

Underagentur:

Europa Bøger
Gammel Torv 6
Postboks 137
1004 København K
Tlf. (01) 14 54 32

BR Deutschland

Verlag Bundesanzeiger

Breite Straße — Postfach 10 80 06
5000 Köln 1
Tel. (0221) 21 03 48
(Fernschreiber: Anzeiger Bonn
8 882 595)
Postscheckkonto 834 00 Köln

France

*Service de vente en France des publica-
tions des Communautés européennes*

Journal officiel

26, rue Desaix
75732 Paris Cedex 15
Tél. (1) 578 61 39 — CCP Paris 23-96

Ireland

Government Publications

Sales Office
G.P.O. Arcade
Dublin 1

or by post from

Stationery Office

Beggar's Bush
Dublin 4
Tel. 68 84 33

Italia

Libreria dello Stato

Piazza G. Verdi 10
00198 Roma — Tel. (6) 8508
Telex 62008
CCP 1/2640

Agenzia

Via XX Settembre
(Palazzo Ministero del tesoro)
00187 Roma

**Grand-Duché
de Luxembourg**

*Office des publications officielles
des Communautés européennes*

5, rue du Commerce
Boîte postale 1003 — Luxembourg
Tél. 49 00 81 — CCP 19190-81
Compte courant bancaire:
BIL 8-109/6003/300

Nederland

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf

Christoffel Plantijnstraat, 's-Gravenhage
Tel. (070) 62 45 51
Postgiro 42 53 00

United Kingdom

H.M. Stationery Office

P.O. Box 569
London SE1 9NH
Tel. (01) 928 69 77, ext. 365
National Giro Account 582-1002

United States of America

*European Community Information
Service*

2100 M Street, N.W.
Suite 707
Washington, D.C. 20 037
Tel. (202) 862 95 00

Schweiz - Suisse - Svizzera

Librairie Payot

6, rue Grenus
1211 Genève
Tél. 31 89 50
CCP 12-236 Genève

Sverige

Librairie C.E. Fritze

2, Fredsgatan
Stockholm 16
Postgiro 193, Bankgiro 73/4015

España

Librería Mundi-Prensa

Castelló 37
Madrid 1
Tel. 275 46 55

Andre lande · Andere Länder · Other countries · Autres pays · Altri paesi · Andere landen

Kontoret for De europæiske Fællesskabers officielle Publikationer · Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften · Office for
Official Publications of the European Communities · Office des publications officielles des Communautés européennes · Ufficio delle pubblicazioni
ufficiali delle Comunità europee · Bureau voor officiële publikaties der Europese Gemeenschappen

Luxembourg 5, rue du Commerce Boîte postale 1003 Tél. 49 00 81 · CCP 19 190-81 Compte courant bancaire BIL 8-109/6003/300

AVIS AU LECTEUR

Tous les rapports scientifiques et techniques publiés par la Commission des Communautés européennes sont signalés dans le périodique mensuel « **euro-abstracts** ». Pour souscrire un abonnement (1 an : BFR 1 460), prière d'écrire à l'adresse ci-dessous.

BFR 200 DKR 35 DM 12,80 FF 28 LIT 5 400 HFL 14 UKL 3.60 USD 6.80



OFFICE DES PUBLICATIONS OFFICIELLES
DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

ISBN 92-825-0674-6

Boîte postale 1003 — Luxembourg

N° de catalogue : CD-ND-78-011-FR-C