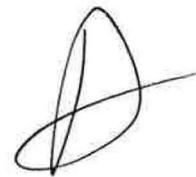


Renouvellement d'air dans les bâtiments :

UNE MÉTHODE DE MESURE



par P. VALTON (Co.S.T.I.C. Morlaas)

Le principe des mesures directes du taux de renouvellement d'air des bâtiments est basé sur la mesure de la concentration décroissante de l'air du local en gaz traceur, à partir d'une concentration initiale. Cette méthode permet d'effectuer une mesure réelle, sans déformer les phénomènes.

Sur cette base, nous avons développé une méthode expérimentale, fiable et aussi peu coûteuse que possible, utilisable dans tout type de bâtiment : grand volume, habitat en ventilation naturelle ou équipé de ventilation mécanique contrôlée. D'une précision suffisante pour mettre en cause la qualité de l'étanchéité du bâtiment et des matériaux utilisés pour sa mise en oeuvre, cette méthode est suffisamment sensible pour évaluer des taux de renouvellement d'air faibles, ainsi que des changements de régime fréquents dus aux conditions atmosphériques (vitesse ou direction du vent) ou à l'utilisation du bâtiment (ouverture ou fermeture de porte ...). Le système expérimental utilisé, que nous allons décrire dans la suite de cet article, autorise également la mesure de concentrations locales de gaz traceur, par local ou par zone, et permet donc de mettre en évidence les endroits où se produisent les infiltrations ou les parties qui ne sont pas ventilées.

Mise au point dans un premier temps en laboratoire, dans le hall d'essais du Co.S.T.I.C. à Pau, dont la description se trouve figure 1, cette méthode a ensuite été utilisée pour des mesures *in situ* successivement dans des halls industriels, des habitations ventilées naturellement et des habitations équipées de ventilation mécanique contrôlée.

L'étude que nous vous présentons a été réalisée au Co.S.T.I.C. Morlaas, sous l'égide de l'A.F.M.E.

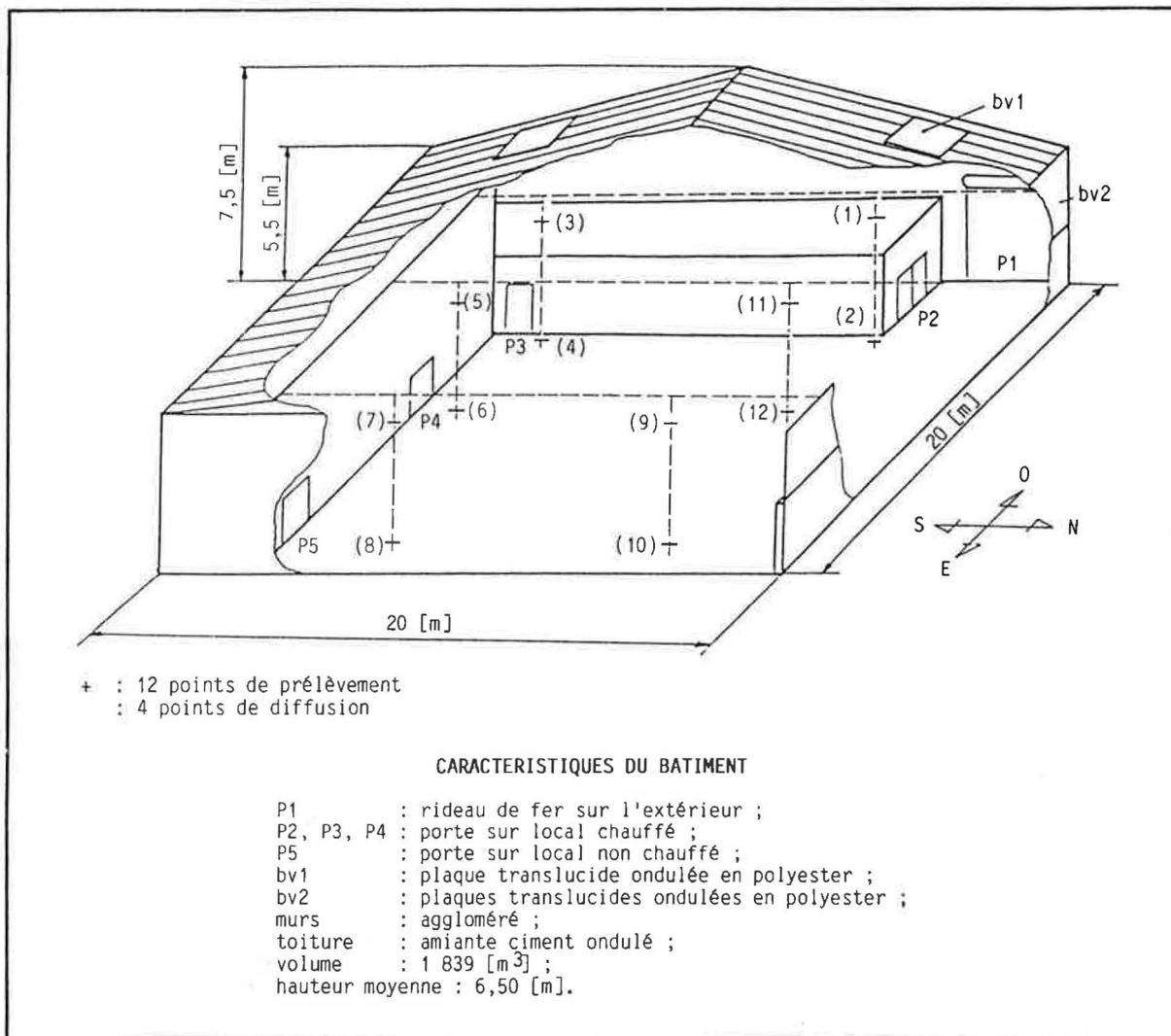


Fig. 1 - Présentation du hall d'essais.

1 - LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL

Pour le gaz traceur, notre choix s'est porté sur l'hélium. D'une conductivité thermique très différente de celle de l'air, sa présence peut être décelée jusqu'à des concentrations relativement basses, à l'aide d'un catharomètre (figure 2). S'il est directement justifié du point de vue économique (faible investissement par rapport à d'autres types d'appareils de mesure, coût peu élevé de la mesure dans un grand volume ...), ce choix pose d'autres questions que nous aborderons plus loin, après avoir présenté en détail le dispositif expérimental.

La figure 3 présente le type d'évolution possible de la concentration en hélium en fonction du temps. Après une période d'homogénéisation, qui doit être la plus courte possible, la décroissance est du type exponentielle jusqu'à la limite de validité des mesures, qui se situe aux environs de 0,02 %.

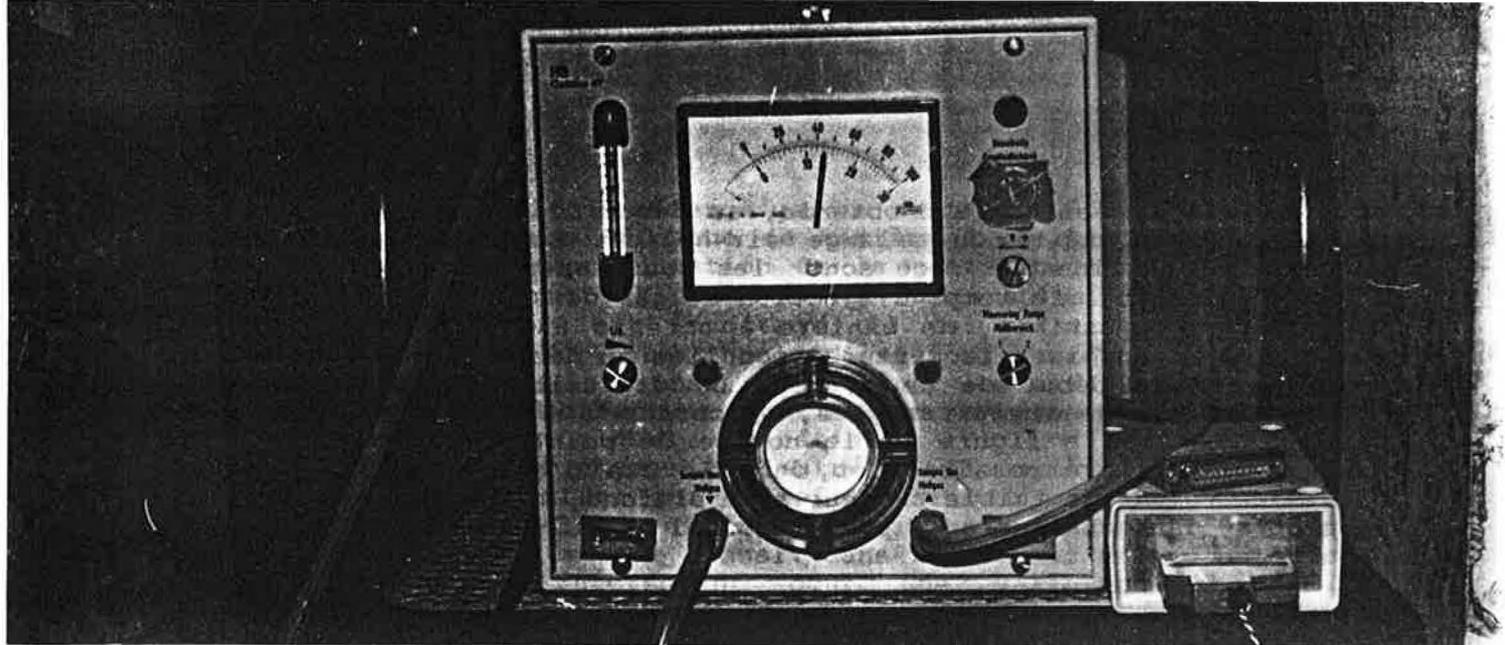


Fig. 2 - Le catharomètre et son système d'acquisition automatique de mesures : une boîte blanche.

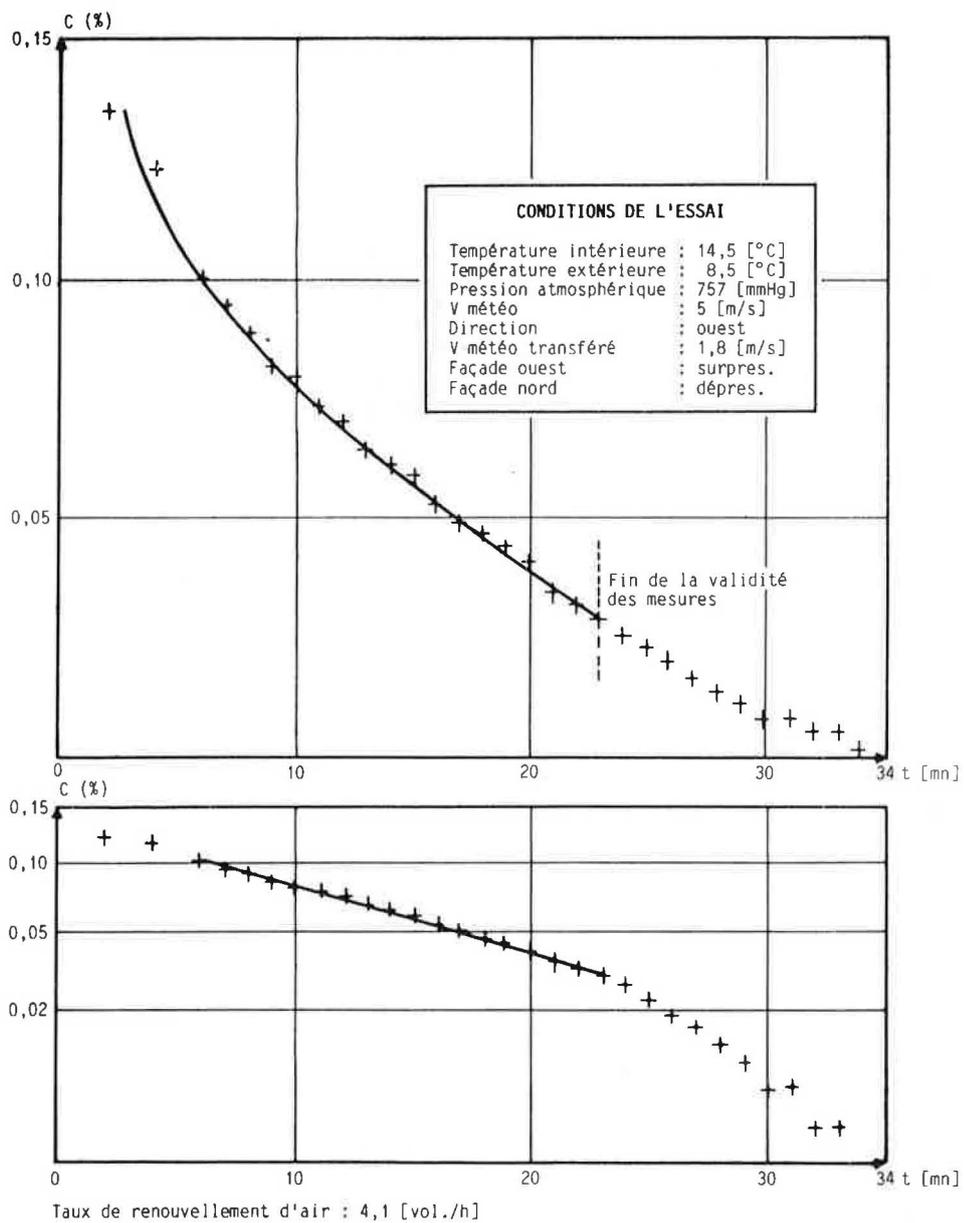


Fig. 3 - Courbes d'évolution de la concentration d'hélium en coordonnées orthographiques et en coordonnées semi-logarithmiques.

Il est nécessaire d'obtenir, au début de la mesure, une bonne et rapide homogénéité du mélange air-hélium. La diffusion pure n'a qu'un effet négligeable : ce sont les mouvements d'air qui assurent l'homogénéisation. Le temps d'éjection du gaz dans le volume doit être le plus court possible, de manière à obtenir une vitesse d'éjection élevée, et à minimiser la perturbation liée au débit de renouvellement d'air avant le début de la mesure. La diffusion est effectuée par l'intermédiaire de tuyaux souples, raccordés à une nourrice. Comme le met en évidence la figure 4, le nombre de points de diffusion doit être le plus élevé possible, et, dans le cas d'un logement, c'est à dire d'un volume de faible hauteur sous plafond, mais compartimenté, il doit être, dans chaque zone, proportionnel au volume de la pièce.

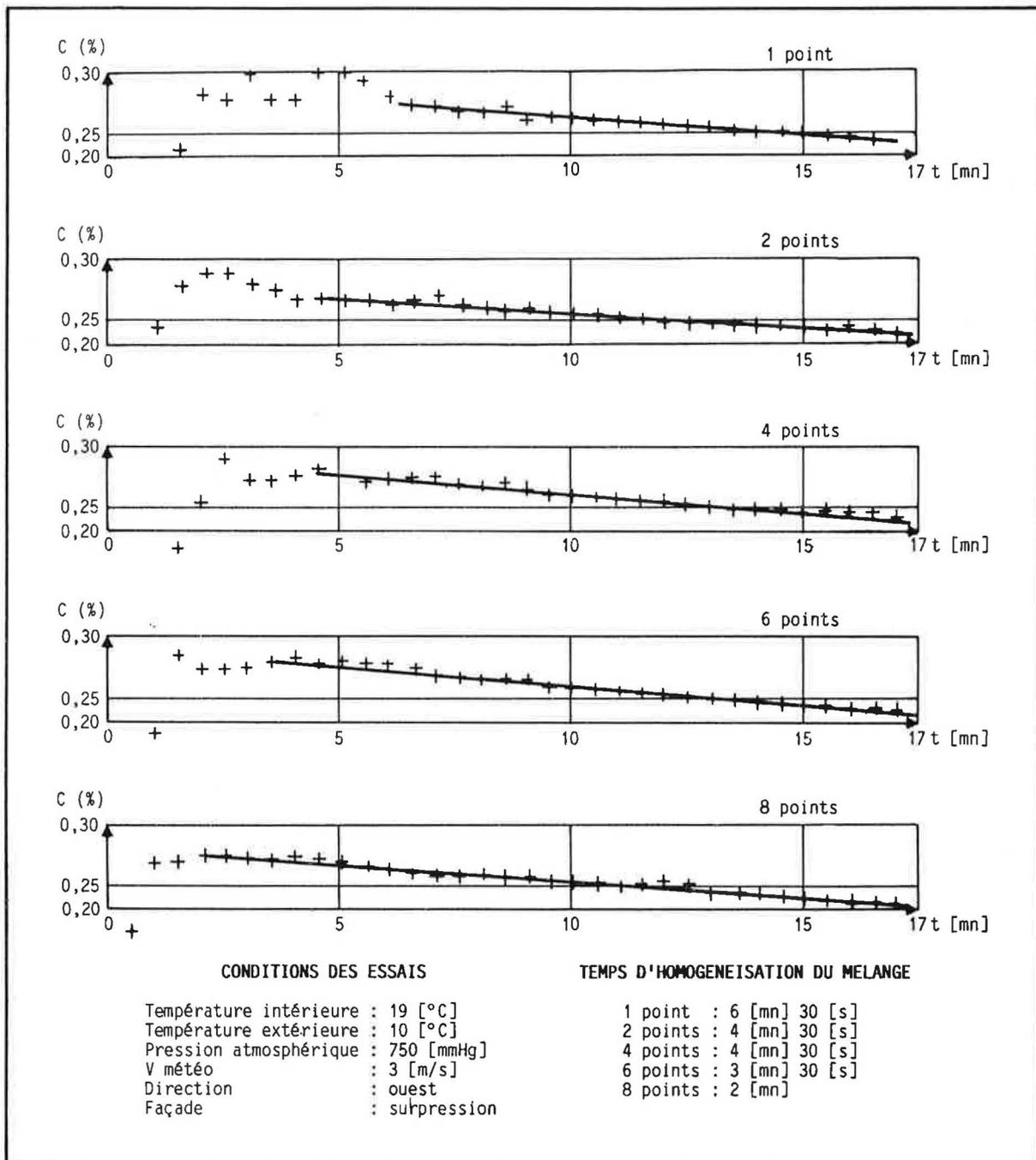


Fig. 4 - Influence du nombre de points d'éjection.

Le prélèvement du mélange gazeux destiné à être analysé par le catharomètre doit être effectué de manière à ce que la mesure faite permette une bonne représentation de la ventilation du bâtiment. Le circuit de prélèvement est formé de tuyaux souples. Si le nombre de points de prélèvement est important, il est possible d'obtenir une concentration moyenne, après homogénéisation dans une nourrice, de tous les prélèvements, et ainsi, en palliant les éventuelles hétérogénéités du mélange, d'effectuer une mesure représentative du taux de renouvellement d'air global du bâtiment. Il est indispensable de régler les pertes de charge à l'entrée de la nourrice, pour éviter tout circuit préférentiel qui nuirait à la validité des mesures. De plus, le débit de prélèvement doit être important pour un bon mélange et une réduction du temps de transit dans le circuit afin d'obtenir un temps de réponse intéressant pour une variation brusque de concentration. Enfin, des vannes quart de tour permettent, en isolant certains points de prélèvement, de n'analyser que les mélanges provenant d'une partie d'un bâtiment.

L'ensemble du dispositif expérimental de mesure du taux de renouvellement d'air est schématisé figure 5.

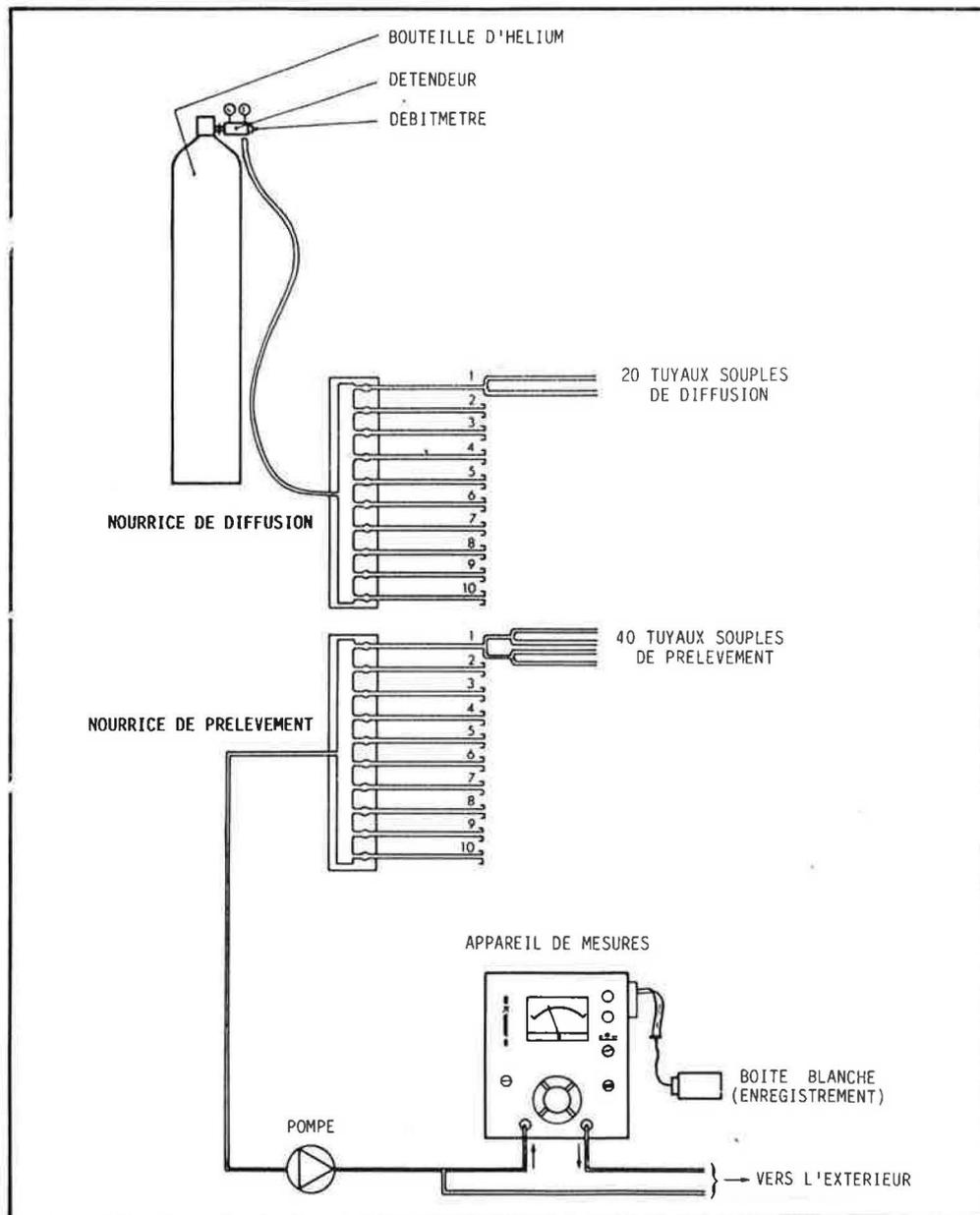


Fig. 5 - Schéma du dispositif expérimental.

Le catharomètre étant équipé d'une sortie en courant asservi 4-20 [mA], nous avons adapté un système autonome d'acquisition de mesures : une boîte blanche. Celui-ci est un enregistreur alimenté par des piles à longue durée de vie. Les mesures sont numérisées, puis stockées dans des mémoires électroniques. La période de temps entre deux mesures enregistrées successivement peut être réglée de 8 secondes à plus de 34 minutes. Les données doivent ensuite être "lues" par un micro-ordinateur et stockées dans des fichiers sur disquette. A partir de ceux-ci, les mesures peuvent être utilisées pour effectuer par voie informatique divers traitements tels que :

- sortie de tableaux de mesures ;
- calculs divers ;
- tracé de courbes.

1.1 - CHOIX DE L'HELIUM

A 0 [°C] et sous pression atmosphérique normale, la densité de l'hélium par rapport à l'air est égale à 0,139. Pour estimer l'influence de cette densité sur la validité de la mesure, nous avons effectué un essai dont la progression est la suivante : mesure de la concentration moyenne en utilisant tous les points de prélèvement, puis de la concentration haute du bâtiment à l'aide des points situés à 4,2 [m] du sol, enfin la concentration basse donnée par les points situés à 2 [m] du sol (figure 6). La différence entre les concentrations basses et hautes par rapport à la moyenne n'est pas excessive, proportionnellement à la densité de l'hélium. De plus, un choix judicieux de l'emplacement des points de prélèvement peut pallier cette différence. Par conséquent, l'utilisation de moyens, tels que des brasseurs d'air destinés à homogénéiser le mélange durant l'essai ne sont pas indispensables, leur présence risquant même de modifier le régime étudié.

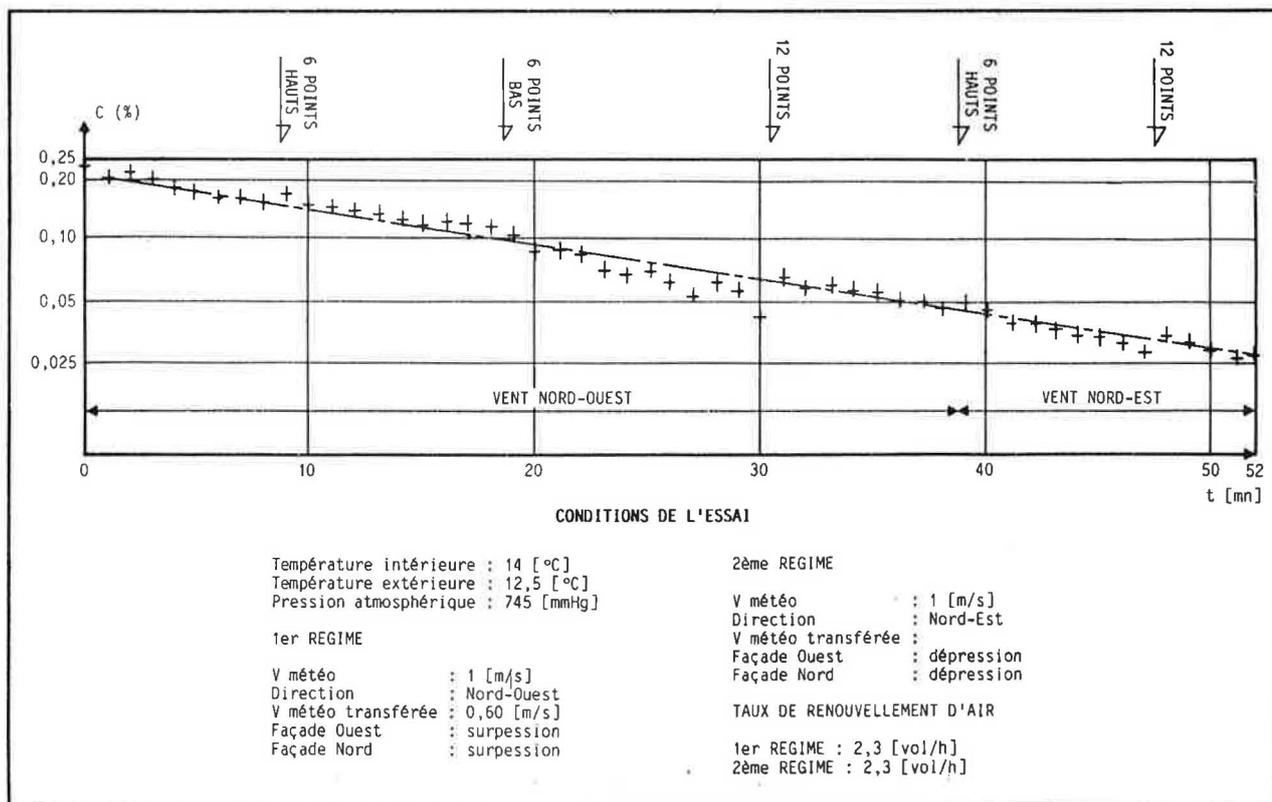


Fig. 6 - Influence de la densité de l'hélium par rapport à l'air.

La mesure des taux de renouvellement d'air décrite dans cet article est basée sur une décroissance de la concentration d'hélium. Or cette disparition d'hélium dans le mélange n'est pas uniquement causée par le renouvellement d'air, mais également par son absorption par les matériaux constituant le local. Pour estimer la part de celle-ci, et ainsi mieux apprécier la validité des résultats, nous avons fait une série d'essais, résumés par les deux courbes de la figure 7, dans un petit local de 55 [m³]. La courbe N° 1 est obtenue pour un vent de direction Nord-Ouest et une différence moyenne de températures entre l'intérieur et l'extérieur de l'ordre de 4,5 [°C]. La courbe N°2 montre l'influence du vent seul, de direction Nord-Est, puisque la différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur est nulle. En extrapolant cette dernière à une vitesse de vent nulle, nous pouvons estimer l'influence de l'absorption de l'hélium par les matériaux. La valeur obtenue nous permet de négliger cette influence.

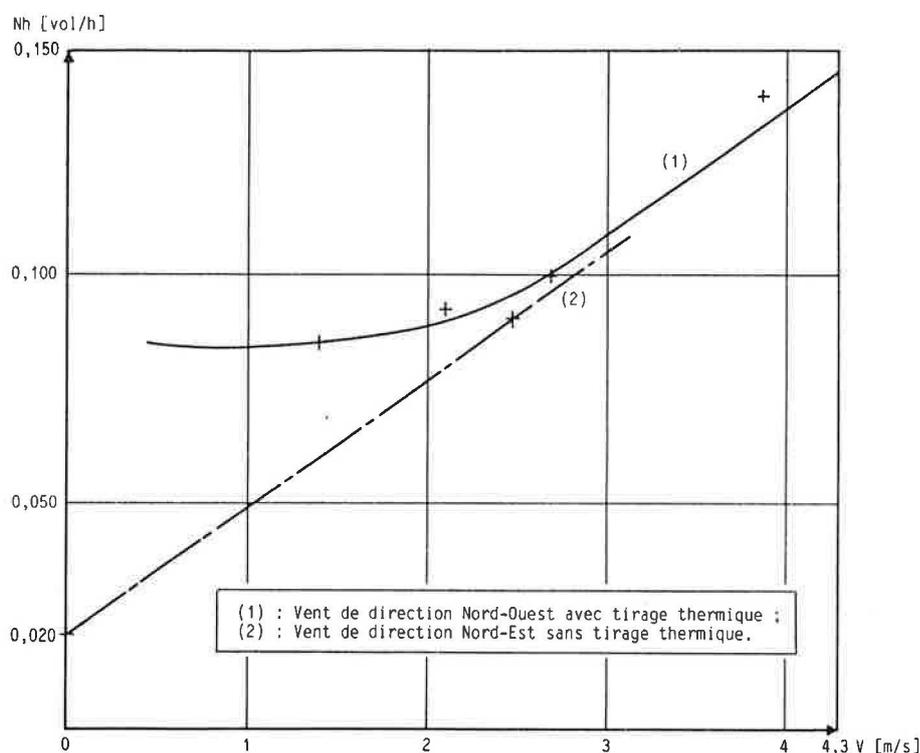


Fig. 7 - Influence de l'absorption de l'hélium par les matériaux.

1.2 - CHANGEMENTS DE REGIME

Les modifications des valeurs des taux de renouvellement d'air peuvent être dues à deux causes :

- un changement dans les conditions atmosphériques : températures, vitesse ou direction du vent ;
- une perturbation due à l'utilisation du bâtiment, comme l'ouverture ou la fermeture d'une porte.

Durant l'essai (figure 8), les conditions atmosphériques ne sont pas stables : le vent change de direction et augmente sa vitesse. Les valeurs des deux taux, suite au changement de régime, visible sur la courbe, peuvent être estimées : 1,2 [vol/h] puis 3,3 [vol/h]. Le principe de la mesure n'est pas remis en cause par des conditions atmosphériques perturbées. Au contraire, il permet d'estimer leur influence.

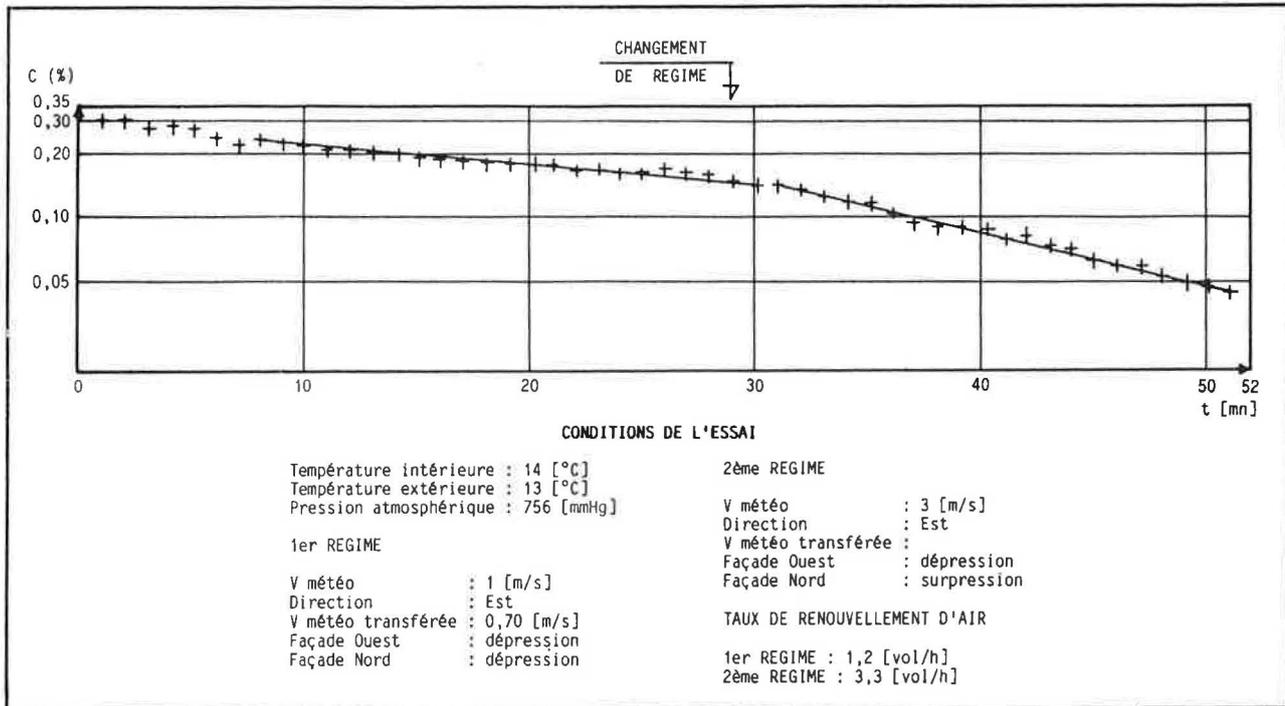


Fig. 8 - Mise en évidence d'un changement de régime (vitesse du vent).

Figure 9, nous constatons, lors de l'ouverture d'une porte extérieure, une brusque et rapide décroissance de la concentration d'hélium. Une fois la porte refermée, le régime redevient constant et semblable à celui avant la perturbation. Le temps de réaction de la méthode de mesure à un tel changement de régime est de l'ordre de 6 [mn], provenant du temps de transit du prélèvement dans le circuit, du temps de réponse du catharomètre et enfin du temps d'homogénéisation après perturbation.

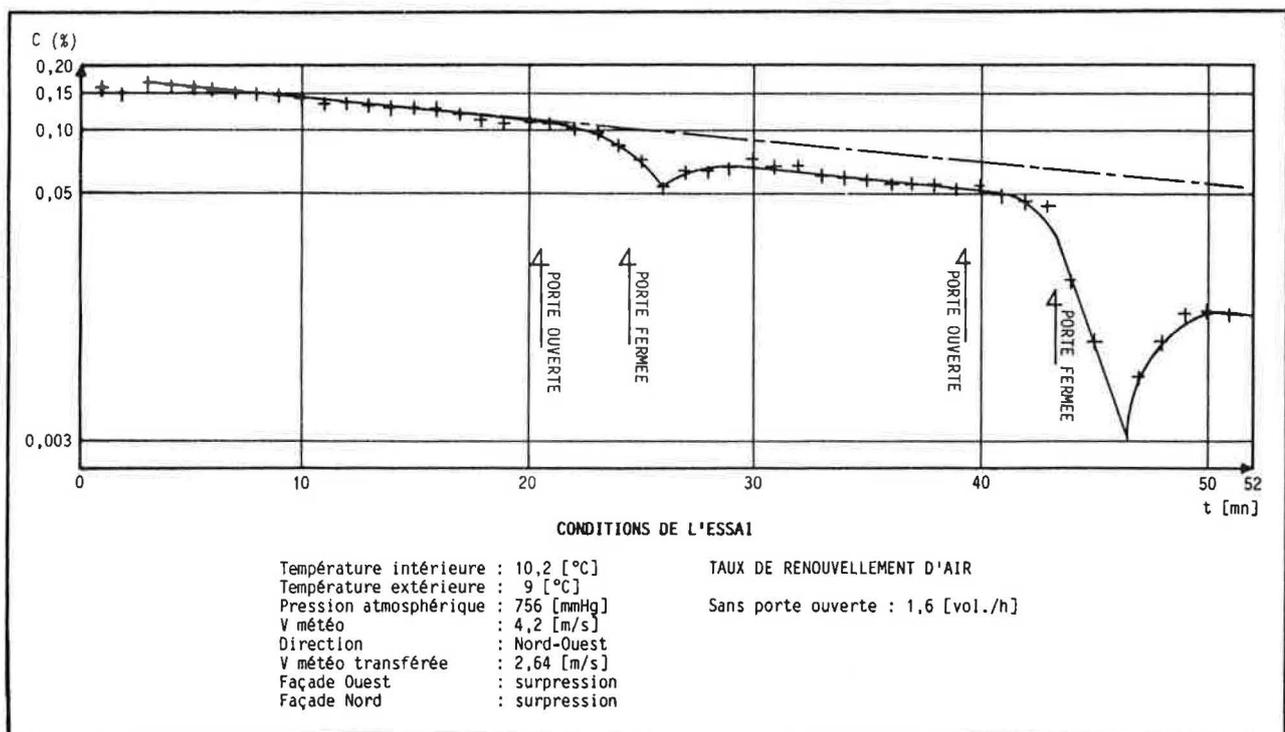


Fig. 9 - Influence d'un changement de régime (ouverture/fermeture de portes).

1.3 - LOCALISATION DES ZONES D'INFILTRATION

Afin de mieux cerner le phénomène, il peut être intéressant d'effectuer des mesures de concentrations locales (point par point), et de les comparer à la concentration moyenne. Cette possibilité nous est donnée par l'utilisation des vannes quart de tour permettant d'isoler chacun des réseaux de prélèvement à l'entrée de la nourrice.

La courbe de la figure 10 permet de situer la concentration mesurée en chacun des points, tels qu'ils sont numérotés figure 10, par rapport à la concentration moyenne. Ainsi, nous pouvons considérer qu'il y a accumulation d'hélium dans la zone comportant les points 1, 9 et 11, léger manque d'hélium pour les points 4, 5, 6, 7 et manque plus important pour les points 2 et 8.

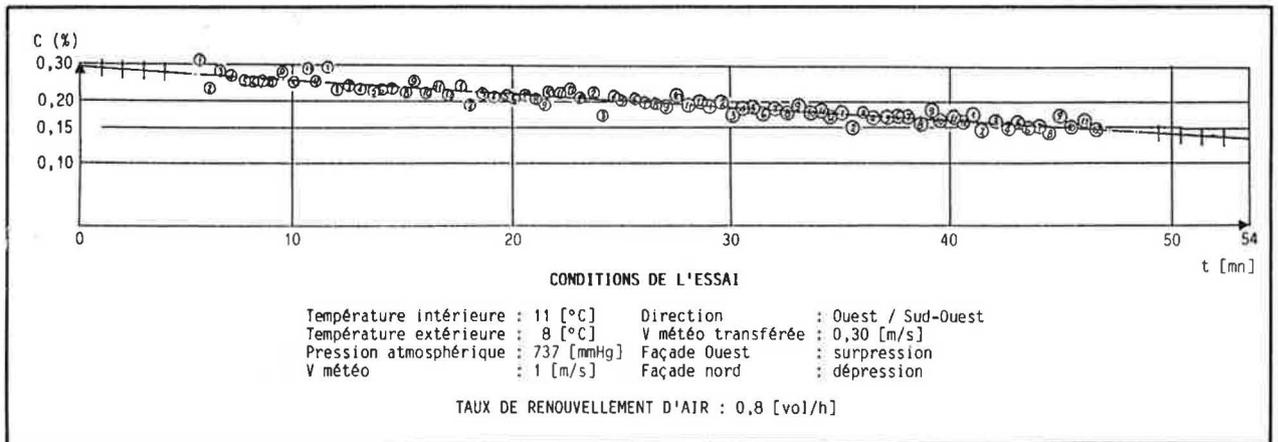


Fig. 10 - Localisation des zones d'infiltrations.

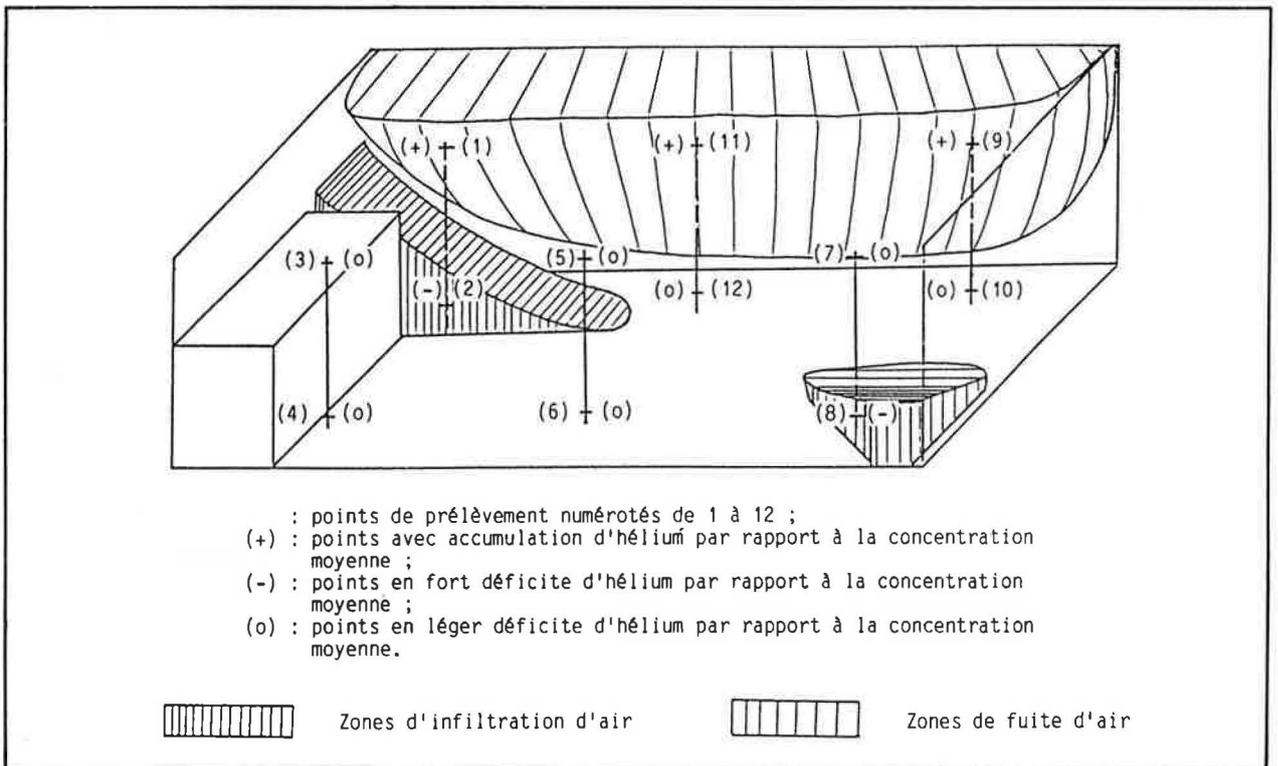


Fig. 11 - Représentation dans l'espace des zones d'infiltration et de fuite d'air.

Ce phénomène est schématisé figure 11. Les volumes représentés n'ont pour but que de délimiter les zones concernées par les entrées ou les sorties d'air, mais ne doivent en aucun cas être pris pour des déplacements d'air réels. Ces mesures indiquent qu'il y a infiltrations par la porte P1 fermée par un rideau de fer (point 2), par la porte P5 donnant sur un local non chauffé (point 8), et par la paroi Sud, de façon répartie (points 3, 4, 5, 6, 7). Il y a, par contre, sortie d'air par les éléments en polyester de la façade Nord (points 9, 11 et 1). Ces résultats, c'est-à-dire infiltrations par les façades Ouest et Sud, et sortie par la façade Nord, sont en accord avec les mesures de pressions dynamiques que nous avons effectuées au cours de l'essai.

2 - UTILISATION DE LA METHODE SUR SITES REELS

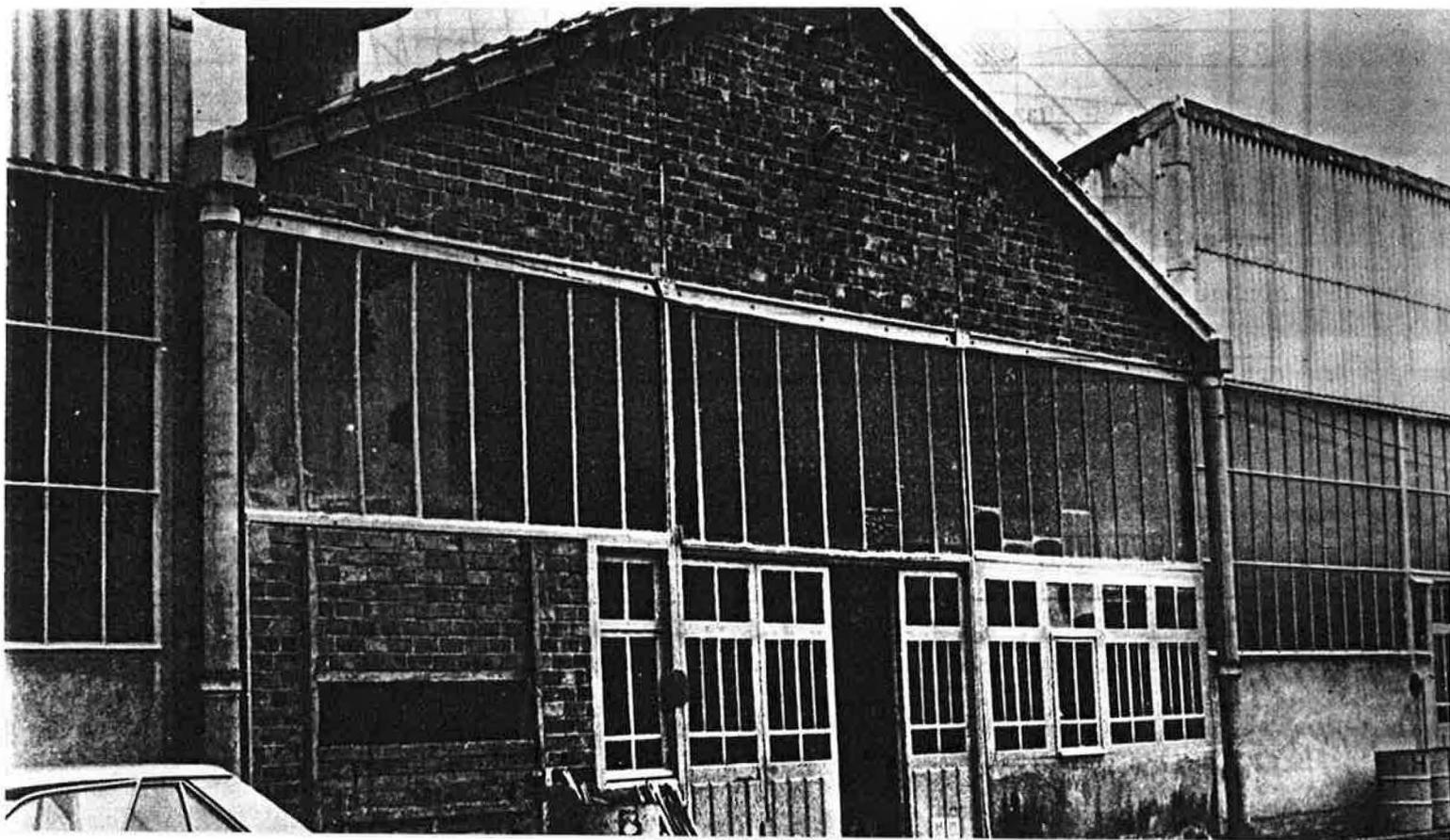
Après cette mise au point en hall d'essais, dans les locaux du Co.S.T.I.C. à Morlaas, nous avons utilisé cette méthode sur sites réels, à plusieurs reprises, dans des conditions normales d'utilisation des bâtiments, c'est à dire chauffés et occupés. Afin de présenter les possibilités de la méthode, nous avons sélectionné quelques exemples.

2.1 - SITES INDUSTRIELS

PRESENTATION DES BATIMENTS

La première série d'essais a été effectuée dans l'atelier B de "menuiserie-électricité" des établissements POTEZ à Aire-sur-l'Adour (Landes). Ce hall, d'un volume d'environ 2 150 [m³], est occupé par 15 à 20 personnes. Il est formé de deux façades extérieures et de deux murs en contact avec des volumes chauffés (figures 12 et 13). Le chauffage est assuré par deux générateurs à air chaud, fonctionnant au gaz.

Fig. 12 - Atelier B de la société POTEZ.



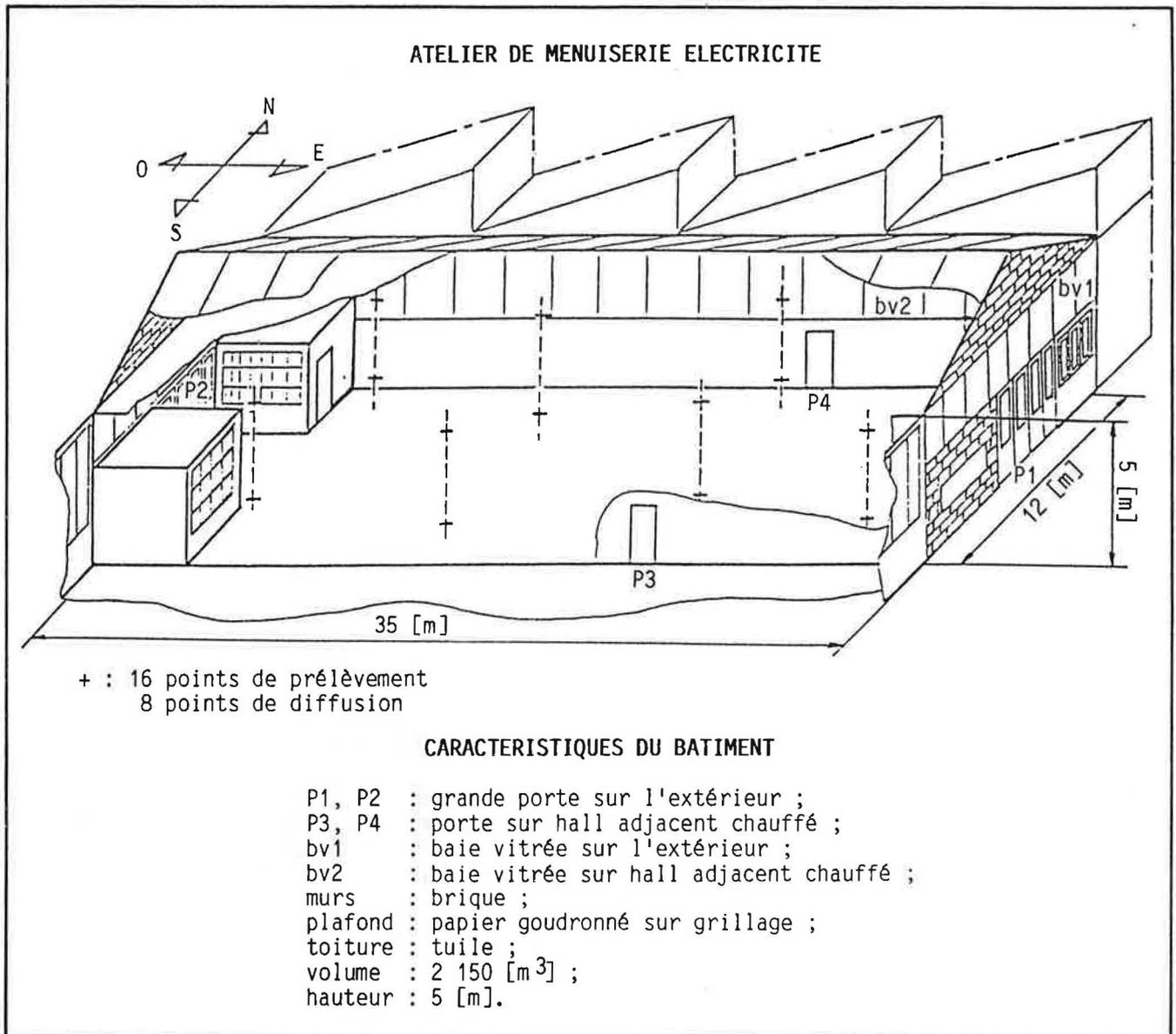


Fig. 13 - Présentation du bâtiment B, société POTEZ.

La deuxième série d'essais concerne le bâtiment "M2 régulation série" de la société TURBOMECA à Bordes (Pyrénées-Atlantiques). Ce hall, d'un volume de 3 750 [m³] (figures 14 et 15), est occupé par 55 personnes. Il est composé de deux façades sur l'extérieur et de deux murs mitoyens en contact avec un hall chauffé, mais sans communication possible. La toiture en sheds, isolée, a été calfeutrée par projection de mousse polyuréthane sur les raccords de pans de toiture. L'unique accès au bâtiment est un sas, composé de deux battants souples. Le hall est chauffé par quatre aérothermes. De plus, il y a possibilité de mettre en service quatre ventilateurs d'extraction, situés sur les sheds. Le bâtiment est partiellement compartimenté, jusqu'à une hauteur de 2 [m], à l'aide de cloisons en bois.

De manière à pouvoir tenir compte du comportement des occupants sur le renouvellement d'air, nous avons effectué un grand nombre de ces essais durant les heures de travail, en laissant circuler les gens suivant leurs habitudes (à l'intérieur des halls, ouverture et fermeture des portes d'accès ...).

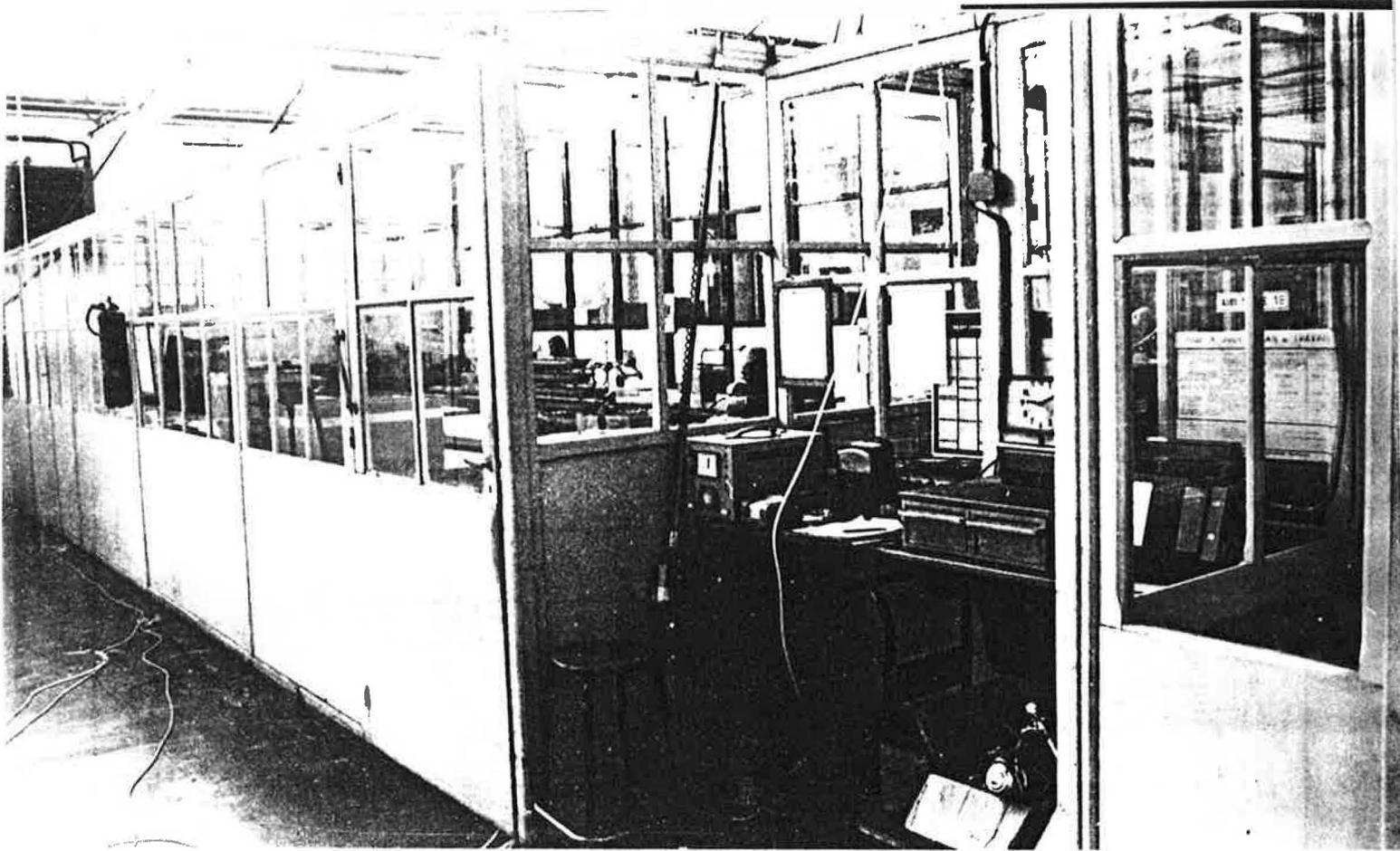


Fig. 14 - TURBOMECA, vue intérieure du bâtiment M2.

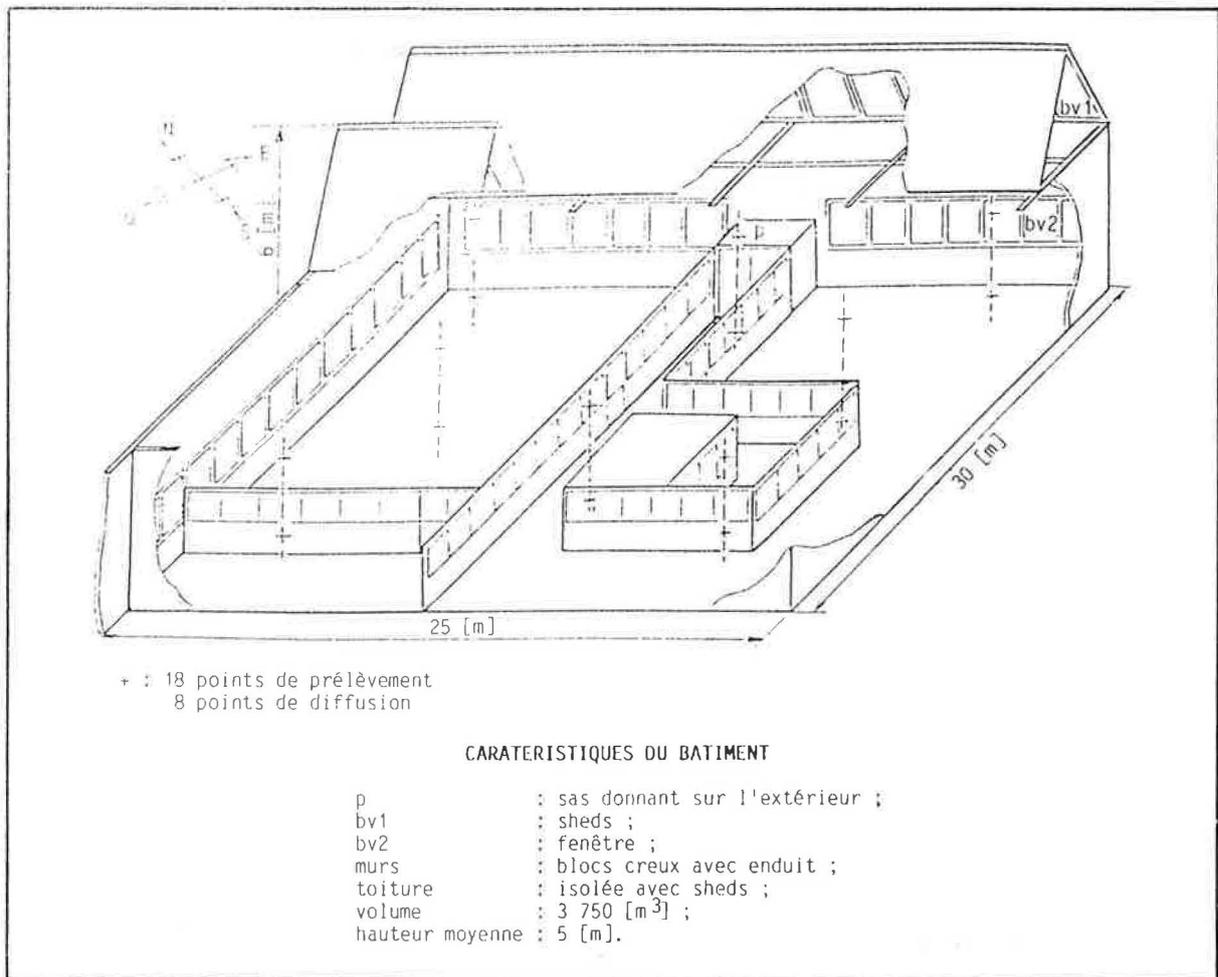


Fig. 15 - Présentation du bâtiment M2 de la société TURBOMECA.

ESSAIS EFFECTUES DANS LES BATIMENTS DE LA SOCIETE POTEZ

Ces essais sont résumés par le tableau I. Le premier essai, qui peut être considéré comme la référence, a été réalisé alors que le bâtiment était inoccupé et non chauffé. Malgré une vitesse de vent importante, le taux de renouvellement d'air reste faible. De plus, les prises de pressions dynamiques indiquent que les deux façades sous le vent sont en surpression. Ce phénomène peut s'expliquer par la présence des bâtiments avoisinants créant des turbulences.

ESSAI	CARACTERISTIQUES	ECART DE TEMPERATURE [K]	VENT		TAUX DE RENOUELEMENT [vol./h]
			VITESSE [m/s]	DIRECTION	
1	Bâtiment non chauffé, inoccupé sans ouverture de portes	1,8	3,10	S0-SS0	1,00
2	Bâtiment chauffé, occupé : - ouverture fréquente de portes - P1 ouverte 2 à 3 [mn] - P2 ouverte 2 à 3 [mn]	14,0	1,00	E-SE	2,50 8,90 11,30
3	Bâtiment chauffé, occupé : - P3 ouverte - P3 fermée, autres portes fréquemment ouvertes - P3 fermée, autres portes moins fréquemment ouvertes	13	0,90	NO	3,40
					2,20
					1,90
4	Bâtiment chauffé, inoccupé sans ouverture de portes	10,7	1,40	NO	1,40

Tableau I - Récapitulatif des essais effectués dans l'atelier B de menuiserie-électricité (société POTEZ).

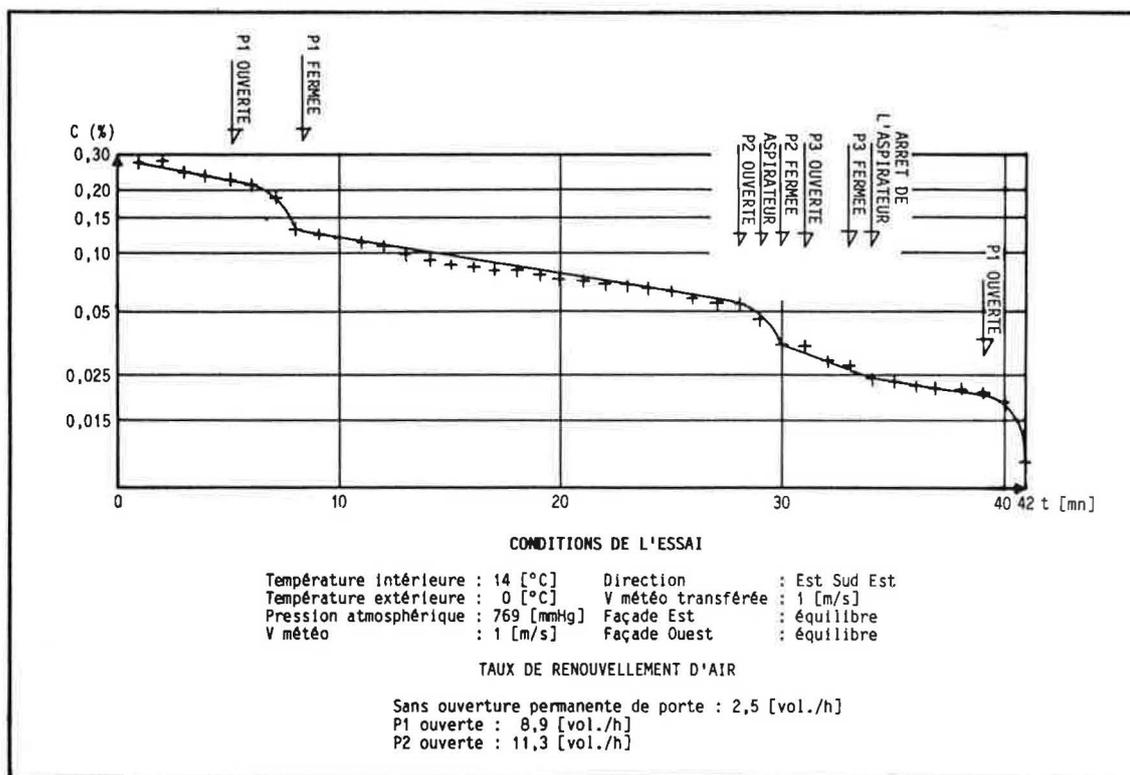


Fig. 16 - Société POTEZ, essai N° 2, bâtiment chauffé et occupé.

Le deuxième essai (figure 16) illustre différents régimes qui peuvent être rencontrés dans ce bâtiment, chauffé et occupé. Les portes sont fréquemment ouvertes pour permettre le passage des ouvriers, et leurs simples ouvertures et fermetures (cas le plus fréquent) font partie du régime permanent, et se traduisent simplement par des instabilités de mesure. Par contre, des ouvertures plus longues, ou la mise en service de l'aspirateur de service provoquent un changement de régime important, visualisé par une chute brutale de la concentration moyenne d'hélium. Après leurs fermetures, le régime reprend sa valeur initiale : la droite de décroissance redevient parallèle à celle antérieure à la perturbation.

La mesure de l'essai N° 3, effectuée à la suite du deuxième essai, est moins perturbée par l'ouverture permanente de portes, sauf la porte P3 (figure 17). Des mesures de température à des hauteurs différentes, porte P3 ouverte et fermée, (figure 18) nous permettent de visualiser la stratification, ainsi que l'influence de la ventilation sur celle-ci. Lorsque la porte P3 est ouverte de façon permanente, nous constatons une chute de température importante.

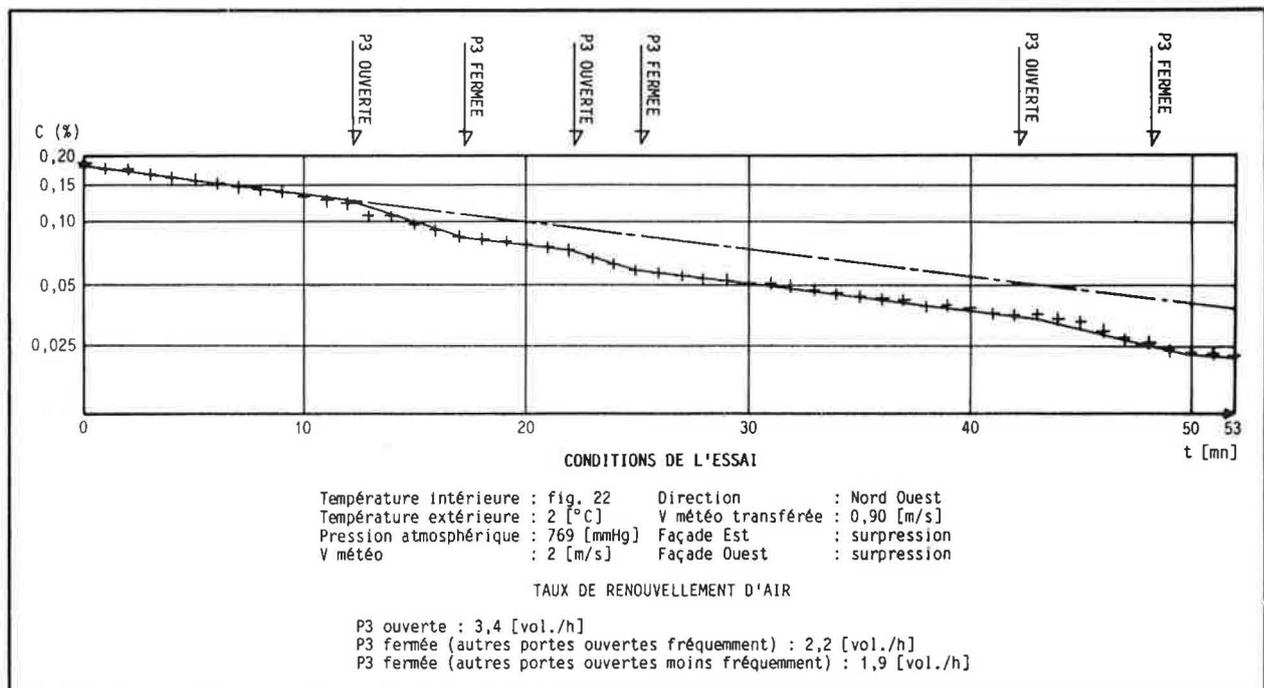


Fig. 17 - Société POTEZ, essai N° 3, bâtiment chauffé et occupé.

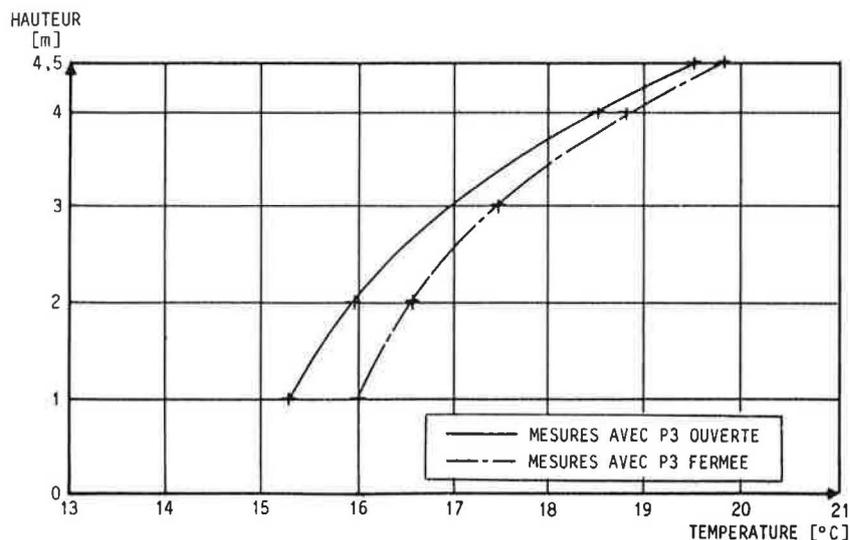


Fig. 18 - Stratification pendant l'essai N° 3.

L'essai N° 4, réalisé entre 12 heures et 14 heures, lorsque le hall est inoccupé, montre l'importance des cycles d'ouvertures et de fermetures de portes. Dans des conditions météorologiques pratiquement identiques, le taux moyen de renouvellement d'air passe de 1,4 [vol/h] à 2,3 [vol/h].

ESSAIS EFFECTUES DANS LE BATIMENT DE LA SOCIETE TURBOMECA (tableau II)

ESSAI	CARACTERISTIQUES	ECART DE TEMPERATURE [K]	VENT		TAUX DE RENOUELEMENT [vol./h]
			VITESSE [m/s]	DIRECTION	
1	Bâtiment non chauffé, inoccupé sans ouverture	8,0	1,00	Ouest	1,17
2	Bâtiment chauffé, occupé :		0,80	SE	
	- fenêtres ouvertes	8,1			2,50
	- ventilateur en service	10,4			1,90
	- sans ouverture ni ventilateur	8,4			1,00

Tableau II - Récapitulatif des essais effectués dans l'atelier M2 de la société TURBOMECA.

Le premier essai (figure 19) est effectué dans le bâtiment inoccupé, sans ouverture de fenêtres. Les infiltrations sont provoquées par l'action du vent sur les façades, mais également par tirage thermique. En effet, bien que le bâtiment ne soit pas chauffé, des mesures de température (figure 20) indiquent un gradient important provenant d'un effet de serre dû à une orientation Nord-Est des sheds.

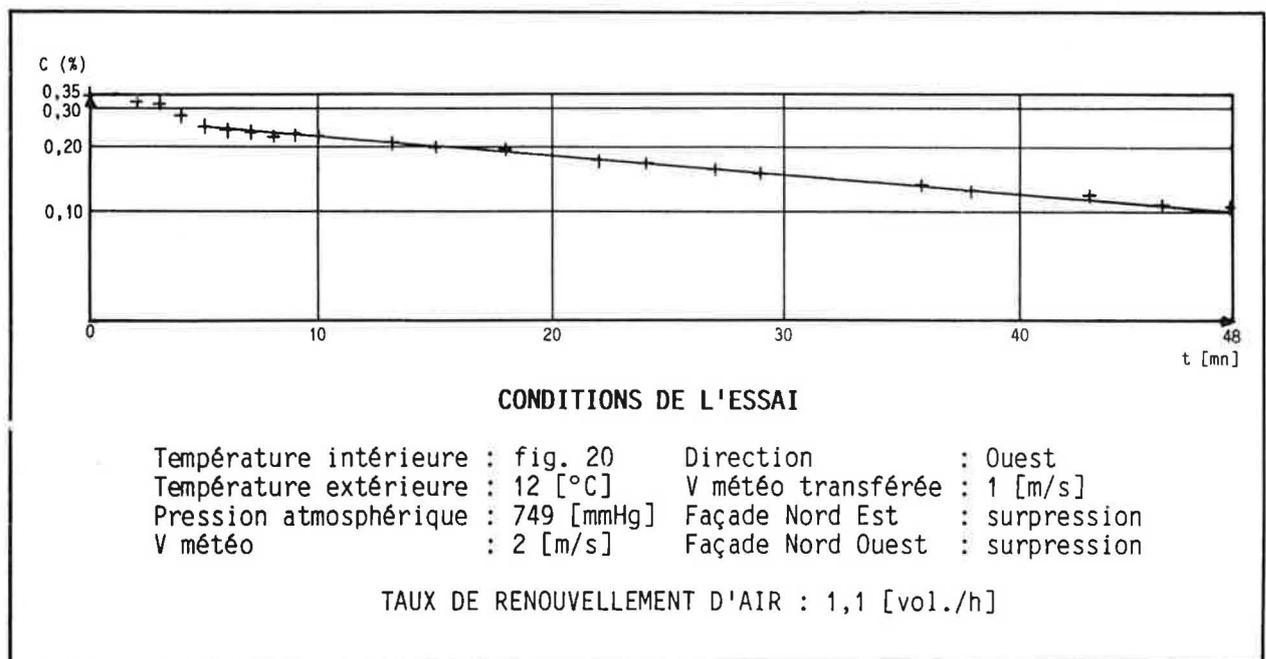


Fig. 19 - Société TURBOMECA, essai N° 1, bâtiment non chauffé et inoccupé.

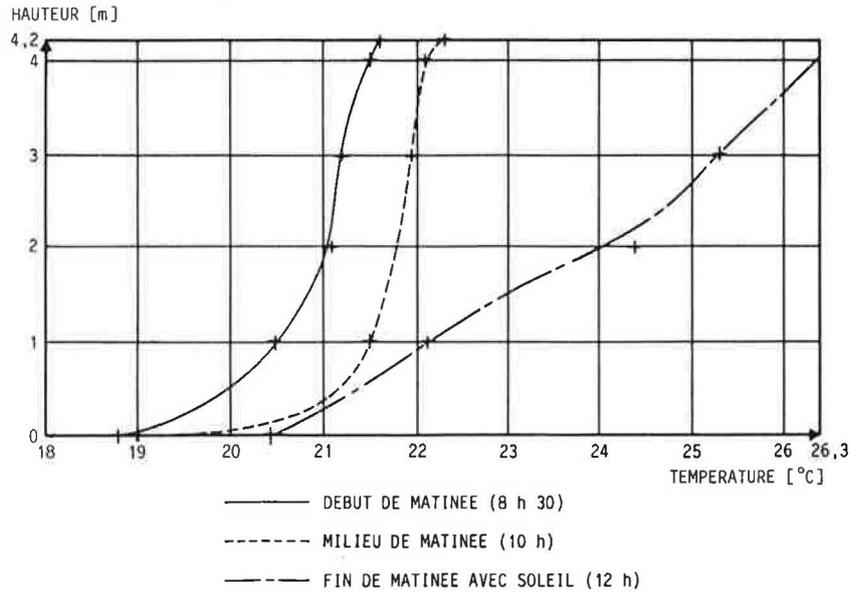


Fig. 20 - Stratification pendant l'essai N° 1.

La deuxième série de mesures (figure 21) est effectuée lorsque le bâtiment est occupé. Elle a permis de mettre en évidence trois régimes différents : fenêtres ouvertes, fenêtres fermées, mise en service du ventilateur.

Nous pouvons remarquer que l'entrée et la sortie de personnes par le sas (porte P) ne provoquent pas de dispersions des mesures comme celles rencontrées pour l'utilisation de portes classiques. Cette constatation prouve l'efficacité d'un tel procédé de fermeture.

L'utilisation de cette méthode de mesure du renouvellement d'air par gaz traceur a prouvé sa fiabilité sur site industriel et sa capacité d'intégrer l'influence du comportement sur la ventilation (ouverture/fermeture de portes ...).

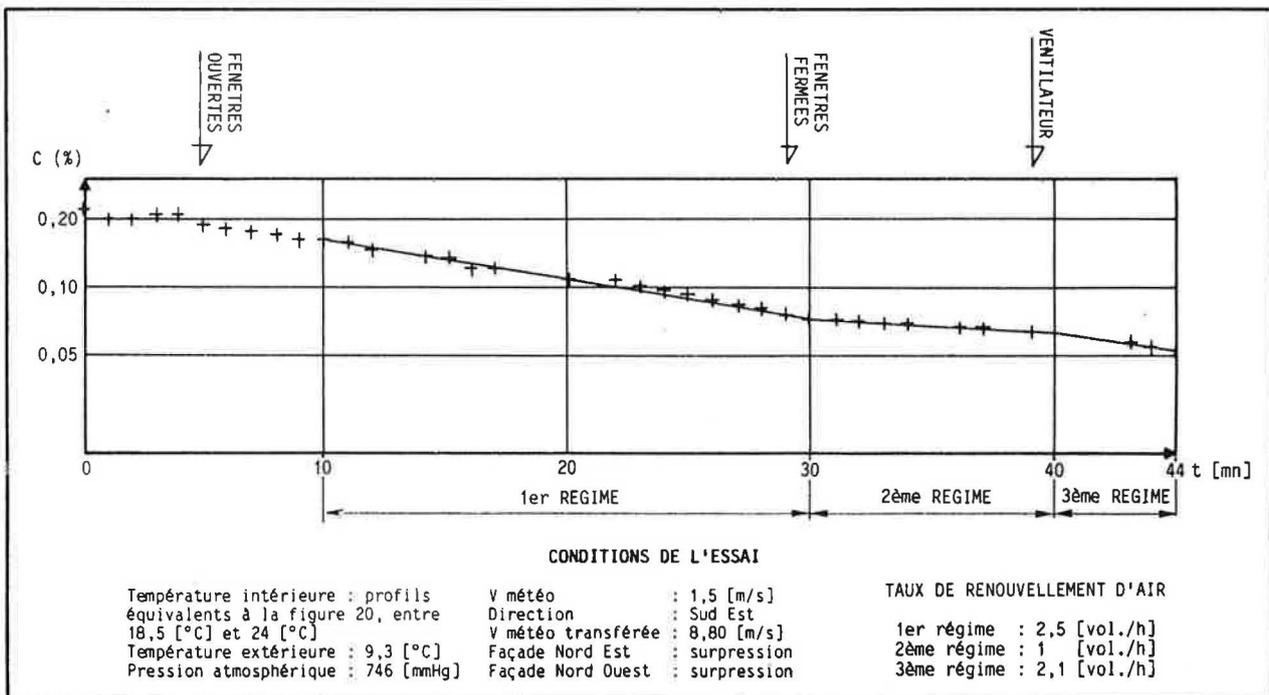


Fig. 21 - Sociétés TURBOMECA, essai N° 2, bâtiment non chauffé et occupé.

Ce moyen de mesures présente divers intérêts :

- exploitation de mesures obtenues lors d'expertises, afin de déterminer la perméabilité à l'air du bâtiment, son niveau de renouvellement ... ;
- étude statistique d'un bâtiment, afin de déterminer expérimentalement l'influence des conditions atmosphériques (vent, températures) et du système de chauffage (aérothermes, générateurs d'air chaud ...) sur la ventilation, ainsi que l'efficacité d'une amélioration.

2.2 - HABITAT EN VENTILATION NATURELLE

La méthode de mesure, telle qu'elle a été décrite dans les paragraphes précédents, a été testée dans une quinzaine de maisons individuelles ou appartements différents, ventilés naturellement, lors d'une campagne de mesures, totalisant une quarantaine d'essais durant la saison de chauffe 1984-1985.

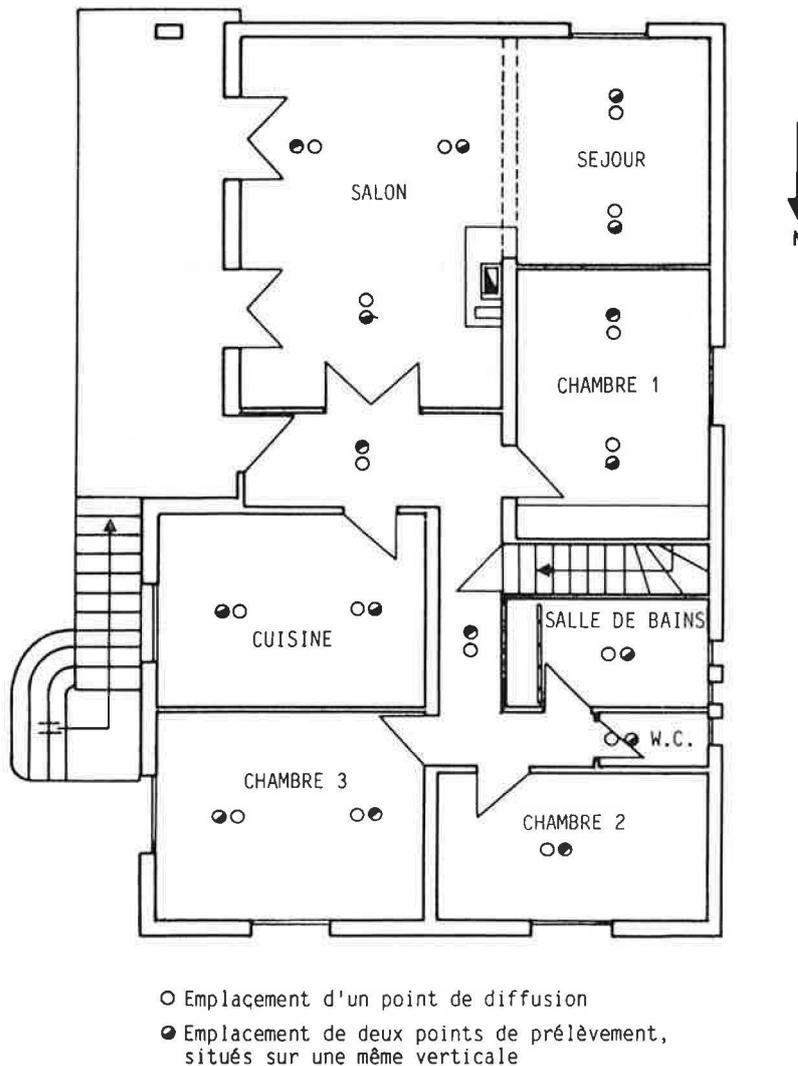


Fig. 22 - Plan de la maison individuelle testée.

Cette campagne ne peut prétendre avoir un caractère statistique, ainsi nous ne présenterons pas la totalité de ces essais mais seulement la série effectuée dans la maison individuelle présentée figure 22. La mise en place du système est facilitée par l'utilisation de piquets en bois, montés sur trépieds, et sur lesquels sont fixés les tuyaux souples. L'ensemble des tuyaux provenant d'une même pièce est regroupé par l'intermédiaire de tés, avant d'être raccordé à la nourrice. A l'arrivée de chaque ensemble se trouve une vanne quart de tour, ce qui permet :

- d'obtenir le taux global de renouvellement, pour le logement (toutes vannes ouvertes) ;
- d'analyser uniquement le mélange provenant d'un seul local (toutes vannes fermées, sauf celle correspondant à la pièce concernée). Ce système permet de mettre en évidence les locaux mal ventilés, par exemple.

La maison, figure 22, bien que située en zone rurale, est entourée d'autres constructions. Elle est constituée d'un premier étage, construit sur cave et garage. D'un volume total de 255 [m³], sa hauteur sous plafond est de 2,60 [m]. Les ouvrants sont assez perméables à l'air. La cuisine, la salle de bains sont munis d'ouvertures d'entrée d'air. La cheminée à feu ouvert, située dans le salon, n'est munie d'aucun système d'obturation amovible.

Le tableau III résume les trois essais effectués.

La comparaison des essais 1 et 2 montre l'influence d'une augmentation de la vitesse du vent, sa direction étant la même, et la différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur étant constante.

L'obturation de la cheminée, réalisée lors du troisième essai, montre que, pour une même vitesse et direction du vent, et malgré une augmentation de l'écart de température, le taux de renouvellement baisse de manière notable entre le premier et le troisième essai.

ESSAI	DIFFERENCE DE TEMPERATURE [K]	VENT		TAUX DE RENOUELEMENT [vol./h]
		VITESSE [m/s]	DIRECTION	
1	1,1	0,5	ouest	0,77
2	1,1	0,9	ouest	0,84
3	5,4	0,5	ouest	0,40

Tableau III - Récapitulatif des essais effectués en habitat ventilé naturellement.

2.3 - HABITAT EQUIPE DE VENTILATION MECANIQUE

Au cours d'une série de mesures qui est exposée dans un article différent présenté dans ce même numéro, nous avons mis en évidence que les particularités des échanges aérauliques au niveau des

pièces de service d'un appartement rendent impossible, à cause de la forte hétérogénéité de la concentration qu'elles entraînent, l'utilisation de gaz traceur pour la détermination des taux de renouvellement d'air soit des pièces de service seules, soit de l'ensemble du logement (pièces de service et pièces principales). Par contre, nous avons montré également que la bonne homogénéité du mélange air-hélium dans les pièces principales laisse la possibilité de l'application d'une telle méthode au niveau de ce groupe de locaux.

Une méthode "mixte" semble donc tout à fait envisageable pour caractériser et évaluer les échanges aérauliques dans l'habitat équipé de ventilation mécanique contrôlée :

- mesure des débits extraits par les bouches de ventilation mécanique contrôlée, dans les pièces de service ;
- détermination du taux et donc du débit de renouvellement d'air par application de la méthode de décroissance de concentration d'hélium, au niveau des pièces principales.

Cette dernière méthode, appliquée globalement à l'ensemble du groupe des pièces principales, peut permettre d'accéder aux échanges entre celui-ci et les pièces de service ou l'extérieur. D'autre part une méthode de mesure par pièce, appliquée à chacune des pièces principales séparément, peut permettre de vérifier que chacune d'entre elles est correctement ventilée, et de mettre éventuellement en évidence les problèmes existants.

