



Étude comparative de la qualité de l'air intérieur d'un immeuble climatisé et d'un immeuble à ventilation naturelle

Study of indoor air quality in air-conditioned and naturally ventilated environments

Isabelle SAUDE (*), Sylvie PARAT (**), Jean-Claude LOEWENSTEIN (*), Bernard MILLANCOURT (*), Sylvie SOREAU (*)

RÉSUMÉ

La climatisation : un plus pour le confort ?

La climatisation, largement répandue dans les immeubles du tertiaire, est rendue responsable d'inconfort et de multiples maux par certains usagers de ces immeubles.

Afin de caractériser de manière objective l'évolution des caractéristiques d'une ambiance climatisée et d'évaluer les expositions auxquelles sont réellement soumis les occupants d'immeubles du tertiaire, nous avons comparé la qualité de l'air d'un immeuble climatisé à celle d'un immeuble à ventilation naturelle.

Une année de suivi des polluants de l'air

Cette étude s'est déroulée sur toute l'année 1992 dans les immeubles EDF de l'Avenue de Wagram (climatisé) et de la Place des États-Unis (ventilation naturelle). Le groupement BIOQUALITAIR de Grenoble était chargé des analyses microbiologiques et le groupe Qualité de l'Air du département Environnement d'EDF/DER de la mesure des paramètres climatiques et physico-chimiques.

En complément des mesures climatiques et de pollution inorganique effectuées en continu pendant un an à l'intérieur de chacun des immeubles et à l'extérieur, huit campagnes d'une journée chacune ont été réalisées au cours de l'année. Ces campagnes permettaient des prélèvements d'air nécessaires à la mesure des paramètres organiques et microbiologiques à l'intérieur de 3 bureaux de chaque immeuble, ainsi qu'à l'extérieur.

Les évolutions annuelles relevées illustrent l'influence de la saison, de l'environnement extérieur, de l'occupation des bureaux, des sources internes de pollution et de la climatisation.

Des différences sensibles en faveur de la climatisation

Les résultats essentiels peuvent être résumés de la façon suivante.

1) Paramètres climatiques de confort : en hiver, l'humidification de l'air dans l'immeuble climatisé permet d'éviter une baisse de l'humidité intérieure en-deçà du

ABSTRACT

Air conditioning : a positive factor of comfort ?

Air conditioning, widespread in service and commercial sector buildings, is alleged by some users of air-conditioned buildings to produce discomfort and numerous ills.

In order to characterize objectively the changes in the characteristics of an air conditioned environment and to evaluate the exposures to which tertiary sector building occupants are really subjected, we compared the air quality of an air conditioned building with that of a naturally ventilated building.

A full year of monitoring air pollutants

This study took place over the full year 1992, in the EDF buildings, on Avenue Wagram (air conditioned) and on Place des États-Unis (natural ventilation), both in Paris. The BIOQUALITAIR group of Grenoble was commissioned to do the microbiological analyses and the EDF Air Quality group to do the climatic and physico-chemical analyses.

In addition to the climatic and inorganic pollution measurements made on a continuous basis over one year in each of the buildings and outdoors, eight campaigns lasting a day each were carried out in the course of the year. These campaigns served to take the air samples required for measuring the organic and microbiological parameters in three offices in each building as well as outdoors.

Appreciable differences in favor of air conditioning

In terms of the comparison of the air quality of the two buildings, the basic results can be summarized as follows :

1) Environmental parameters of comfort : humidification of the air in the air conditioned building makes it

(*) EDF, Direction des Études et Recherches, Département Environnement, 6, quai Watier, 78401 Chatou Cedex.

(**) Institut Universitaire de Médecine du Travail et Ergonomie, Hôpital A. Michallon, BP 217, 38043 Grenoble Cedex 9.

seuil d'inconfort de 30 % comme on l'observe dans l'immeuble à ventilation naturelle.

La régulation de la température dans l'immeuble climatisé est délicate en demi-saison car les variations de température extérieure sont plus importantes. Le confort est alors moindre durant les quelques jours de transition.

2) En ce qui concerne les micro-organismes, le système d'air conditionné de l'immeuble distribue dans les bureaux un air parfaitement propre grâce à la qualité des éléments techniques et de la maintenance.

La filtration du système de climatisation constitue une barrière efficace contre les champignons : on constate en effet, en été, des concentrations plus faibles dans l'immeuble de Wagram que dans celui de la Place des États-Unis.

Les teneurs en bactéries, plutôt d'origine humaine, sont plus faibles dans l'immeuble climatisé par effet de dilution grâce au renouvellement d'air.

3) Pour les polluants chimiques, les différences apparaissent faibles entre les deux immeubles car le système d'air n'a pas pour fonction de stopper les polluants chimiques extérieurs. En distinguant les polluants organiques, on peut constater les faits suivants :

- pour les polluants inorganiques, les teneurs intérieures en oxydes d'azote suivent généralement les teneurs extérieures, surtout en hiver lorsqu'il existe des pointes de pollution extérieure. La climatisation assure un lissage des pointes à l'intérieur de l'immeuble. Les variations de la teneur en dioxyde de carbone sont liées dans les deux immeubles à la présence des occupants ;

- pour les polluants organiques, les concentrations dans les deux immeubles sont généralement plus élevées qu'à l'extérieur mais restent à des niveaux globalement faibles ; les « pointes » de pollution sont plus souvent rencontrées dans l'immeuble climatisé où les teneurs dans les différents bureaux sont plus homogènes. Les teneurs observées n'ont pas été directement reliées à l'usage de la climatisation.

Fondée sur des critères objectifs de contrôle de qualité de l'air, cette investigation durant une année permet de conclure qu'une installation de climatisation bien conçue et correctement entretenue permet d'obtenir une ambiance d'égalité ou de meilleure qualité qu'en l'absence de climatisation.

Préserver le confort dans le tertiaire

Les systèmes de climatisation centralisée ont pour principe de traiter, dans une « centrale d'air » unique au bâtiment, l'air prélevé à l'extérieur et de le distribuer dans l'ensemble des bureaux. Les éléments constitutifs de la centrale permettent de filtrer l'air et de corriger la température et l'humidité pour maintenir une ambiance confortable dans les locaux. La centrale de traitement d'air n'a pas pour fonction essentielle de débarrasser l'air des polluants qu'il peut contenir. Cependant, l'ambiance intérieure doit demeurer confortable, y compris sur le plan sanitaire.

possible to prevent the humidity of the indoor air from dropping below the comfort threshold of 30 % as occurred in the building with natural ventilation.

Temperature control in the air conditioned building is difficult in between-seasons as the changes in outside temperature are greater. Comfort is then diminished during the few transitional days.

2) As concerns microorganisms, the buildings air conditioning system distributes to the offices an air which is perfectly clean thanks to the quality of the technical components of the system and to proper maintenance.

The filtering of the air conditioning system constitutes an efficient barrier against fungi : in fact, lower concentrations of fungus were found in the Avenue Wagram building than in the one of Place des États-Unis.

The bacteria contents, mostly of human origin, were smaller in the air conditioned building due to the dilution effect of the air renewal rate.

3) Regarding chemical pollutants, there were only small differences between the two buildings because the air conditioning system is not designed to prevent the ingress of outdoor chemical pollutants. By distinguishing between organic and inorganic pollutants, the following facts can be highlighted :

- *in terms of inorganic pollutants, the indoor concentrations of nitrogen oxides generally follow the outdoor concentrations, especially in winter when outdoor pollution peaks occur. Air conditioning smooths the peaks inside the building. The variations in carbon dioxide content are related in both buildings to the presence of occupants ;*

- *in terms of organic pollutants, the concentrations in both buildings were generally higher than outdoors but nevertheless remained low on the whole ; pollution « peaks » occurred more often in the air conditioned building, where the concentrations are more homogeneous between offices.*

The year-long investigation allows one to conclude that a well-designed and well-maintained air conditioning installation can provide an indoor environment of equal quality or better quality than without air conditioning, based on objective criteria of air quality monitoring.

Les polluants des ambiances climatisées du tertiaire peuvent schématiquement avoir trois origines [1] :

- une origine externe au bâtiment : les polluants présents dans l'air extérieur sont aspirés à la prise d'air neuf et disséminés dans les bureaux ; il peut s'agir de polluants chimiques particuliers (poussières) ou gazeux (automobiles ou usines) ainsi que de polluants microbiens (essentiellement bactéries et champignons) ;

- une origine interne aux bureaux : les occupants sont les principales sources de polluants particuliers (fumée de tabac), gazeux (tabac, respiration, bio-effluents), et microbiens (toux, éter-

nuement, parole) ; les matériaux utilisés dans l'aménagement des bureaux et les divers équipements peuvent également dégager des composés gazeux ;

– une origine interne au système de traitement d'air : il ne peut s'agir que d'une pollution microbienne ; les micro-organismes trouvent dans cette ambiance chaude et humide les conditions idéales pour leur développement et sont ensuite dispersés dans les bureaux.

Ainsi, en plus d'assurer le confort thermique, le système de climatisation doit limiter l'entrée d'air pollué extérieur, évacuer l'air vicié intérieur et ne pas abriter des micro-organismes en excès.

Parfois, l'air conditionné peut être responsable de troubles liés aux différents polluants physico-chimiques ou microbiologiques [2]. Cependant, lorsqu'une pollution excessive est mise en évidence, il est difficile de déterminer dans quelle proportion elle est due à l'occupation humaine des locaux, à la pollution extérieure, ou au système de conditionnement d'air lui-même.

Afin d'appréhender de manière objective le rôle du conditionnement de l'air sur le confort dans le tertiaire, une étude globale des paramètres physico-chimiques et microbiologiques a donc été menée pendant une année. Il s'agissait de comparer la qualité de l'air dans deux immeubles aussi identiques que possible, exception faite de leur système de ventilation : l'un possède une climatisation centralisée, l'autre est naturellement ventilé. Une étude longitudinale sur une année permet de prendre en compte le facteur saisonnier dans la comparaison de la qualité de l'air. Cette étude n'a pas porté sur la perception du confort par les usagers ou sur les aspects santé, elle s'est uniquement attachée à la comparaison de l'atmosphère des deux immeubles sur des paramètres physiques, chimiques et microbiologiques dans des conditions habituelles d'occupations.

Le suivi de la flore microbienne dans les 2 immeubles au cours de l'année d'études a été confié à « Bioqualitair », groupe associant l'Institut Universitaire de Médecine du Travail et d'Ergonomie (IUMTE) et le Département de Parasitologie Mycologique Médicale et Moléculaire (DP3M). L'ensemble des relevés et analyses des paramètres physico-chimiques a été assuré par le groupe Qualité de l'Air de la Direction des Études et Recherches d'EDF.

Méthodologie d'étude

Description des sites

Deux bâtiments parisiens d'EDF ont été sélectionnés : l'un, situé avenue de Wagram, comporte un système de climatisation centralisée ; l'autre, ventilé naturellement, se trouve Place des États-Unis. Ces deux bâtiments ont un environnement

identique (ils sont situés non loin de la Place de l'Étoile à Paris, à un kilomètre de distance l'un de l'autre) ; l'activité exercée à l'intérieur des locaux est similaire (activité de bureau) ainsi que le nombre moyen d'occupants par bureau ; par ailleurs, ces deux bâtiments ont approximativement le même âge.

Le bâtiment naturellement ventilé comporte 7 étages et le bâtiment climatisé 10 étages. Le système de conditionnement d'air de ce dernier fonctionne avec recyclage (20 à 25 % minimum) ; il possède une filtration de type EU7, une humidification à vapeur et une distribution par éjecto-convecteurs. Les fenêtres sont fermées et bloquées. La prise d'air neuf est située sur le toit au 10^e étage. Les procédures de pilotage et d'entretien du système de climatisation n'ont pas été modifiées par rapport aux habitudes de gestion en place.

L'unique ventilation mécanique du bâtiment naturellement ventilé est constituée par les extracteurs obligatoires dans les toilettes. Les fenêtres peuvent être ouvertes. Le chauffage est assuré en hiver par des radiateurs à eau chaude.

Stratégie d'échantillonnage

Dans chaque bâtiment, un bureau de référence a été retenu : l'air de ces deux bureaux ainsi que l'air extérieur de chaque immeuble ont été analysés en continu durant une année, de janvier 1992 à décembre 1992. Les mesures portent sur les paramètres physiques : température et humidité relative, et sur les polluants gazeux inorganiques : CO, CO₂, NO et NO₂.

Les bureaux de référence ont été choisis avec des caractéristiques aussi ressemblantes que possible afin d'éviter les biais dus à l'aménagement et à l'occupation des locaux : orientation ouest, présence de matériel informatique, bureaux habituellement « non fumeurs », forte occupation (passage fréquent), étages comparables (8^e dans le bâtiment climatisé, 6^e dans le bâtiment non climatisé).

Par ailleurs, les bureaux de référence n'ont pas fait l'objet de modifications récentes sur l'ameublement ni sur les revêtements de sol ou muraux (moquette et papiers peints).

Parallèlement au suivi continu de l'air extérieur et de l'air de ces bureaux de référence, 8 campagnes de mesures ont été programmées sur l'ensemble de l'année 1992 : 3 campagnes en période de chauffage, 3 campagnes lorsque la climatisation était en mode rafraîchissement et 2 campagnes en demi-saison (avril et septembre).

Au cours de ces campagnes, d'une journée chacune, les mesures portaient d'abord sur les bureaux de référence et l'air extérieur afin de confronter les résultats avec les mesures continues ; elles portaient également sur 2 autres bureaux dans chaque immeuble. Ces 2 bureaux supplé-

mentaires avaient pour objet d'étudier la représentativité du bureau de référence par rapport à l'ambiance générale des immeubles ; ils ont été sélectionnés sur la même façade ouest, mais à des étages différents : 4^e étage et 2^e étage dans l'immeuble climatisé, 5^e étage et 2^e étage dans l'immeuble ventilé. L'occupation et les aménagements de ces bureaux sont variables mais concernent, dans tous les cas, une activité de secteur tertiaire. Il y a systématiquement présence de matériel informatique.

Lors de ces campagnes, nous avons analysé les polluants pour lesquels une mesure directe est impossible : les composés organiques volatils et les micro-organismes. Le prélèvement d'air est suivi d'une analyse en laboratoire. Il n'y a pas eu de mesure du taux de renouvellement d'air des bureaux.

En résumé, l'analyse de l'air a porté huit fois dans l'année sur les paramètres suivants :

- les composés organiques volatils :
 - dans les 6 bureaux,
 - dans les 2 airs extérieurs,
- la flore microbiologique :
 - dans les 6 bureaux, au niveau du poste de travail,
 - dans les 3 bureaux climatisés, en sortie de l'éjecto-convecteur,
 - dans les 2 airs extérieurs (à la prise d'air neuf de l'immeuble climatisé et en façade au 6^e étage de l'immeuble naturellement ventilé).
- les paramètres physiques et les gaz inorganiques : dans les 6 bureaux, ainsi que dans plusieurs autres bureaux répartis dans chacun des 2 immeubles (6 dans l'immeuble climatisé et 3 dans le non climatisé).

Les appareillages utilisés sont précisés dans l'encart n° 1.

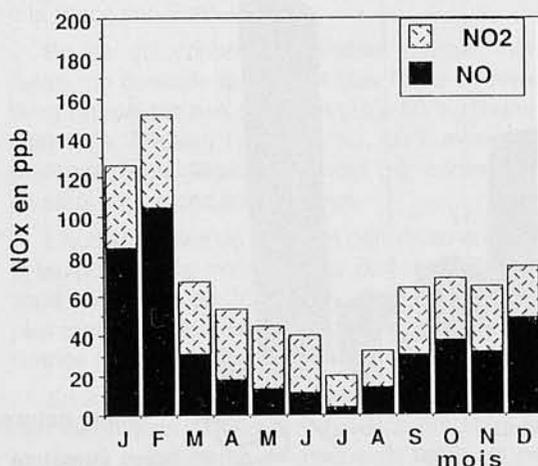


Figure 1a.
Moyennes mensuelles en NO/NO₂ (air ext.)
Immeuble climatisé - année 1992.
*Outdoor NO/NO₂ monthly averages.
Air conditioned building - 1992.*

Résultats et discussion

Comparaison des environnements extérieurs des deux immeubles

Ce préalable à la comparaison des airs intérieurs a pour objet de mettre en évidence les différences d'ambiance autour des deux immeubles pour identifier les biais éventuels susceptibles d'influencer la comparaison des ambiances intérieures.

Les gaz inorganiques

Les concentrations mensuelles moyennes de CO₂ varient entre 350 et 450 ppm selon la saison et sont quasiment identiques sur les 2 sites ; les concentrations moyennes mensuelles de CO (polluant à très forte diffusivité) sont de quelques ppm (2 à 8) et diffèrent sensiblement selon le site et la saison.

Les moyennes mensuelles pour les oxydes d'azote sont quasiment toujours plus élevées (mais très légèrement) à Wagram qu'à la Place des États-Unis, aussi bien pour le NO que pour le NO₂. On remarquera la variation saisonnière de la teneur en NO sur les deux sites avec un minimum en été et un maximum en hiver (fig. 1). Ce phénomène bien connu est non seulement dû à une augmentation de la pollution urbaine par tous les chauffages mais aussi à des conditions météorologiques limitant la dispersion des polluants en hiver. La variation saisonnière est, par contre, moins marquée pour le NO₂, plus régulièrement produit tout au long de l'année sur les deux sites.

D'après l'ensemble des résultats, le niveau de pollution semble très comparable sur les deux sites pour les 4 polluants inorganiques concernés. Les écarts constatés - peu importants, surtout à ces niveaux - peuvent s'expliquer simplement par les

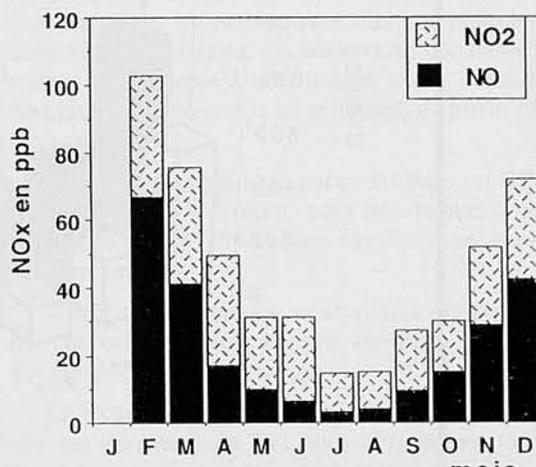


Figure 1b.
Moyennes mensuelles en NO/NO₂ (air ext.)
Immeuble naturellement ventilé - année 1992.
Outdoor NO/NO₂ monthly averages.

différences d'environnement (altitude, exposition, distance à la rue, importance du trafic automobile, etc.), les deux prises d'air extérieur des appareils de mesure [3].

Les composés organiques

Les niveaux mesurés dans l'air extérieur se situent dans la gamme des teneurs habituellement observées en zone urbaine. Les concentrations en formaldéhyde, en acétaldéhyde et en acétone sont très comparables autour des deux immeubles : elles oscillent de la même manière entre 10 et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les niveaux extérieurs de benzène et des méta+para-xylène autour des deux immeubles sont comparables et n'excèdent pas 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; par contre, les niveaux de toluène sont globalement plus élevés autour de l'immeuble climatisé, avec une nette contamination en septembre (285 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette contamination n'est pas anormale pour un prélèvement urbain : en effet, parmi les composés recherchés, le toluène est, par ordre d'importance, le premier émis par les véhicules automobiles devant les méta+para-xylène et le benzène. Par ailleurs, les données de l'Organisation Mondiale de la Santé précisent que les teneurs habituellement rencontrées en zone urbaine varient de 0,1 à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [4].

Les micro-organismes

Les variations annuelles diffèrent selon qu'il s'agit des bactéries ou des champignons.

En ce qui concerne la contamination bactérienne (fig. 2), on constate que, pour la plupart des campagnes, l'air extérieur du bâtiment naturellement ventilé est plus fortement contaminé que l'air extérieur du bâtiment climatisé, respectivement 100 à 1 200 UFC/ m^3 et 50 à 600 UFC/ m^3 .

Malgré cette différence, les évolutions sont tout de même assez similaires, sauf en octobre où on dénombre simultanément 1 276 UFC/ m^3 dans l'air extérieur de l'immeuble États-Unis et 145 UFC/ m^3 dans l'air extérieur de Wagram.

On ne décèle aucun caractère saisonnier typique.

La variation de concentration observée entre les deux immeubles provient, en fait, de la différence de hauteur entre les deux prélèvements qui influe sur la dispersion de l'air [5]. En effet, la mesure de la contamination est réalisée à l'entrée de l'air dans le bâtiment, c'est-à-dire au niveau d'une fenêtre pour le bâtiment naturellement ventilé et sur le toit, à la prise d'air neuf du bâtiment climatisé.

Les concentrations fongiques extérieures (fig. 3) sont extrêmement proches avec une évolution saisonnière identique et classique : généralement inférieures à 300 UFC/ m^3 et pic à 2 000 UFC/ m^3 en juillet.

Sur le plan qualitatif, les genres majoritairement isolés sont *Cladosporium*, *Penicillium* et *Aspergillus*, ce qui est habituel dans l'air extérieur [6].

Sur les deux sites, on note la très forte prédominance de *Cladosporium* qui provoque le pic en juillet, puis sa persistance malgré des niveaux plus

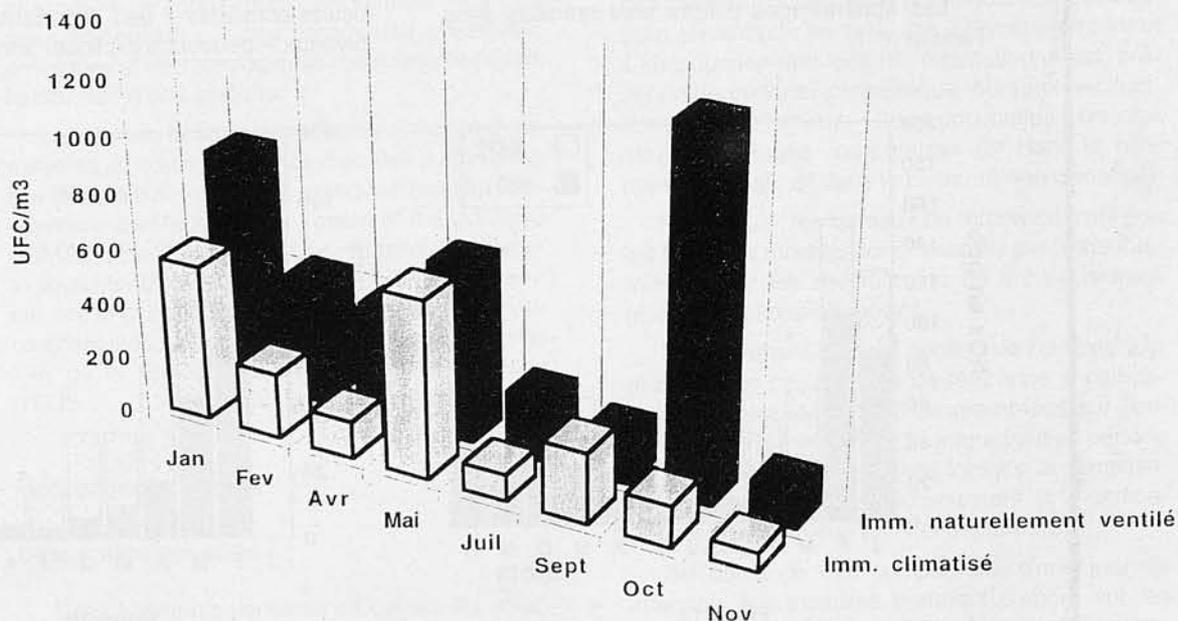


Figure 2.
Variation des « tous germes » dans l'air extérieur.
Total bacterial flora variation in outdoor air.

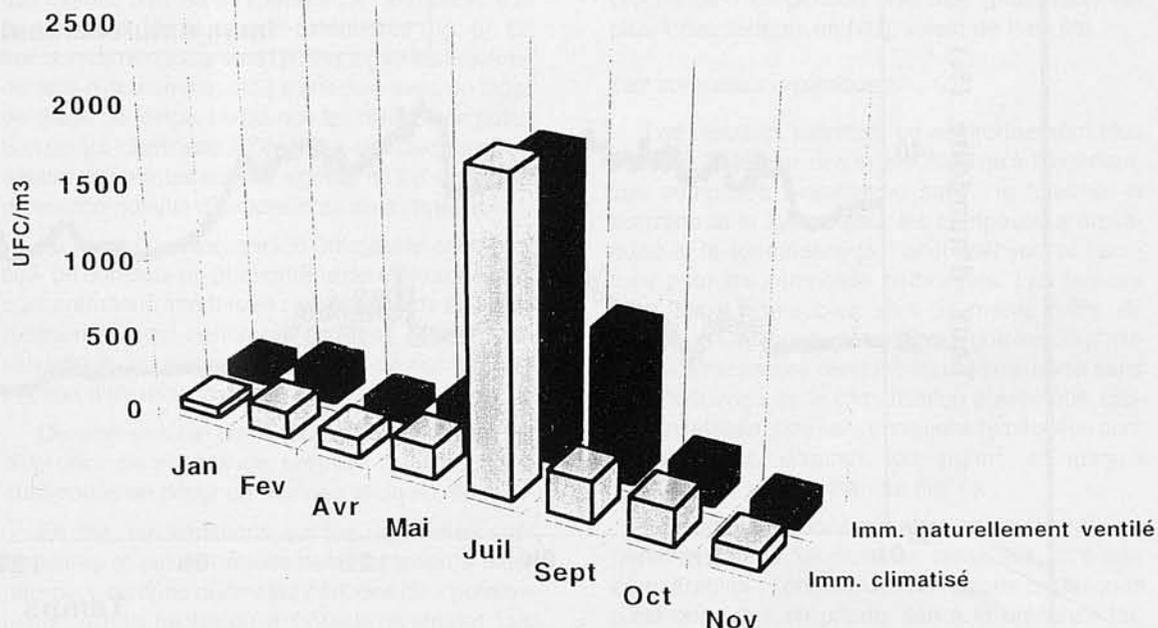


Figure 3.
Variation de la teneur en champignons dans l'air extérieur.
Fungal flora variation in outdoor air.

faibles jusqu'en octobre et enfin, sa quasi disparition les mois d'hiver, laissant place à des genres plus hivernaux comme *Aspergillus* mais surtout *Penicillium*.

Comparaison des atmosphères intérieures des deux immeubles

Les paramètres physiques

Selon les campagnes, la température intérieure constatée est plus élevée tantôt à Wagram, tantôt à la Place des États-Unis.

En ce qui concerne l'humidité relative intérieure, on constate qu'elle est plus faible en hiver dans l'immeuble non climatisé (25 à 30 % d'humidité) qu'à Wagram (30 à 40 %), où il existe un système d'humidification. En été par contre, les niveaux sont assez comparables.

L'humidification de Wagram permet de corriger le taux d'humidité intérieur pour demeurer dans la zone de confort de 30 à 70 %. Ceci est d'autant plus remarquable durant les jours les plus froids de l'année tel qu'illustré sur la figure 4.

En inter-saison toutefois, lorsque les amplitudes thermiques extérieures s'accroissent entre le jour et la nuit, l'inertie thermique du bâtiment ne permet pas une adaptation assez rapide aux conditions extérieures. On observe alors, durant les quelques jours de transition des conditions moins confortables (températures supérieures à 25°, humidité inférieure à 30 %).

Les gaz inorganiques

– **CO₂** : les niveaux extérieurs de CO₂, d'environ 400 ppm en moyenne mensuelle, se répercutent directement sur le niveau des concentrations intérieures en période de non occupation des bureaux.

Les fortes concentrations intérieures sont dues à la présence du personnel dans les immeubles et suivent parfaitement les heures ouvrables (fig. 5). Elles sont de 1,5 à 2 fois plus élevées (en moyenne mensuelle) qu'à l'extérieur. On notera enfin que les concentrations moyennes sont très comparables dans les 2 immeubles, les différences constatées n'étant probablement attribuables qu'au nombre de personnes présentes au voisinage du poste de mesure [7].

– **CO** : les niveaux de concentrations en CO, de l'ordre de 1 à 2 ppm, sont très faibles ; on n'observe pas de différences significatives entre les 2 immeubles.

– **NO_x** : les variations saisonnières observées sur l'air extérieur exercent une influence variable sur les ambiances intérieures.

En hiver, l'essentiel des oxydes d'azote mesurés est constitué de NO, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Le niveau de NO₂ est faible (de l'ordre de 20 ppb en moyenne mensuelle) et très semblable dans les atmosphères intérieures des deux immeubles.

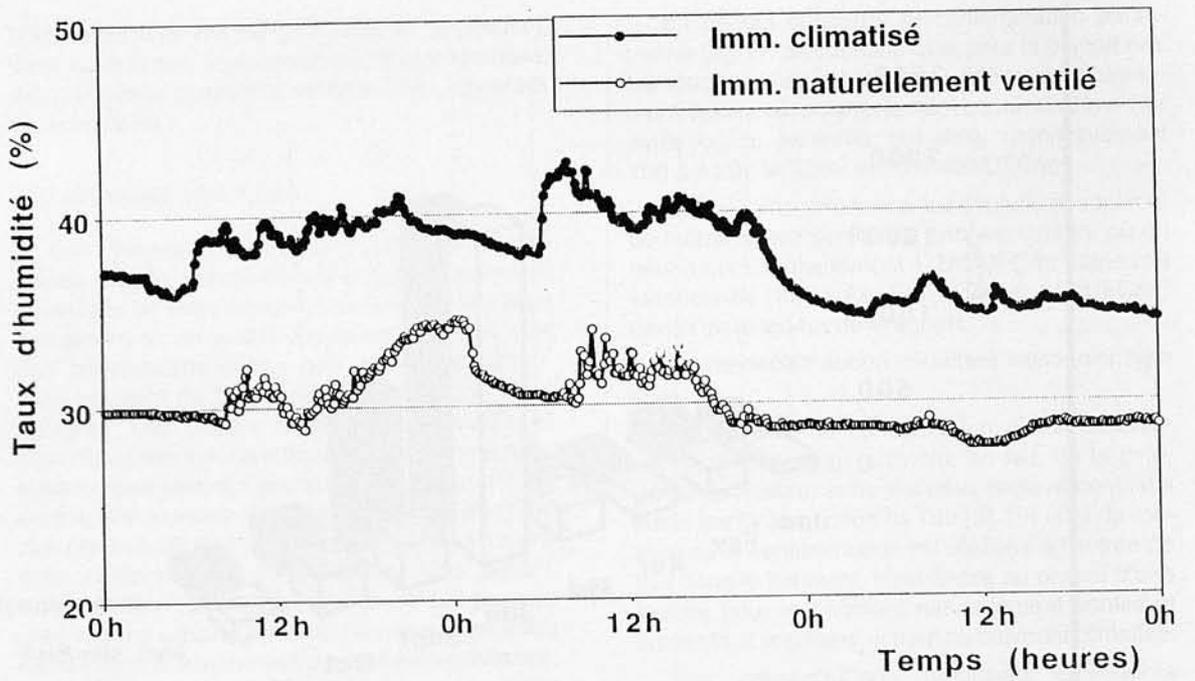


Figure 4.
 Comparaison de l'évolution du taux d'humidité relative intérieure des deux immeubles
 (27, 28, 29 février 1992).
Indoor relative humidity in both buildings (27, 28, 29 February 1992).

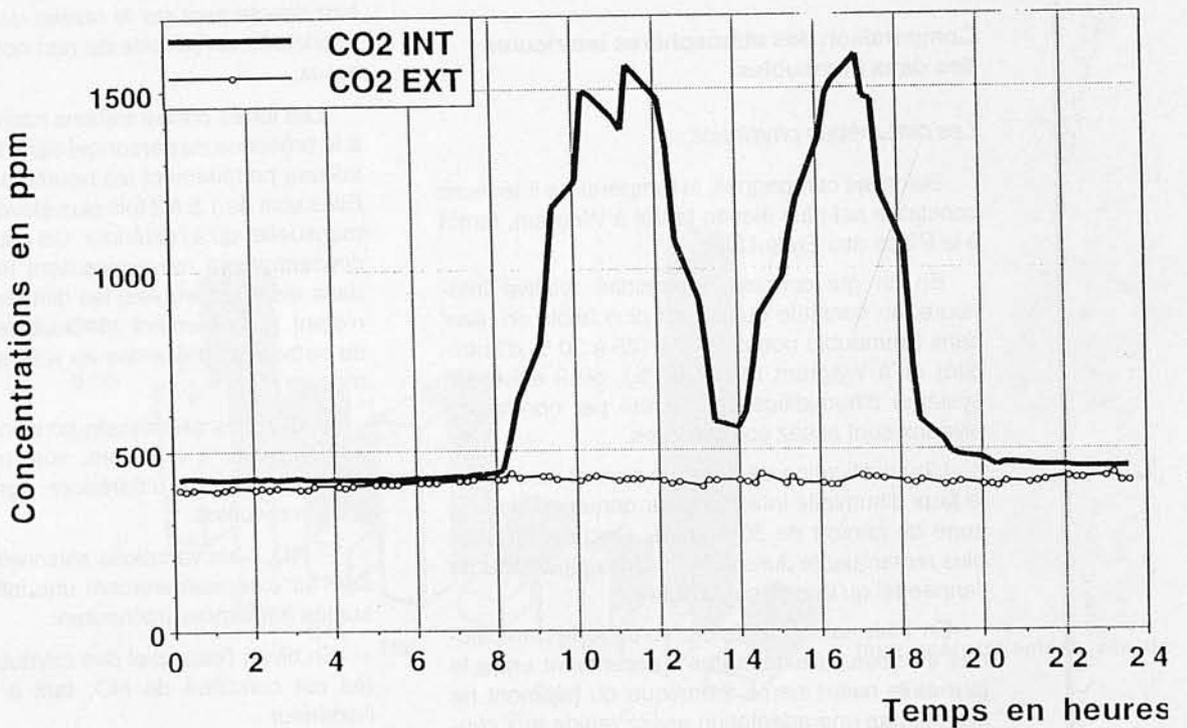


Figure 5.
 Evolutions des teneurs en CO₂ le 17 février 1992 dans l'immeuble naturellement ventilé.
Indoor and outdoor CO₂ values at the naturally ventilated building site (17 February 1992).

Sur le site de la Place des États-Unis, l'évolution des oxydes d'azote à l'intérieur de l'immeuble suit parfaitement les variations extérieures (fig. 6). Le transfert de l'extérieur vers l'intérieur (par les fenêtres, défauts d'étanchéité, etc.) s'effectue avec un léger décalage de temps. Le fait que les niveaux de pollution soient identiques à l'intérieur et à l'extérieur en dehors des pointes semble signifier qu'il n'existe pas de source notable d'oxydes d'azote à l'intérieur.

Sur le site de Wagram, où l'immeuble est climatisé, on constate un phénomène de « lissage » des concentrations intérieures : les pointes de pollution extérieures sont nettement écrêtées à l'intérieur, sans doute en raison de l'effet de dilution dû à la fraction d'air recyclé (fig. 7).

Ce phénomène est distinctement observé en hiver lors de pointes de pollution dues au trafic automobile en début de matinée et de soirée.

En été, les variations sur les deux sites sont similaires et suivent étroitement les teneurs extérieures, y compris durant les périodes de « pointe » (cinq fois plus faibles qu'en période hivernale). Les concentrations intérieures sont, cette fois, à un niveau plus élevé qu'à l'extérieur, ce qui laisserait penser à l'existence de sources intérieures masquées en hiver par les fortes teneurs ambiantes.

D'une manière générale, le niveau de NO est toujours un peu plus élevé à l'intérieur de l'immeuble climatisé qu'à l'intérieur de l'immeuble à ventilation naturelle, mais en réalité ceci n'est dû qu'à l'effet d'un environnement extérieur un peu différent : nous avons notamment constaté que le rapport entre les concentrations intérieures et extérieures

était tout à fait du même ordre sur les deux sites : proche de 1 en période hivernale (présentant les plus fortes teneurs en NO), voisin de 2 en été.

Les composés organiques

Les résultats montrent un environnement plus pollué à l'intérieur des immeubles qu'à l'extérieur. Les composés majoritaires sont : le toluène, le benzène et le xylène pour les composés aromatiques et le formaldéhyde, l'acétaldéhyde et l'acétone pour les composés carbonylés. Les teneurs dans les 2 immeubles sont du même ordre de grandeur. On note cependant des pointes de pollution plus marquées dans l'immeuble climatisé sans que l'influence de la climatisation puisse être clairement établie. Les concentrations habituelles sont de quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et jusqu'à 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le toluène (fig. 8).

Les concentrations avant et après l'arrivée du personnel dans les bureaux climatisés sont très comparables ; l'origine des composés organiques n'est donc pas en priorité liée à la présence humaine. Compte tenu des composés rencontrés, la circulation automobile est à l'évidence à l'origine des niveaux de base. Les pointes de pollution sont par contre attribuables à la fumée de tabac puisque le toluène en est l'un des composants majeurs [4].

Les micro-organismes

On constate que globalement, l'air de l'immeuble naturellement ventilé est plus contaminé que l'air de l'immeuble, que ce soit pour les bactéries ou les champignons.

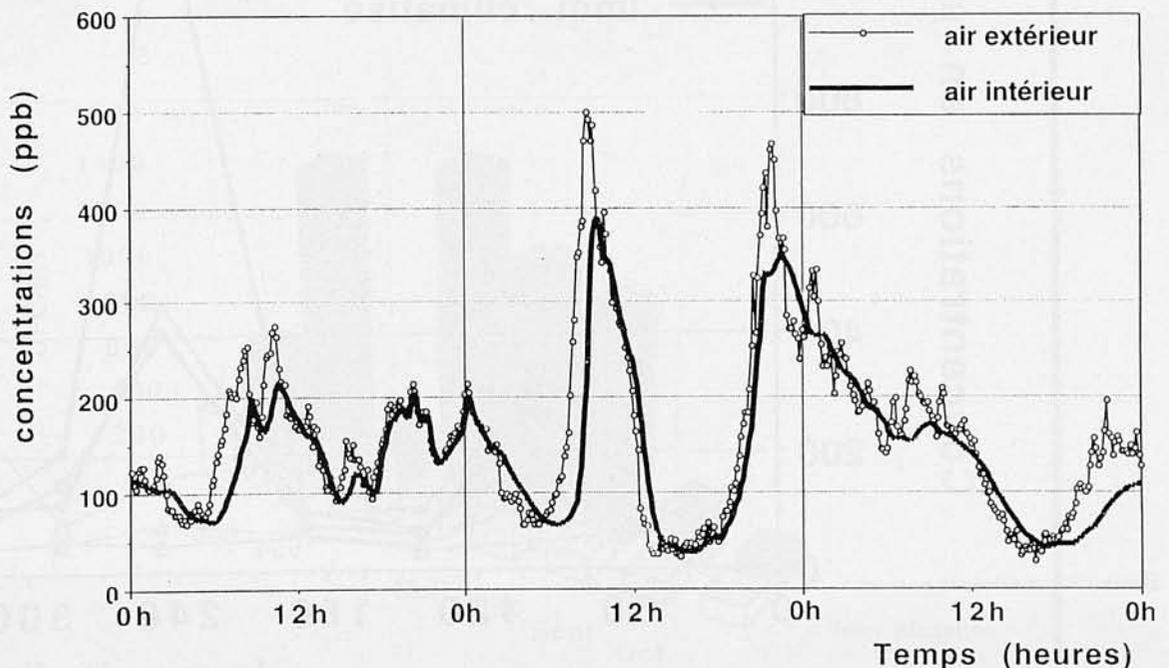


Figure 6.
Comparaison des concentrations intérieures et extérieures en NO_x dans l'immeuble naturellement ventilé, les 27, 28 et 29 février 1992.

Indoor and outdoor NO_x concentrations in the naturally ventilated building (27, 28, 29 February 1992).

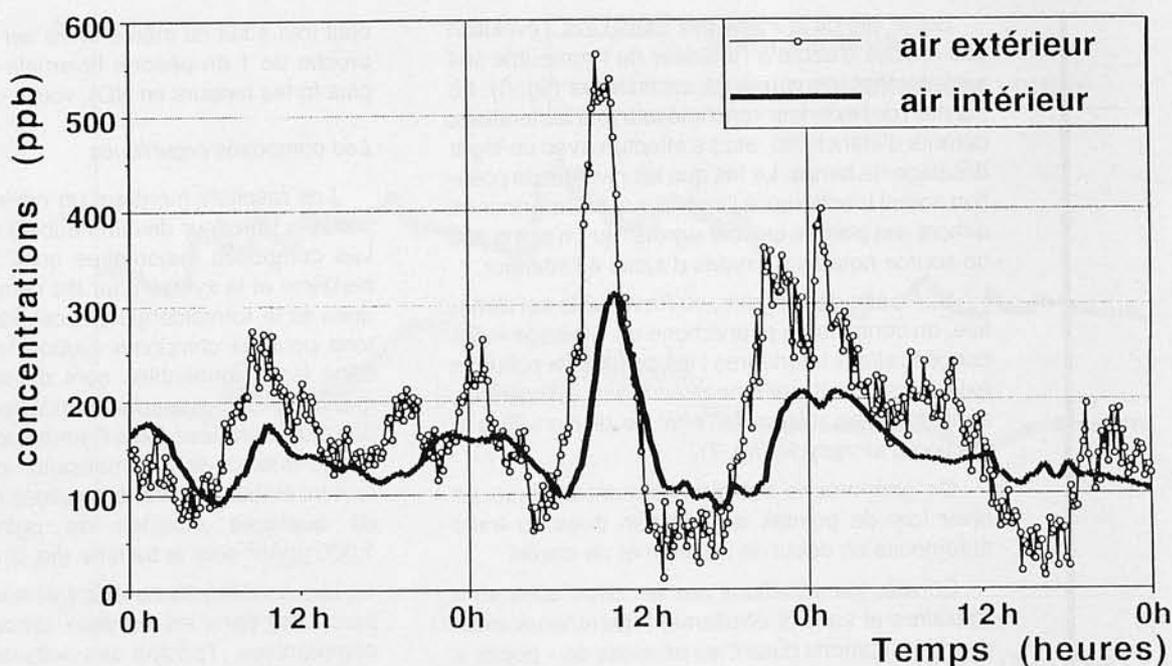


Figure 7.
 Comparaison des concentrations intérieures et extérieures en NO_x dans l'immeuble climatisé, les 27, 28 et 29 février 1992.
Indoor and outdoor NO_x concentrations in the air conditioned building (27, 28, 29 February 1992).

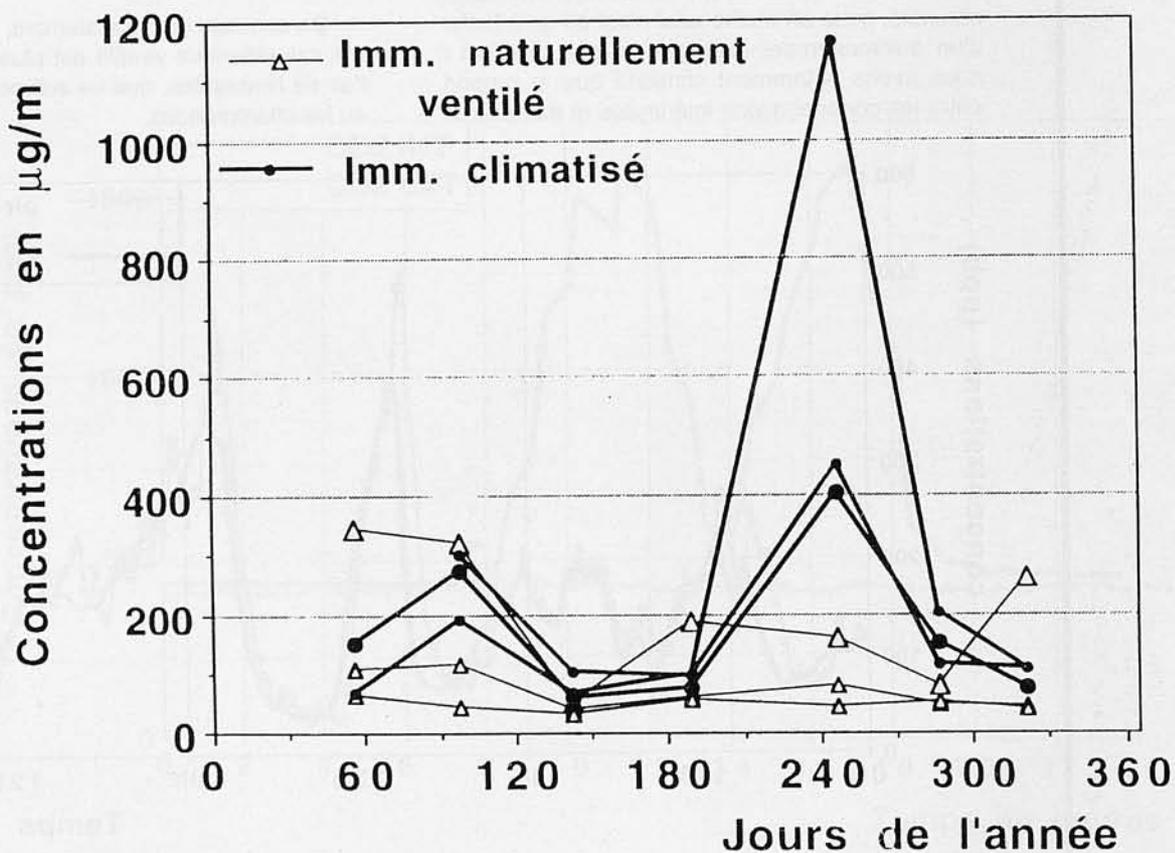


Figure 8.
 Comparaison des teneurs en toluène dans l'air intérieur des deux immeubles.
Indoor air toluene concentrations during the year 1992.

Les concentrations bactériennes qui ont été relevées lors de 4 campagnes sur 8 sont très élevées (> 900 UFC/m³), ce qui dénote une moindre efficacité du système de renouvellement d'air dans l'immeuble naturellement ventilé (fig. 9).

Dans l'immeuble climatisé, la contamination bactérienne bénéficie de l'effet de dilution lié au renouvellement d'air engendré par la climatisation. L'air apporté par la centrale étant propre grâce aux moyens techniques mis en œuvre (filtration de haute efficacité, humidification à vapeur, maintenance régulière), le renouvellement de l'air ne peut que diminuer efficacement la contamination émise par l'activité à l'intérieur des locaux.

Les concentrations fongiques intérieures (fig. 10) dans les 2 immeubles sont très homogènes entre les bureaux et toujours plus faibles que les niveaux extérieurs.

Dans le bâtiment naturellement ventilé, les concentrations sont toujours plus élevées que dans l'autre immeuble. On observe dans le bâtiment États-Unis une très nette variation saisonnière avec un pic de concentration en juillet qui reproduit les variations extérieures. Par contre, dans l'immeuble Wagram, le phénomène n'est pratiquement pas observé alors que les concentrations extérieures sont tout aussi importantes en été.

Dans l'immeuble climatisé, la filtration de type EU7 suffit à arrêter les spores (de diamètre supérieur à 2 microns pour les espèces rencontrées), la faible contamination intérieure étant due aux plantes et aux occupants des locaux. En revanche, dans l'immeuble naturellement ventilé, à la

contamination d'origine intérieure, s'ajoute celle d'origine extérieure qui pénètre par les ouvrants.

L'effet bénéfique de la filtration sur les concentrations fongiques apparaît ici de façon évidente.

Conclusion

La détermination de la qualité de l'air à partir du suivi des paramètres de confort (température et humidité relative) et des teneurs en polluants chimiques et microbiologiques a permis de mettre en évidence le rôle de la climatisation dans des conditions réelles de fonctionnement.

La qualité de l'air respiré par les occupants de deux immeubles diffère du fait de l'influence plus ou moins nette de la climatisation, des caractéristiques de l'air extérieur et de l'occupation des locaux.

D'une manière générale, le système de climatisation de l'immeuble de l'avenue de Wagram permet de maintenir, du point de vue sanitaire, une ambiance d'égale ou de meilleure qualité que celle observée dans l'immeuble à ventilation naturelle de la Place des États-Unis :

- en régulant le taux d'humidité relative,
- en arrêtant la contamination fongique extérieure et en diminuant la contamination bactérienne intérieure, en particulier grâce à la filtration de l'air neuf (qui arrête plus de 90 % des particules de plus de 1 micron) et au système d'humidification à vapeur.

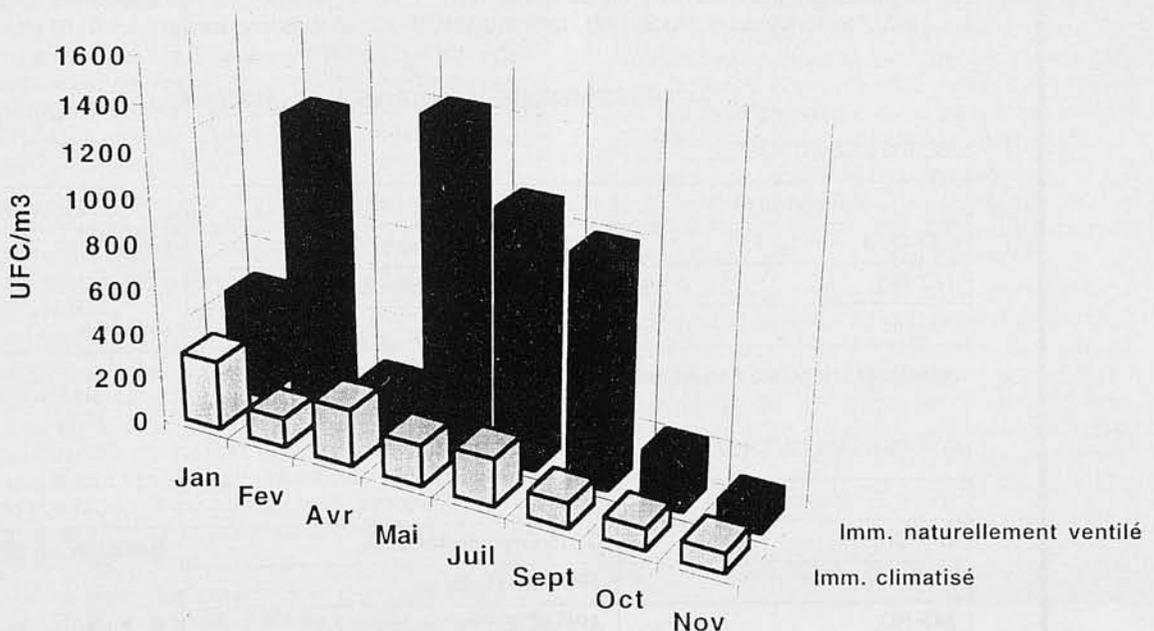


Figure 9.
Variation de la teneur en bactéries dans les deux immeubles (moyenne des trois bureaux).
Indoor bacterial flora variation during the year 1992 (average of three offices).

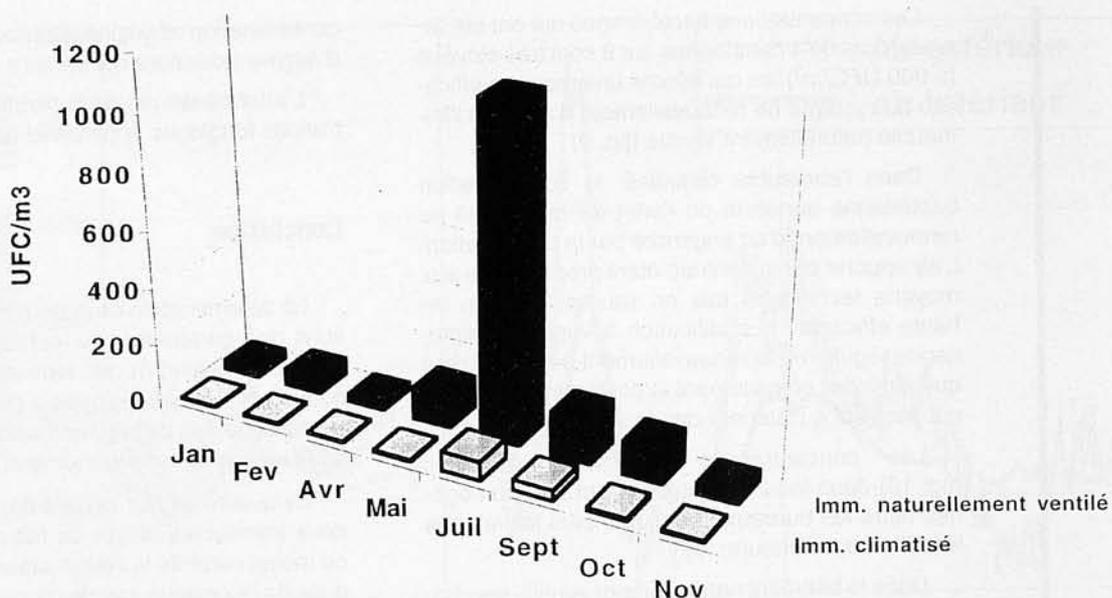


Figure 10.
Variation de la contamination fongique dans l'air intérieur des deux immeubles
(moyenne des trois bureaux, T° d'incubation : 27 °C).
Indoor fungal flora variation during the year 1992 (average of three offices, incubation temperature : 27 °C).

Bibliographie

- [1] NATIONAL INSTITUTE FOR OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH (NIOSH). Indoor air quality, selected references, September 1989.
- [2] GODISH T. Indoor Air pollution Control, Lewis publishers, 1989.
- [3] LAMELLOISE Ph., THIBAUT G., PETIT-CO-VIAUX F. La modernisation du dispositif de surveillance de la qualité de l'air en Ile-de-France 1989-1993, *Pollution Atmosphérique*, 1991, 131 : 418-429.
- [4] WORLD HEALTH ORGANISATION. Regional Office for Europe. Air Quality Guidelines for Europe, *WHO regional publications*, European series, n° 23, ISBN 92.890.1114.9.
- [5] JONES BL, COOKSON S. Natural atmospheric microbial conditions in a typical suburban area. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1983, 45 : 919-934.
- [6] LARSEN L., GRAVENSEN S. Seasonal variation of outdoor airborne viable microfungi in Copenhagen, Denmark, *Grana*, 1991, 30 : 467-471.
- [7] MEIER S. Mixed-gaz or CO₂ sensors as a reference variable for demand-controlled ventilation. Indoor Air'93, proceeding, vol. 5 : 85-90.

LES MESURES À L'INTÉRIEUR DE L'IMMEUBLE

MESURES CONTINUES :

Paramètres	Appareils	Lieux de prélèvement
CO-CO ₂	Ultramat 22 - Siemens	bureau
NO-NO ₂	AC30M-Environnement SA	de
T° . HR	sonde Coreci	référence

acquisition sur logiciel PATERN version 2.4 (EDF-DER-REME)

MESURES DISCONTINUES

Paramètres	Appareils	Lieux de prélèvement
CO-CO ₂	CO15-Environnement SA	bureau de référence
CO ₂	APB 220 - Horiba	+
NO-NO _x	APPIAC35-Environnement SA	8/5 bureaux
COV	Carbotrap + CPG/SM	bureau de référence +
micro-organismes	Andersen I étage sur milieu	2 bureaux