

**Qualité de l'environnement dans des immeubles de bureaux européens**

**Innenraumbedingungen in europäischen Bürogebäuden**

**Indoor Environment Quality in European Office Buildings**

Roulet Claude-Alain, Foradini Flavio, Cretton Pascal,  
Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment, EPFL, Lausanne

Bernhard Claude-A.

Institut Universitaire Romand de Santé au Travail, Lausanne

Carlucci Lucio

Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zentrum, Zurich

A présenter au

9. Schweizerisches Status-Seminar Energieforschung im Hochbau

ETH-Zürich, 12-13 Septembre 1996

**Summary**

Within the European project Joule II - Indoor Air Quality Audit, 56 office buildings were audited during the winter season 1993-1994 in Europe. The purpose of the audit is to harvest information on ventilation and indoor air quality in relation with occupant health and energy consumption in office buildings.

The audit concerns the building itself and its technical equipment, indoor air quality and the opinion of the occupants on the comfort and health condition. To obtain synchronous information, the audit was performed within a working day, without perturbing too much the work in the visited firm.

Some results from this audit are presented. In particular, it is shown that good working conditions can be obtained with low energy consumption, without air conditioning and with low air flow rates. Recent knowledge allows us to plan user- and energy-friendly buildings and systems. In addition, it appears that building related symptoms appear more frequently in open office buildings than in small office buildings.



# Qualité de l'environnement dans des immeubles de bureaux européens

Roulet Claude-Alain, Foradini Flavio, Cretton Pascal,  
Laboratoire d'Énergie Solaire et de Physique du Bâtiment, EPFL, Lausanne

Bernhard Claude-A.  
Institut Universitaire Romand de Santé au Travail, Lausanne

Carlucci Lucio  
Institut für Hygiene und Arbeitsphysiologie, ETH-Zentrum, Zurich

## Résumé

Cinquante-six immeubles de bureaux ont été examinés dans neuf pays d'Europe pendant l'hiver 1993-1994, dans le cadre du projet européen Joule II - Indoor Air Quality Audit. Le but général de ces examens est d'obtenir des informations sur la ventilation et la qualité de l'air en relation avec le bien être des usagers et la consommation d'énergie dans les immeubles de bureaux.

Les points examinés concernent le bâtiment, ses installations techniques, la qualité de l'air et le bien être ressenti par le personnel de bureau. Tous ces examens sont effectués durant un seul jour, pour obtenir des informations qui concernent des conditions de travail données sans toutefois trop perturber le fonctionnement de l'entreprise visitée.

On présente quelques résultats issus de ces examens. En particulier, on montre qu'il n'est pas nécessaire de ventiler fortement, ni de consommer beaucoup d'énergie (par exemple de climatiser) pour fournir des bonnes conditions de travail aux employés de bureau. Les progrès effectués ces dernières années permettent de concevoir des bâtiments et des installations conviviales et énergétiquement rationnelles. D'autre part, il apparaît que les bureaux paysagers présentent plus facilement des problèmes que les bâtiments avec de petits bureaux.

## Zusammenfassung

Im Winter 1993-1994 wurden im Rahmen des europäischen Projektes Joule II - Indoor Air Quality Audit 56 europäische Bürogebäude in 9 Länder untersucht. Die Untersuchungen hatten zum Ziel, Informationen über Ventilation und Luftqualität in Bürogebäuden im Zusammenhang mit dem Wohlbefinden der Benutzer und dem Energieverbrauch des Gebäudes zu beschaffen.

Sie bezogen sich auf das Gebäude, seine haustechnischen Installationen, die Luftqualität und das Wohlbefinden der Benutzer. Um genügend Informationen über die Arbeitsqualität in den betreffenden Gebäuden zu sammeln, ohne die Firma allzu stark bei der Arbeit zu stören, wurden all diese Untersuchungen in einem Tag durchgeführt.

Im Bericht werden die Resultate dieser Untersuchungen vorgestellt. Insbesondere wird aufgezeigt, dass es nicht notwendig ist, ein Gebäude stark zu lüften, oder viel Energie aufzuwenden (z.B. mittels Klimaanlage), um für Büroangestellte gute Arbeitsbedingungen zu schaffen. Die Fortschritte der letzten Jahre im Bereich der Gebäudetechnik ermöglichen heute den Bau von Gebäuden und Installationen, die nicht nur benutzerfreundlich sind, sondern auch Energie rationell nutzen. Dabei fällt auf dass Grossraumbüros eher Problemen aufweisen als Gebäude mit separaten Büros.

## Introduction

Cinquante-six bâtiments administratifs, sélectionnés dans neuf pays d'Europe pour être autant que possible représentatifs de l'ensemble des immeubles de bureaux ont été examinés entre Décembre 1993 et Avril 1994. Ces examens ont été effectués en suivant une procédure standard [1], élaborée en commun dans le cadre du projet "European Audit Project to Optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings", du programme JOULE II (CEC-DG XII) [[2,3]. Les objectifs du programme, la méthode utilisée et les résultats concernant les huit bâtiments helvétiques ont déjà été présentés dans le séminaire KWH 1994 [4].

Le but premier d'un bâtiment administratif est (ou en tous cas devrait être) d'assurer un environnement de travail confortable. Pour cela, des exigences de confort optique, acoustique, et thermique doivent être remplies, et une bonne qualité d'air doit être assurée. Un des objectifs du programme est donc d'examiner la qualité réelle de l'environnement de travail, et d'examiner sa relation avec l'opinion des occupants.

Les paramètres mesurés en relation avec la qualité de l'environnement intérieur sont la satisfaction des occupants, la fréquence de symptômes du syndrome des bâtiments malsains, et la concentration en divers contaminants (odeurs, vapeur d'eau, gaz carbonique, monoxyde de carbone, poussières et composés organiques volatils).

De plus, afin d'estimer l'importance des sources de contaminants, on a mesuré des débits d'air par la méthode des gaz traceurs. Enfin, la consommation annuelle d'énergie a été recueillie auprès des services d'exploitation des bâtiments.

## Les bâtiments mesurés

Ces bâtiments n'ont en aucun cas été sélectionnés parce qu'ils présentaient des problèmes. Ce sont des bâtiments considérés comme "normaux", et autant que possible représentatifs du parc immobilier. Parmi les bâtiments examinés, on trouve une majorité de bâtiments dans lesquels il n'y a aucune restriction liée au tabac (59%) et 18% dans lesquels il est interdit de fumer. Dans les autres bâtiments (23%), il existe des zones fumeurs.

Tableau 1: Caractéristiques des bâtiments mesurés

Situation	%	Âge	%	Chauffage et ventilation	%
Campagne	14	de 2 à 5 ans	29	Ventilation mécanique	86
Banlieue	25	de 5 à 10 ans	21	Air conditionné	23
En ville	54	de 10 à 20 ans	11	Chauffage à eau	50
Zone industrielle	7	plus de 20 ans	39	Fenêtres ouvrables	54
Surface de plancher	%	Nombre d'étages	%	Nombre d'occupants	%
moins de 2'500 m <sup>2</sup>	16	1 à 3	21	moins de 200	36
de 2'500 à 7'500 m <sup>2</sup>	30	de 4 à 7	48	de 200 à 500	34
de 7'500 à 15'000 m <sup>2</sup>	29	de 8 à 10	13	de 501 à 1000	16
plus de 15'000 m <sup>2</sup>	25	plus de 10	18	plus de 1000	14

## Quelques résultats

La place manque pour donner et commenter ici tous les résultats. Ils sont publiés dans plusieurs rapports et articles, tant nationaux qu'europeens [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Nous présentons ci-dessous quelques résultats qui nous semblent curieux et intéressants.

**L'indice de dépense d'énergie** de ces bâtiments varie de 400 à plus de 2000 MJ/m<sup>2</sup>. La répartition entre le chauffage (chauffage à distance, gaz ou mazout) et l'électricité varie énormément d'un bâtiment à l'autre. A titre de comparaison, la valeur limite selon SIA 380/1 pour l'indice chauffage est de 385 MJ/m<sup>2</sup> (270/0,7). Tous les bâtiments examinés dépassent donc cette valeur limite.

La consommation d'énergie rapportée à la surface chauffée ou à l'occupant varie fortement d'un bâtiment à l'autre: le bâtiment le plus gourmand consomme sept fois plus d'énergie que le plus économe. Aucune corrélation significative n'a été trouvée entre la consommation d'énergie et le débit d'air, la température, ou la qualité de l'air intérieur. Les plus bas indices de dépense d'énergie se trouvent dans des bâtiments à ventilation naturelle et les plus hauts dans des bâtiments climatisés. Toutefois, les mesures effectuées ne montrent pas de différence significative globale de consommation d'énergie selon les systèmes de ventilation (naturelle, mécanique, climatisation), car il existe des immeubles à ventilation naturelle à forte consommation et des bâtiments climatisés à basse consommation.

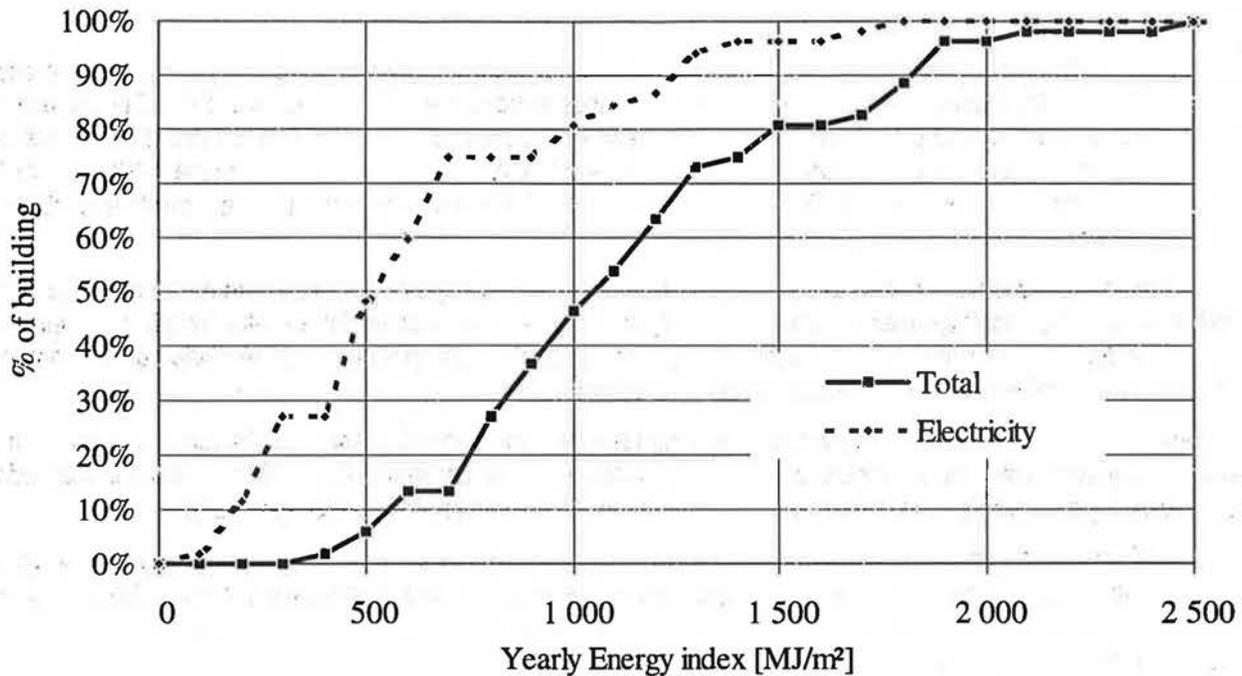


Figure 1: Courbe de fréquences cumulées de l'IDE, à savoir pourcentage des bâtiments dont l'indice de dépense d'énergie (IDE) est inférieur à la valeur donnée sur l'axe horizontal.

Les débits d'air neuf aussi varient fortement d'un bâtiment à l'autre. En général, les bâtiments munis d'une ventilation mécanique sont exagérément ventilés. De plus, les débits ne correspondent que rarement aux débits planifiés, comme le montre la Figure 2 de gauche. Par exemple, le taux d'un volume par heure est dépassé dans 65% des bâtiments dans lesquels il est prévu comme maximum, et plus de la moitié des bâtiments où l'on a prévu un taux minimum de 3/h n'atteint pas cette valeur!

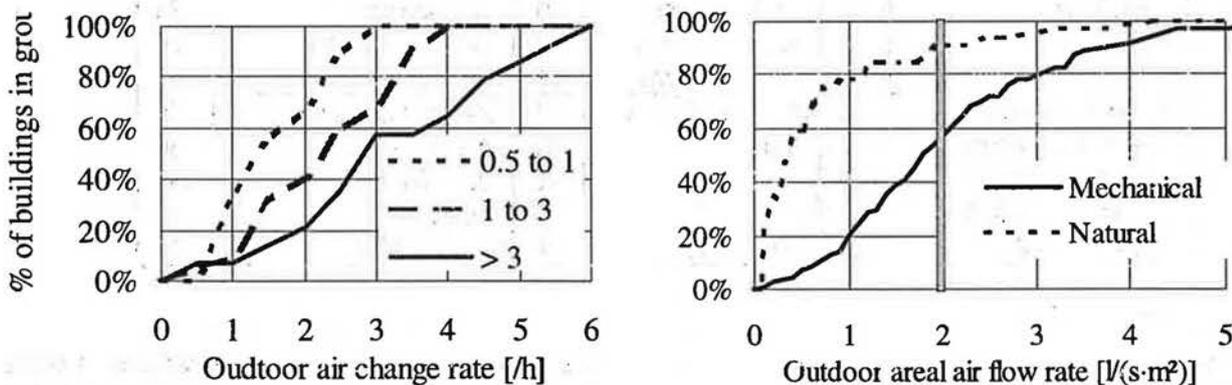


Figure 2: Courbes de fréquences cumulées: a gauche: taux de renouvellement d'air. Chaque courbe correspond à une classe de débit d'air planifié (0,5 à 1; 1 à 3 et plus de 3 /h).

A droite: débit d'air spécifique, par surface de plancher. Le projet de norme européenne prENV 1752 propose au plus 2 l/(s·m²). On notera que la moitié des bâtiments sont sur-ventilés par rapport à ce critère.

**Le bien être des occupants** est le but premier d'un bâtiment. Pour estimer cette grandeur, un questionnaire a été distribué à au moins 100 personnes dans chaque bâtiment. Ce questionnaire demande notamment si la personne présente des symptômes que l'on trouve dans les bâtiments malsains, et si ces symptômes disparaissent lorsque la personne quitte le bâtiment. Si c'est le cas, le symptôme en question est réputé lié au bâtiment.

Pour comparer les bâtiments, des indices des symptômes liés au bâtiment (BSI pour Building Symptom Index) ont été définis. Ces indices donnent le nombre de symptômes liés au bâtiment ressentis par personne en moyenne. L'indice restreint concerne une série de six symptômes, à savoir les yeux secs, le nez bouché, la gorge sèche, la peau sèche,

des maux de tête et de l'apathie. Il vaut 0 si aucun symptôme présenté ne peut être attribué au bâtiment, et 6 si tous les symptômes semblent reliés au bâtiment. L'indice complet concerne en plus les yeux larmoyants, le nez qui coule, des difficultés respiratoires, des symptômes grippaux et la peau irritée, et prend donc une valeur entre 0 et 11.

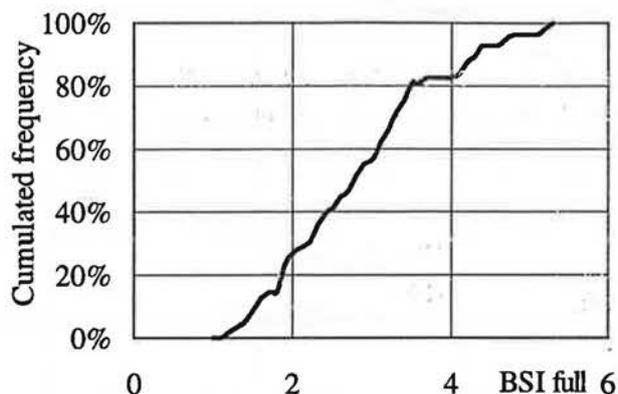


Figure 3: Courbe de fréquences cumulées du Building Symptom Index complet.

La Figure 3 montre la courbe de fréquences cumulées des indices complets pour les 56 bâtiments mesurés. On remarque que les occupants ressentent en moyenne au moins 1 des 11 symptômes, et que 40% des bâtiments présentent 3 symptômes par personne ou plus. Près de 20% des bâtiments dépassent 4 symptômes par personne en moyenne!

Il est intéressant de rechercher une relation entre ce syndrome et d'autres paramètres qui pourraient en être responsables. La dispersion des points sur la Figure 4 montre que le débit d'air frais prévu ou la consommation d'énergie ne sont pas des conditions nécessaires pour assurer le bien être des occupants.

Il semble même que le BSI croisse avec la consommation d'énergie! En fait, cette corrélation est significative avec une probabilité de 95%. Elle provient probablement d'une cause commune: on peut s'attendre à ce qu'un bâtiment mal conçu et médiocrement exploité soit moins sain et consomme plus d'énergie qu'un bâtiment bien conçu et exploité avec compétence. Il est aussi possible que l'on cherche à réagir aux plaintes exprimées dans les bâtiments à problèmes en augmentant la température de chauffage, ce qui augmente la consommation..

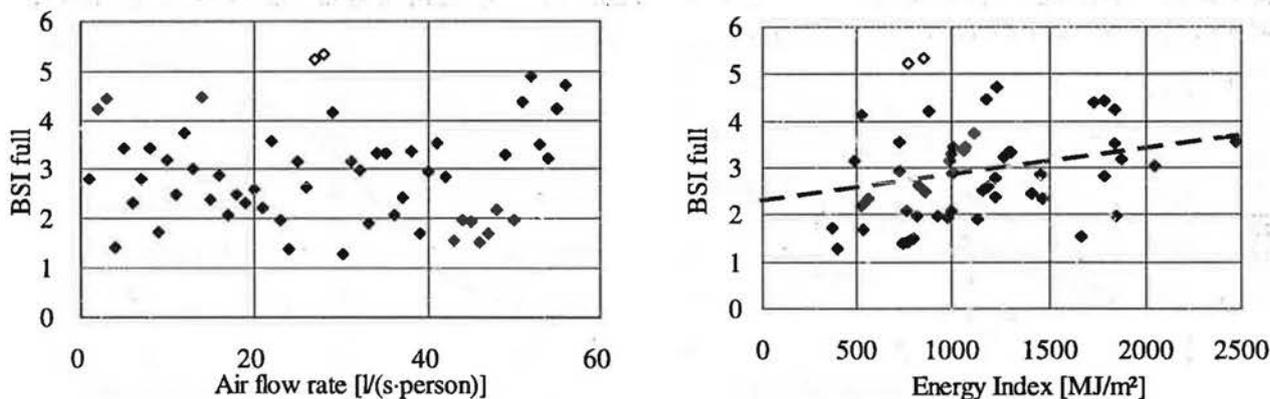


Figure 4: Débit d'air frais prévu par personne (à gauche) et indice de dépense d'énergie (à droite) en relation avec le Building Symptom Index.

**Note:** dans les figures 4 à 7, deux bâtiments grecs, dont les résultats semblent atypiques, ont été marqués par des points vides. Les caractéristiques de ces bâtiments ont néanmoins été prises en compte dans les statistiques.

La Figure 5 indique que les bureaux paysagers semblent moins bien acceptés par les occupants que les bureaux individuels. Cette tendance est confirmée dans la Figure 6 où l'on sépare les bâtiments en deux groupes: 45 bâtiments avec, en moyenne, moins de 6 personnes par bureau, et 11 bâtiments avec plus de 6 personnes par pièce. (Le nombre 6 est arbitraire, et les résultats changent peu si on passe de 4 à 8). Il est évident que le BSI est nettement plus bas dans le premier groupe que dans le second: la probabilité que la différence soit due au hasard est nettement inférieure à 1 pour mille!

L'étude effectuée ne permet pas d'expliquer cette différence, mais on peut soupçonner plusieurs causes. En particulier, dans les bureaux paysagers, on note les points défavorables suivants:

- impossibilité, ou en tous cas difficulté d'adapter l'environnement de travail à chaque personne,
- faible contrôle de l'individu sur son environnement,
- manque d'intimité,
- éloignement des fenêtres, impossibilité de ventiler naturellement et nécessité de l'éclairage artificiel,
- brassage de l'air entre les différentes places de travail, mélange des odeurs et des contaminants,
- bruit de fond souvent gênant.

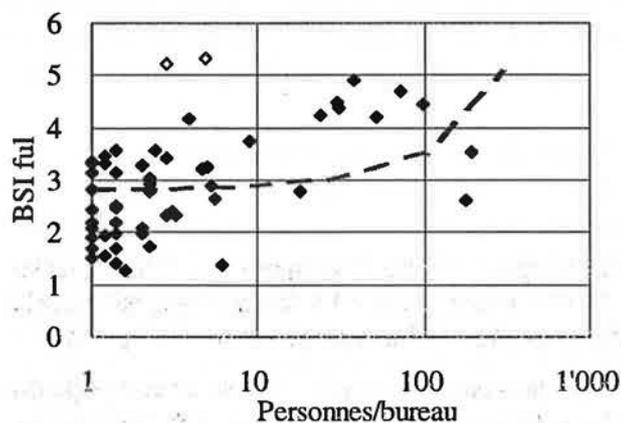


Figure 5: Relation entre le BSI et le nombre de personnes par pièce. La ligne en pointillé est définie par régression linéaire entre tous les points.

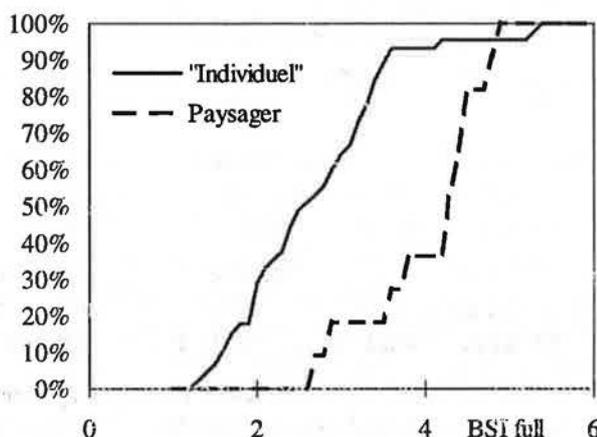


Figure 6: Distribution des fréquences cumulées du BSI dans les bureaux individuels et les bureaux paysagers (plus de 6 personnes par pièce).

La Figure 7 montre des relations significatives (à 95%) entre le BSI et la densité d'occupation des locaux d'une part et la possibilité d'ouvrir les fenêtres d'autre part. Le nombre moyen de symptômes présents augmente avec la densité d'occupation et diminue s'il est possible d'ouvrir les fenêtres. Les effets psychologiques et sociologiques semblent donc primer sur l'effet de la ventilation et la technologie.

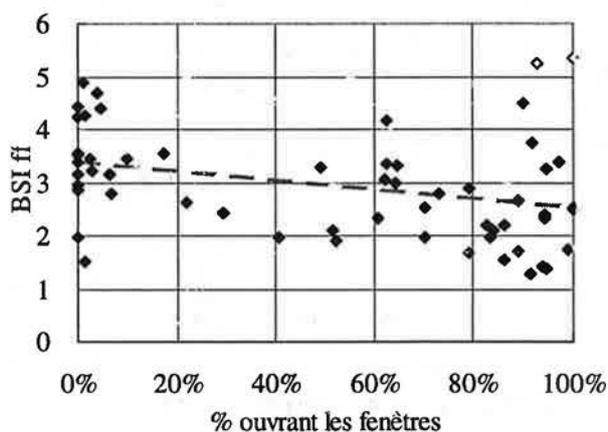
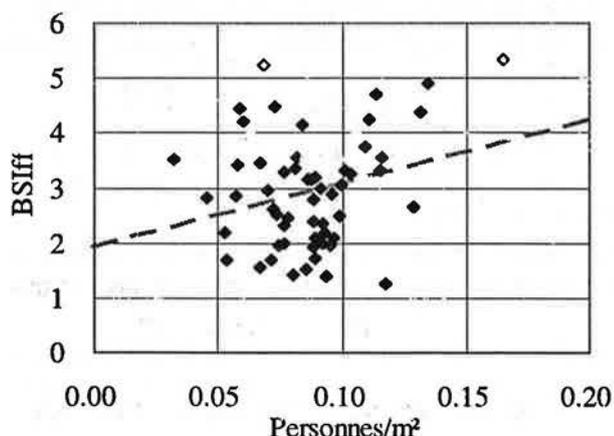


Figure 7: Relation entre le BSI et le nombre de personnes par mètre carré (à gauche) et la possibilité d'ouvrir les fenêtres (à droite). Les deux points vides avec BSI > 5 représentent deux bâtiments climatisés grecs.

## Conclusions

Les résultats donnés dans cette contribution sont nécessairement très fragmentaires, et ne représentent qu'une infime partie de ce que l'on peut tirer des mesures effectuées. Il en est de même des conclusions, qui sont intégralement publiées par ailleurs [2, 3, 8].

Cette étude montre clairement qu'il n'est pas nécessaire de ventiler fortement, ni de consommer beaucoup d'énergie (par exemple de climatiser) pour fournir des bonnes conditions de travail aux employés de bureau. Si une mauvaise

ventilation, ou un système de ventilation mal entretenu peuvent être causes de maladies, la réciproque n'est pas vraie: les bâtiments liés à de nombreux symptômes ne sont pas forcément mal ventilés. Toutefois, les progrès effectués ces dernières années permettent de concevoir des bâtiments et des installations conviviales et énergétiquement rationnelles.

La consommation d'énergie rapportée à la surface chauffée ou à l'occupant varie fortement d'un bâtiment à l'autre, mais ces variations ne sont pas corrélées (si ce n'est négativement) à la qualité de l'environnement intérieur. De grandes variations sont aussi observées dans la qualité de l'air, telle que l'on peut l'estimer par son odeur, sa concentration en polluants, ou l'opinion des occupants. L'absence de relation entre la consommation d'énergie et la qualité de l'air montre que ces deux paramètres ne sont pas contradictoires. En fait, plusieurs bâtiments à basse consommation d'énergie présentent un environnement intérieur de bonne qualité, souvent malgré un faible taux de ventilation. Il reste donc un très grand potentiel d'économie d'énergie possible sans diminuer, voire en augmentant la qualité de l'environnement de travail.

Toutefois, il faut admettre que la plupart des bâtiments examinés présentent une qualité de l'air médiocre, que ce soit du point de vue des odeurs ou de celui des occupants, malgré des débits de ventilation généralement élevés et des concentrations en polluants ne dépassant pas des limites tolérables. Il apparaît que la plus grande source d'odeurs désagréables est le bâtiment lui-même et ses installations. Il a été démontré que les occupants ne représentent qu'une faible part de la source d'odeurs, et que la source principale est à chercher dans les matériaux contenus dans le bâtiment et les installations de ventilation (notamment l'encrassement des filtres). Il est donc possible d'améliorer fortement la qualité de l'air tout en diminuant les débits de ventilation si on élimine ces sources de pollution qui ne devraient pas exister dans le bâtiment. En particulier, il convient de tenir compte de l'émission de polluants, notamment d'odeurs, dans le choix des matériaux de construction, des fournitures de travail et des produits de nettoyage.

A certains endroits, la qualité de l'air extérieur était insuffisante, voire inférieure à la qualité de l'air intérieur. Dans ces cas, une augmentation du débit d'air extérieur ne peut qu'aggraver la qualité d'air intérieur.

Les occupants n'ont que rarement la possibilité d'agir sur leur environnement de travail (température, aération, ouverture des fenêtres, etc.), et ceci est ressenti négativement. Il apparaît aussi que les occupants des bureaux paysagers présentent plus facilement le syndrome du bâtiment malsain que ceux des bureaux individuels.

Il se confirme que la qualité de l'environnement intérieur dépend de nombreux paramètres, dont plusieurs sont incontrôlables. Toutefois, en agissant dans le bon sens sur ceux qui sont contrôlables, il est possible d'améliorer notablement la situation actuelle (donc d'augmenter la productivité) et de diminuer le nombre relativement élevé de symptômes liés au lieu de travail qui ont été observés. Ces améliorations entraîneront très souvent une diminution de la consommation d'énergie.

## Références

- [1] Clausen, G., Petersen, J. and Bluysen, Ph.: Research Manual of European Audit Project to Optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings. *Technical University of Denmark, Lyngby, 1993.*
- [2] Bluysen, Ph. M.; de Oliveira Fernandes, E., Fanger, P.O., Groes, L.; Clausen, G.; Roulet, C.-A.; Bernhard, C.-A.; Valbjørn, O.: European Audit Project to Optimise Indoor Air Quality and Energy Consumption in Office Buildings, *Final report. TNO, Delft, 1995.*
- [3] Bluysen, Ph. M.; de Oliveira Fernandes, E., Groes, L.; Clausen, G.; Fanger, P.O., Valbjørn, O., Bernhard, C.-A.; Roulet, C.-A.: European Audit Study in 56 Office Buildings: Conclusions and Recommendations. *Proc. Healthy Buildings '95. Vol. 3, pp 1287-1292.*
- [4] Roulet, C.-A.; Foradini, F.; Bernhard, C.-A.; Carlucci, L.: Ventilation et qualité de l'air dans des immeubles de bureaux. *KWH Status Seminar, Zürich, 1994.*
- [5] Roulet, C.-A.; Foradini, F.; Bernhard, C.-A.; Carlucci, L.: Ventilation and Indoor Air Quality in Swiss Office Buildings. *European Conference on Energy Performance and Indoor Climate in Buildings, Lyon, November 1994*
- [6] Carlucci, L.; Wanner, H.-U.; Roulet, C.-A.: Intervention Study to Improve Indoor Air Quality in a Large Open Office Building *Proc. Healthy Buildings '95 Vol 1, 493-498, 1995*
- [7] Roulet, C.-A.; Bluysen, Ph. M.; Ducarme, D.; De Oliveira Fernandes, E.; Ribéron, J.; Wouters, P., : Ventilation Performance and Energy Consumption in European Office Buildings *Proc. Healthy Buildings '95 Vol 3, 1299-1304, 1995*
- [8] Roulet, C.-A.: Building Energy Savings and Indoor Air Quality. *Seminar on Energy Labelling for Southern Europe Countries, Sevilla, 1995*