

Ventilation et qualité de l'air dans des immeubles de bureaux

Lüftung und Luftqualität im Bürogebäude

Ventilation and Indoor Air Quality in 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 de Médecine et d'Hygiène du Travail, Lausanne.

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

A présenter au

8. Schweizerisches Status-Seminar Energieforschung im Hochbau
ETH-Zürich, 15-16 Septembre 1994

Summary

Within the European project Joule II - Indoor Air Quality Audit, eight office buildings were audited during the winter season 1993-1994 in Switzerland.. 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 will concern the building itself and its technical equipment, indoor air quality and the option of the occupants on the comfort and health condition. All this audit will be performed in less than a day, in order to obtain synchronous information all concerning the same working conditions, 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 low air flow rates. Recent knowledge allows us to plan user and energy-friendly buildings and systems.

Ventilation et qualité de l'air dans des immeubles de bureaux

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

Bernhard Claude-A.
Institut Universitaire de Médecine et d'Hygiène du Travail, Lausanne.

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

Résumé

Huit immeubles de bureaux ont été examinés 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.

Zusammenfassung

Im Winter 1993-1994 wurden im Rahmen des europäischen Projektes Joule II - Indoor Air Quality Audit acht Bürogebäude 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 Huestechnischen Installationen, die Luftqualität und das Wohlbefinden der Benutzer. All diese Untersuchungen wurden in einem Tag durchgeführt, um genügend Informationen über die Arbeitsqualität in den betreffenden Gebäuden zu sammeln, ohne die Firma allzu stark bei der Arbeit zu stören.

Im Bericht werden die Resultate dieser Untersuchungen vorgestellt. Insbesondere wird aufgezeigt, dass es nicht notwendig ist, ein Gebäude stark zu lüften, noch dass viel Energie aufgewendet werden muss (z.B. in einer Klimaanlage), um den Büroangestellten 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 rationnel nutzen.

But du projet

Le projet *Joule II- Indoor Air Quality Audit* est initié par la Direction Générale XII de la Commission des Communautés Européennes. Il a pour objet d'améliorer les connaissances concernant la qualité de l'air en relation avec la consommation d'énergie dans les grands bâtiments administratifs. Sept pays de la communauté européenne et trois pays de l'OCDE, dont la Suisse, participent à ce projet. Dans ce but, une demi-douzaine de bâtiments par pays est examinée, soit un total de 60 bâtiments en Europe. Les bâtiments examinés doivent autant que possible être représentatifs de l'ensemble des immeubles de bureaux. Ils ne sont en aucun cas sélectionnés parce qu'ils présentent des problèmes.

On attend de ce projet de recherche les résultats suivants:

- ▣ une procédure européenne commune pour l'examen de la qualité de l'air intérieur dans les bâtiments de bureaux;
- ⊕ une banque de données contenant les mesures effectuées et des interprétations statistiques présentant une image de l'état actuel de la qualité de l'air et des conditions de confort dans les bureaux;
- ♣ des conseils pour la planification, l'exploitation et l'entretien des installations de ventilation et des bâtiments, que l'on aura pu tirer des connaissances acquises.

Les points examinés concernent le bâtiment et ses installations techniques, le bien être ressenti par le personnel de bureau, le confort thermique, l'éclairage et le niveau de bruit dans quelques bureaux. La qualité de l'air est examinée tant du point de vue olfactif que du point de vue chimique. 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.

Un questionnaire distribué aux employés porte sur le bien être subjectif ressenti par l'employé, sur des symptômes physiologiques qu'il pourrait ressentir ou avoir ressenti pendant le dernier mois, et sur les caractéristiques de sa place de travail. Un point important concerne les symptômes physiologiques apparemment causés par le bâtiment.

Des examens plus approfondis sont effectués à quelques places de travail:

- ☺ Mesures concernant le confort: On mesure la température de l'air, température de confort, l'humidité et la vitesse de l'air à quelques places de travail.
- ⌘ Des mesures sommaires sont prévues pour quantifier l'éclairement et le niveau de bruit.
- ☺ Évaluation olfactive de la qualité de l'air: Une équipe de 10 à 12 "nez", entraînés, jugent la charge de l'air en odeurs désagréables et l'expriment en Pol. Le Pol correspond à la charge odorante d'une personne moyenne diluée dans courant d'air de 1 litre par seconde.
- ♣ Composés chimiques divers: Les concentrations en gaz carbonique (normalement généré par les occupants), en monoxyde de carbone (provenant notamment de la fumée de tabac) et en composés organiques volatils (solvants de peinture, de colles) sont mesurées en certains points. On mesure aussi la quantité de poussières présentes.
- ℞ Mesures concernant la ventilation: Afin de déduire l'importance des sources de pollution à partir des concentrations mesurées, il est nécessaire de déterminer le débit d'air frais amené dans chaque bureau. Ces débits sont mesurés en utilisant des gaz traceurs.

En plus des auteurs, les personnes suivantes collaborent à ce projet:

Oskar Böck, SULZER INFRA,

Dr. Rudolf Knutti, OFIAMT, Service de Médecine et d'Hygiène du Travail;

Arno Rüedi, PERISO SA, Isonne,

S. Meier, Stäfa Control System.

Méthode

Les mesures à effectuer et la manière de les faire ont été définies en commun par les participants au programme. Chaque spécialiste a amené sa brique à l'édifice, et l'ensemble a été discuté, testé et aménagé en fonction des expériences effectuées. Il en est résulté un manuel [1] décrivant la méthode en détail. Les données qui en résultent pour chaque immeuble seront mises à disposition dans une banque de données.

Les 8 bâtiments examinés en Suisse ont été obtenus en expédiant une lettre décrivant le projet et ses besoins à quelques organisations possédant des bâtiments susceptibles de satisfaire à certains critères (notamment bâtiments administratifs avec plus de 100 employés) et qui sont d'autre part représentatifs d'un type de travail. Une majorité de réponses favorables nous a permis de disposer facilement de 8 bâtiments.

Les bâtiments mesurés

Nous avons ainsi pu examiner deux bâtiments abritant les bureaux d'administrations publiques, l'une fédérale (A) et l'autre communale (H), ainsi que des bâtiments abritant les sièges centraux d'une banque (C), d'une compagnie d'assurance (B), d'une société chimique (D et E) et d'une société alimentaire (F et G). Les caractéristiques de ces bâtiments et de leurs systèmes de climatisation sont résumés dans le Tableau 1. Aucun de ces bâtiments n'est considéré comme malsain.

Tableau 1: Caractéristiques des bâtiments mesurés

Bâtiment	A	B	C	D	E	F	G	H
Année de construction	1'972	1'980	1'990	1'991	1'974	1'958	1'976	1'973
Nombre d'étages	14	6	5	5	7	6	9	8
Surface de plancher [m ²]	7'406	21'276	38'440	12'000	9'067	34'980	42'000	11'309
Nombre de bureaux	60	19	10	320	205	1'500	680	
Nombre d'occupants	240	750	1'200	223	200	800	800	
Type de bureau	Paysager	Paysager	Paysager	Standard	Standard	Standard	Standard	Paysager
Ventilation à mélange	✓	✓	✓		✓	✓		✓
en piston				✓			✓	
Injection au plafond	✓	✓	✓	✓	✓			
Injecto-convecteurs						✓	✓	✓
Chauffage à air			✓			✓	✓	✓
Chauffage radiateurs	✓	✓		✓	✓			
Climatisation		✓	✓	½	✓	✓	✓	✓
Fenêtres ouvrables	Non	Non	Non	Oui	Non	Oui	Oui	Non
Récupération de chaleur		Plaques	Rotatif	Rotatif			Glycol	

Les bâtiments A, B, C et H sont en pleine ville, alors que les bâtiments D et E se situent dans une riante campagne. Les bâtiments F et G sont en ville, mais au bord d'un lac. Une partie du bâtiment D est ventilée naturellement.

Les caractéristiques des occupants sont données au Tableau 2. A part les bâtiments A et E, très masculins, les occupants sont également répartis entre les sexes.

Tableau 2: Caractéristiques des occupants des bâtiments examinés. En dernières colonnes, on donne la moyenne, μ , et l'écart type, σ .

Occupants	A	B	C	D	E	F	G	H	μ	σ
Nombre d'occupants	240	750	1'200	223	200	800	800		602	386
Personnes/pièce	8	66	44	1	1	2	2	4	16	25
Age moyen	44	38	36	39	40	43	42	39	40	3
Personnel féminin	21%	40%	54%	43%	53%	35%	53%	51%	0,44	0,12
Cadres	50%	16%	13%	41%	33%	12%	16%	18%	25%	15%
Spécialistes (ingénieurs)	10%	18%	1%	26%	18%	45%	31%	3%	19%	15%
Secrétaires	29%	49%	72%	23%	44%	30%	49%	72%	46%	19%
Autres	11%	17%	13%	10%	5%	12%	5%	7%	10%	4%
Années passées dans le bât.	10,0	5,4	2,7	1,8	5,2	10,1	8,1	7,8	6,4	3,1
Heures à l'écran/ semaine	14	26	24	22	24	19	16	16	20	4,5
Sujets à l'asthme	10%	6%	10%	14%	10%	10%	7%	12%	10%	3%
Sujets à l'eczéma	24%	29%	28%	21%	26%	13%	17%	19%	22%	6%
Sujets au rhume des foies	19%	27%	29%	28%	27%	22%	19%	26%	25%	4%
Voisins fumeurs	21%	81%	11%	29%	29%	37%	26%	52%	36%	22%
Fumeurs	16%	42%	41%	31%	19%	20%	21%	36%	28%	10%
Ancien fumeurs	16%	28%	26%	33%	31%	33%	35%	44%	31%	8%

La distribution entre types de travail, par contre, est très variable. Par exemple, le bâtiment A contient une grande part de cadres, alors que H est essentiellement occupé par des secrétaires. On notera la part importante de personnes présentant des allergies, ainsi que le pourcentage très variable de fumeurs, nettement plus nombreux dans les banques et assurances que dans l'industrie ou l'administration.

Quelques résultats

La place manque pour donner et commenter ici tous les résultats. Ils seront publiés dans plusieurs rapports, tant nationaux qu'europeens. Nous présentons ci-dessous quelques résultats qui nous semblent curieux et intéressants.

L'indice de dépense d'énergie de ces bâtiments varie de 800 (pour le bâtiment le plus récent) à près de 2000 MJ/m² (bâtiment le plus ancien, en voie de réhabilitation). 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/m² (270/0,7). Seuls les bâtiments B et D l'atteignent.

Tableau 3: Consommation d'énergie des bâtiments mesurés. La consommation du bâtiment H ne nous est pas encore parvenue. En dernière colonne, on donne la moyenne, μ .

	A	B	C	D	E	F	G	μ
Chauffage [MJ/m ²]	1'268	334	816	383	521	976	763	723
Electricité [MJ/m ²]	625	566	984	417	579	524	437	590
Total [MJ/m ²]	1'893	900	1'800	800	1'100	1'500	1'200	1'149

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 lié au bâtiment.

Pour permettre d'obtenir un indice global et de comparer les bâtiments entre eux, des indices des symptômes liés au bâtiment (BSI pour Building Symptom Index) ont été définis. 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.

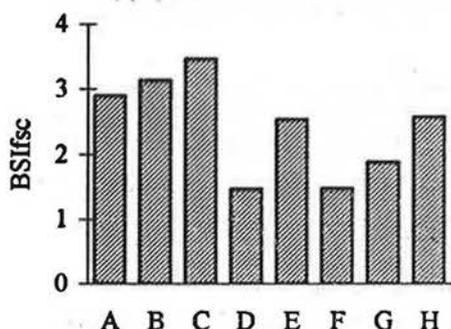


Figure 1: Building Symptom Index pour le mois passé, liste restreinte, corrigé pour les différences de population des 8 bâtiments mesurés en Suisse.

En moyenne, les femmes ressentent plus de symptômes que les hommes (environ 80%). D'autre part, il existe de légères différences selon le type d'emploi. Pour comparer les différents bâtiments entre eux, les indices ont été corrigés pour ces variations. La Figure 1 montre les indices pour les huit bâtiments mesurés. Les bâtiments D et F ressentent particulièrement peu de ces symptômes, alors que les occupants des bâtiments A à C sont en nettement moins bonne santé.

Il est intéressant de rechercher une relation entre ce bien être et d'autres paramètres qui pourraient en être responsables. La dispersion des points sur la Figure 2 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.

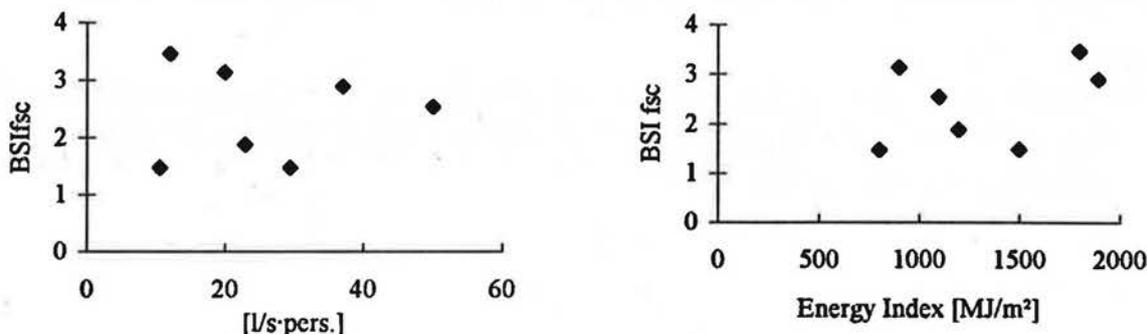


Figure 2: Débit d'air frais prévu par personne (à gauche) et indice de dépense d'énergie (à droite) en relation avec le Building Symptom Index.

La concentration en gaz carbonique dépend directement du taux de ventilation par personne, car, dans les bureaux, les occupants sont les seules sources de gaz carbonique. Plus cette concentration est

grande, plus faible est le débit d'air frais par personne. La Figure 3 montre que, du moins jusqu'à une certaine limite, un faible débit d'air frais n'aggrave pas la santé des occupants.

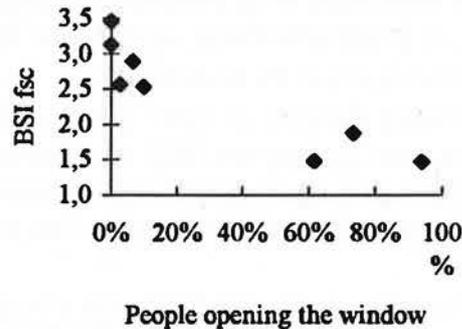
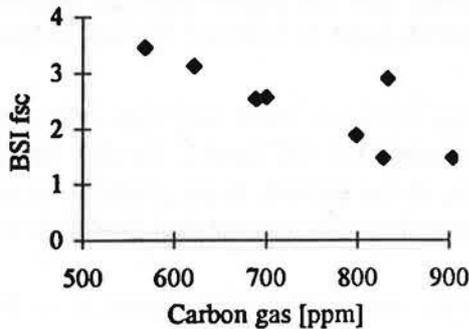


Figure 3: Relation entre le BSI et la concentration en gaz carbonique. Figure 4: BSI et ouverture des fenêtres.

La Figure 4 montre une relation très nette entre le BSI et la possibilité d'ouvrir les fenêtres. Les occupants des trois bâtiments dans lesquels on peut ouvrir les fenêtres présentent nettement moins de symptômes liés au bâtiment que dans les autres bâtiments, où les fenêtres sont scellées. Les effets psychologiques et sociologiques semblent donc primer sur l'effet de la ventilation.

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. Ils montrent 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. En particulier, les installations de ventilation examinées dans le cadre de ce projet étaient bien construites et parfaitement entretenues. Toutefois, les progrès effectués ces dernières années permettent de concevoir des bâtiments et des installations conviviales et énergétiquement rationnelles. Le bâtiment D est exemplaire en ce sens qu'il a été entièrement étudié pour atteindre les deux buts: conditions de travail agréables et basse consommation d'énergie.

Référence

- [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. 4th draft, Technical University of Denmark, Lyngby, 1993.