



Pollution à l'intérieur des locaux : préoccupation internationale

par Pierre-Cyr JACQUIGNON (*)

Si besoin en était de s'en convaincre, la forte participation au Congrès Indoor Air 93 qui s'est tenu à Helsinki du 4 au 8 juillet dernier, en apportait la preuve.

En effet plus de 1 000 participants représentant 47 nations étaient venus y discuter de leurs axes de recherches, de leurs résultats ou de leurs projets sous forme de communications orales ou d'affiches.

Malheureusement seuls une vingtaine de français y représentaient notre pays.

Un intérêt supplémentaire résidait dans le fait qu'au cours des séances plénières ou des tables rondes un grand nombre d'opinions purent s'échanger, et la contradiction y était souvent présente ce qui réhaussait encore la qualité de la réflexion.

En outre les « proceedings » étaient disponibles dès le premier jour ce qui facilitait encore plus le choix indispensable dans cette multitude de présentations cumulant plus de 3 600 pages.

L'ensemble des sessions était divisé en six grands secteurs :

- Pollution et santé humaine.
- Produits chimiques dans l'air intérieur ; émission des matériaux.
- Produits de combustion, risques, réglementation.
- Particules, microbes, radon.
- Ventilation.
- Environnement thermique, technologie des bâtiments.

Vouloir décrire ici, in extenso, l'ensemble de ce qui a été exprimé, ramènerait l'action de Sisyphe à un simple travail d'amateur.

Nous nous limiterons à citer quelques points qui nous ont paru refléter des orientations intéressantes dans chaque secteur.

I. - Pollution intérieure et santé humaine

Dans ce domaine, diverses implications ont été envisagées.

Tout d'abord les répercussions directes comme celles des composés organiques volatils ont été largement présentées.

Bien entendu il faut tenir compte de l'hyper-sensibilité individuelle (MILLER C. S. *et al.*, USA) en particulier pour évaluer la réponse humaine à différents mélanges de composés organiques volatils (MOLHAVE *et al.*, Danemark).

Plusieurs domaines particuliers ont été évoqués : exposition au formaldéhyde dans les jardins d'enfants (KALINEC N. *et al.*, Croatie) ; effets pulmonaires respiratoires et irritants d'un mélange de composés chimiques à trois concentrations chez de jeunes hommes (PRAH J. *et al.*, USA).

Il a été plusieurs fois montré que dans le domaine de l'allergie et des maladies infectieuses, le rôle de la température est important ; en effet elle augmente l'activité microbiologique libérant ainsi des substances chimiques, leurs métabolites et des allergènes, et des toxines : d'où allergies diverses, asthme, eczéma (KNUDSEN *et al.*, Danemark) provenant d'émissions dans les bâtiments et une proposition de classification en a été faite.

Une comparaison entre sujets allergiques et non allergiques a montré le rôle important des moisissures et champignons (CONSENTINO S. *et al.*, Italie).

(*) Chargé de mission au Ministère de l'Environnement, Directeur de Recherche au CNRS, Lauréat de l'Académie de Médecine.

Les milieux professionnels et non professionnels ont été également traités : c'est le cas pour les maladies infectieuses ou allergiques atteignant les travailleurs dans les emplois souterrains (LEHTOMAKI K. *et al.*, Finlande), le rôle du tabac (nitrosamines volatiles) sur les fumeurs et les non fumeurs a été discuté plusieurs fois (TUCKER A. R. *et al.*, Allemagne ; JAAKOLA M.S. *et al.*, Finlande).

Un point intéressant à relever est que nombre d'auteurs se sont préoccupés de l'impact de l'environnement intérieur sur la santé des enfants. Par exemple, caractérisation microbienne de l'air dans les salles de classe (MOUILLESEAUX A. *et al.* ; LAURENT A. M. *et al.*, France).

Depuis plusieurs années la question du « sick building syndrome » est évoquée et traitée : l'ensemble de ses manifestations physiologiques et psychologiques soulève de nombreuses interrogations : sont-elles objectives ou subjectives (SEGA K. *et al.*, Croatie).

Les conséquences du « sick building syndrome » sont diverses : irritations oculaires, malaises respiratoires et cardiaques, différences entre les âges et les sexes ; en sus l'influence de l'éclairage et de la ventilation est prise en compte. Un tableau concis et détaillé en a été fait (MOLINA C. *et al.*, France) et les éventuelles corrélations psychosociales précisées (HEDGE A. *et al.*, USA).

Nous verrons à travers les autres chapitres qu'il y a des regroupements inévitables entre les grandes divisions du congrès.

II. - Produits chimiques dans l'air intérieur - Emission des matériaux

En ce qui concerne le premier titre, plus de 40 communications et affiches en ont traité.

Les sources de contamination sont multiples : matériaux, poussières (ROBERTS J. W. *et al.*, USA) ; mais le formaldéhyde et ses analogues tiennent également la vedette.

L'incidence des sources de pollution extérieure n'est pas négligée : émission des véhicules (PERRY R. *et al.*, Angleterre) provenant des garages et parkings (WEISEL C. P. *et al.*, USA) ; pesticides (pyréthrynoïdes entre autres) souvent inconsidérément utilisés dans les appartements (BALL M. *et al.*, Allemagne ; SHERMAN J. D., USA).

Par voie de conséquence, l'appréciation et la mesure de la teneur en composés chimiques a suscité de nombreux travaux qu'il s'agisse de la détermination globale (COTTICA D. *et al.*, Italie) ou simplement des HAP (LIN Y. H. *et al.*, USA).

Lorsqu'on aborde le second titre relatif aux matériaux des bâtiments la liste des nuisances

examinées est très longue : formaldéhyde naturellement, mais aussi chlorure de vinyle, peintures, plastifiants, antifongiques (DE BORTOLI M. *et al.*, Italie) ou substances venant du traitement des bois des fenêtres (MORCK H. *et al.*, Danemarck).

Les recherches pour sélectionner les différents types de travaux afin d'obtenir le minimum de pollution dans les bâtiments, appartements, hôpitaux, écoles sont en plein essor (OIELT *et al.*, Norvège) ; aucun secteur n'est négligé : peintures, ventilation, antimoisissures (SPAUL W. A. *et al.*, USA) et les tableaux 1 et 2 montrent par exemple la diversité des émissions des revêtements de sol (KIRCHNER S. *et al.*, France).

Enfin des modèles de bâtiments tendant vers le maximum de qualité sanitaire sont conçus tel le projet de la « New San Francisco Main Library » qui sera terminée en 1996 (BERNHEIM A. *et al.*, USA).

III. - Produits de combustion, risques, réglementations

Les produits de combustion ont été présentés en deux catégories : organiques et inorganiques. La part la plus importante des producteurs de molécules organiques dangereuses provient des moyens de chauffage, des moteurs des véhicules et de la fumée de tabac ; dans les deux premiers cas la pollution extérieure pénètre vers l'intérieur (YASUSHI K. *et al.*, Japon ; GAMMAGE R. B. *et al.*, USA).

Parmi les composés inorganiques, l'oxyde de carbone et les molécules azotées (NO₂, NO₃H par exemple sont souvent cités).

Le tableau 3 présente la pollution de l'air à l'intérieur de maisons égyptiennes (E. A ALI *et al.*, Égypte). Tandis que les figures 2 et 3 mettent en évidence la répartition des pollutions en fonction des sources (RUDNAI P. *et al.*, Hongrie ; BRAUER M. *et al.*, Canada) ; il est indiscutable qu'en ce qui concerne la pollution intérieure, nous courons des risques en tous lieux et sous tous les aspects : salles d'écoles, garages, piscines, cuisines, cantines, patinoires sur glace et même bâtiments ruraux (TERBLANCHE A. P. S. *et al.*, Afrique du Sud).

Les exposés qui ont été faits, présentaient non seulement des constatations mais préconiaient aussi des solutions (WALLACE L. A. *et al.*, USA).

Les réglementations et normes sont l'objet d'intérêt dans le monde entier.

On a pu entendre une revue critique des critères utilisés pour présenter les « guidelines » susceptibles d'améliorer la qualité de l'air à l'intérieur des locaux (SEIFERT B. *et al.*, Allemagne ; TURCK R. *et al.*, Allemagne).

Tableau 1.
Émissions des revêtements de sol.

Type of material compounds (ref.)	conc. µg/m³	em. rate µg/m²h	Type of material compounds (ref.)	conc. µg/m³	em. rate µg/m²h
CARPET :			LATEX-Backed carpet		
60 % polyester			<u>Alkanes</u>		
30 % nylon			Hexane (18)	3,6 ^b	
4 % polyolefin fibers			Nonane (18)	> 50 ^b	
<u>Alkanes</u>			Decane (18)	1,7 ^b	
n-Tetradecane (15)			Undecane (18)		
n-Pentadecane			Dodecane (18)	2,4 ^b	
n-Heptadecane (15)			4,5-Diethyl nonane (A)		
n-Octadecane (15)			2,2,4,6,6-Pentamethyl-heptane (A)	14,71	23,19
Pristane (15)			<u>Aromatics</u>		
Phytane (15)			Benzene (18)	1,3 ^b	
<u>Ketone/other vocs</u>			Toluene (A)		
Benzophenone (15)			(18)	11,4	
Dibutyl phthalate (15)			(18)	> 50 ^b	
TXIB (15)			Ethylbenzene (18)	2,7 ^b	
			(A)		
CARPET GLUED TO PLYWOOD :			m ou p-Xylene (A)		
<u>Alcohols/ketone</u>			o-Xylene (A)		
2-(2-Butoxyethoxy)			Ethenyl benzene (A)		
ethanol (16)		0,2	1-Ethyl 2-methyl benzene(A)		
Butanol (16)		0,069	Trimethyl benzene (A)		
Acetone (16)		0,51	Xylene (18)	7,7-	
<u>Aromatic/Terpenes</u>				64,4 ^b	
Toluene (16)		0,061	Naphtalene (18)	2,6-3 ^b	
Longifolene (16)		0,038	4-Phenyl cyclohexene (6)		0,052-
Caryophyllene (16)		0,013	(A)		0,152
a-Pinene (16)		0,0068	Styrene (10)		
<u>Aldehydes</u>			<u>Terpenes/Aldehyde</u>	3,1 ^b	
Formaldehyde (16)		0,077	a-Pinene (18)	3,9 ^b	
Propanal (16)		0,011	Limonene (18)		0,71 to
Butanal (16)		0,047	Formaldehyde		19,99 ^c
Pentanal (16)		0,031	(14) ppm		< 0,003 ^a
Hexanal (16)		0,068	(14) ppm		> 0,067
2-Ethyl hexanal (16)		0,073	(14) ppm		
Heptanal (16)		0,0064	<u>Other vocs :</u>	24,57	38,75
Octanal (16)		0,011	Trichloroethylene (A)		
Acetaldehyde (16)		0,051	Trimer 2-methyl propene (A)		
Benzaldehyde (16)		0,024	2-Butanone (A)		
<u>Acids/esters</u>					
Acetic acid (16)		0,22			
Butyl formate (16)		0,014			
Ethyl acetate (16)		0,025			

Des recommandations, règles et stratégies ont été énoncées (GILBERT D. *et al.*, Australie).

Malgré cela il reste encore beaucoup de progrès à réaliser car on doit constater que chaque amélioration du confort amène une augmentation des probabilités de nuisances avec dans certains cas des effets contraires à ceux recherchés ; certains acaricides ne sont-ils pas des allergènes ?

IV. - Particules, microbes et radon

C'est dans cette série de présentations que l'on retrouve des redondances avec le chapitre « Santé ».

Un exposé intéressant relatif à la pollution par les fibres et particules a été fait par des chercheurs polonais (PASTUSZKA J. S. *et al.*, Pologne) mettant en relief l'importance des nuisances industrielles dans les pays de l'Est.

Tableau 2.
Émissions des revêtements de sol.

Type of material compounds (ref.)	conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	em. rate $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$	Type of material compounds (ref.)	conc. $\mu\text{g}/\text{m}^3$	em. rate $\mu\text{g}/\text{m}^2\text{h}$
NO SPECIFICATION ON CARPET			PVC		
<u>Alkanes/Terpene</u>			<u>Esters/Other vocs</u>		
n-Petane (17)			Isobutylacetate (11)		0,012
n-Hexane (17)			Methylglycol acetate (11)		0,043
Decane (A)			Diethyleneglycol monobutyl ether (11)		0,013-
Undecane (A)			TXIB (11)		0,044
Dodecane (A)					0,007-
Tridecane (A)					4,825
a-Pinene (17)			<u>Alkanes/Cycloalkane</u>		
<u>Aromatics</u>			Isoalkanes (7)		11,25-28
Benzene (17)			Heptane (5)		0,069
Dichloro benzene (17)			2,2,6-Trimethyl octane (11)		0,035-
Toluene (17, A)			Decane (11)		0,122
Ethylbenzene (17)			Isodecane (5)		3,9-9,7
1-Ethyl 2-methyl benzene (A)			n-Alkanes C8-C13 (7)		0,014-
m,p-Xylenes (17, A)			2,2,4,6,6-Pentamethyl-heptane (11)		0,083
o-Xylene (17,A)			Tridecane (11)		0,049
Trimethyl benzene (A)			Methyl cyclohexane (5)		
4-Phenyl cyclohexene(A)			<u>Alkenes</u>		
<u>Alcohol/ketones</u>			1,3,5,7-Octatetraene (11)		0,145
2-Butanone (A)			Tridecene (11)		0,06
Acetone (17)			<u>Aromatics</u>		
Cyclohexanone (A)			Toluene (5)		0,06-0,07
Isopropanol (17)			(7)		0,006-
<u>Other VOCS</u>					0,136
Trichloroethylene (A)			Ethylbenzene (11)		0,04-0,09
Benzoyl Chlorure (A)			o,m,p-Xylenes (7)		0,024-
			(11)		0,625
					0,004-
					0,027
VINYL FLOORING			m,p-Ethyl toluenes (7)		1,15-3
<u>Alkanes/Alkene</u>			Naphtalene (11)		0,015
n-Pentadecane (15)			Aromatics (7)		0,05
n-Octadecane (15)			<u>Alcohols/Phenol</u>		
Heptadecene (15)			2-Propanol (11)		0,026
<u>Aromatics</u>			Butanol (11)		0,018-
Decylbenzene (10)					0,048
Dodecylbenzene (10)			2-Ethyl hexanol (7)		0,14
<u>Alcohol/Phenol</u>			(11)		0,147-
2-Ethyl hexanol (15)					0,214
Phenol (10)			Cyclohexanol (11)		0,012
Methyl phenol (10)			2-Ethoxyethanol (11)		0,01
<u>Acid/ketone</u>			2-Butoxy ethanol (11)		0,008-
Benzoic acid (15)					0,074

Malgré les réglementations sévères à l'échelon mondial, on constate que le problème des fibres d'amiante ou autres particules minérales de substitution est toujours d'une grande actualité (SPURNY K. R., Allemagne).

Quelles que soient les précautions prises et la bonne qualité des maintenances, il apparaît que les microbes contaminent constamment les immeubles soit directement soit par les gaines de ventilations (MARONI M. *et al.*, Italie) ; même

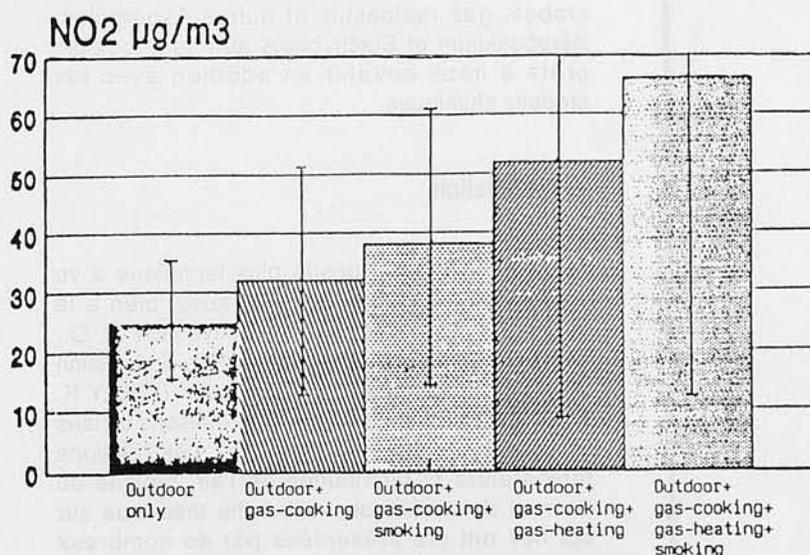
dans les hôpitaux ultra-modernes, on découvre des champignons (STREIFEL A. J., USA) et bien entendu dans les appartements (LI C. S. *et al.*, Taiwan) ; des méthodes de détection et de mesure ont été décrites (HYVÄRINEN A. *et al.*, Finlande).

Le rôle conjugué de la chaleur et de l'humidité contribue à produire dans les installations intérieures champignons, mycotoxines, légionelles (MOREY P. R., USA ; MIKULEN *et al.*, Finlande).

Tableau 3.
Pollution à l'intérieur d'une maison égyptienne.
Indoor air quality in the examined houses, summer 1993.

House	Fuel	Area	NO ₂	NO	NO _x	CO	Smoke
			µg/m ³	µg/m ³	µg/m ³	ppm	µg/m ³
Flat 1	Gas	100 m ²					
		Kitchen, 24 h max	135	166	295	6,6	106
		mean	96	125	221	4,2	79
		Living R, 24 h max	110	116	273	5,1	85
		mean	72	69	141	2,8	61
		Outdoor, 24 h max	56	64	118	2,6	79
		mean	38	33	71	1,8	57
Flat 2	Gas	50 m ²					
		Kitchen, 24 h max	165	204	336	7,9	120
		mean	130	153	283	5,8	92
		Living R, 24 h max	160	148	269	6,8	96
		mean	128	115	243	5,3	70
		Outdoor, 24 h max	49	56	105	4,0	68
		mean	43	44	87	2,1	46
Flat 3	Kerosene	25 m ²					
		Kitchen, 24 h max	205	230	401	16,2	185
		mean	145	166	311	10,1	107
		Living R, 24 h max	205	180	347	13,1	129
		mean	130	145	275	9,2	86
		Outdoor, 24 h max	62	58	113	3,2	77
		mean	48	36	84	2,2	62

Figure 1.
Contribution
of pollution sources
to total indoor NO₂
levels in Győr.



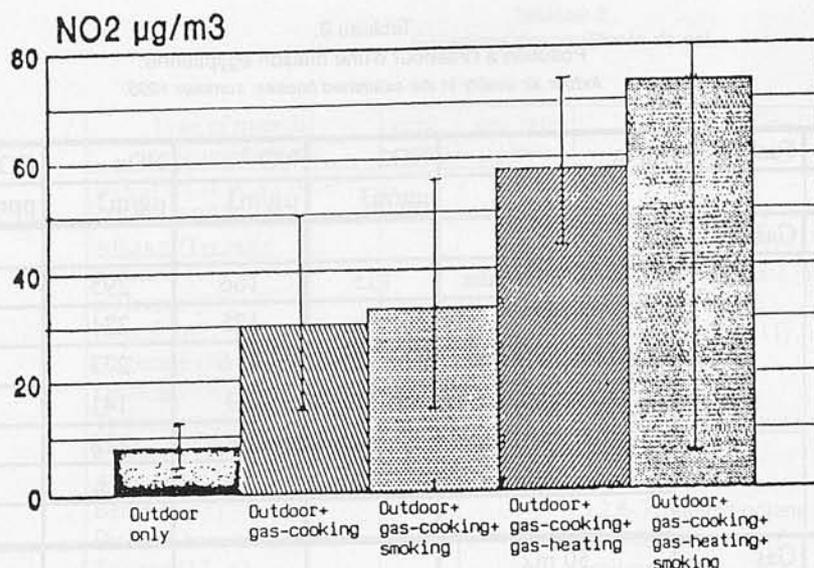


Figure 2.
Contribution
of pollution sources
to total indoor NO₂
levels in Sopron.

Le radon a fait l'objet de 46 communications et affiches.

Beaucoup étaient axées sur son évaluation et sa mesure (GUO Q. *et al.*, Japon ; PAHAPILL L. *et al.*, Estonie) ainsi que sur celle du thoron (YAMASAKI T. *et al.*, Japon ; GOURONNEC A. M. *et al.*, France).

Cependant le nombre de textes relatifs aux effets du radon 222 était réduit (URAY I. *et al.*, Roumanie) et bien moins détaillés que ceux traitant de la protection contre ce gaz ; quoi qu'il en soit les discussions restent ouvertes sur le rôle cancérigène de celui-ci à long terme.

La salubrité à l'intérieur de nos locaux dans lesquels nous passons une grande partie de notre vie est toujours en équilibre instable et demande une attention permanente car microbes, gaz radioactifs et autres *Aspergillus*, *Aérobaculum* et *Stachybotrys atra* sont toujours prêts à nous envahir en addition avec les produits chimiques.

V. - Ventilation

Ce domaine beaucoup plus technique a vu des communications relatives aussi bien à la ventilation en tant que telle (HANSSON S. O., Norvège) qu'à la ventilation contrôlée en fonction des saisons et du taux d'humidification (KELLY K. *et al.*, USA), notamment pour les maisons isolées (KAUPPINEN T. *et al.*, Finlande). Les relations température et distribution de l'air, rapidité du courant de ventilation, recherche théorique sur les flux ont été présentées par de nombreux auteurs (KOGANEI M. *et al.*, Japon ; LEDUC D. *et al.*, Canada).

Les lieux particulièrement sensibles comme les hôpitaux et notamment les blocs opératoires ont fait l'objet d'une attention spécifique dans le domaine de la ventilation à air stérile (NAGANITSU S. *et al.*, Japon ; SALVIGNI S. *et al.*, Italie ; SOHN J. Y. *et al.*, Corée).

Ces recherches visant à améliorer les flux de ventilation, leur salubrité, compte-tenu des sources variées de pollution mais également le confort physique et psychologique des occupants, ont fait appel à des méthodes technologiques sophistiquées où mathématiques, physique et informatique se complètent de manière heureuse.

Au total une centaine de présentations, en font état.

VI. - Environnement thermique, technologie des bâtiments, nettoyage

Cette session s'est relevée intéressante car plusieurs auteurs ont pris en compte ensemble, divers critères pouvant altérer le confort ; par exemple pollution de l'air, écarts de température et bruit (CLAUSEN G. *et al.*, Danemark ; PACUIK M., Israël). Le milieu du travail, n'est pas omis comme en fait état cette communication sur le confort thermique chez les ouvriers de manufactures (ZAINAL M., Malaisie ; ZHIVOV *et al.*, USA).

Il est évident que les effets combinés du flux de l'air et du taux d'humidification influence notablement la sensation de confort thermique (PABONEN J. *et al.*, Finlande).

La maintenance efficace est indispensable pour éviter la prolifération de bactéries, les odeurs et la dissémination d'impuretés venant de

la source comme le sont les résidus d'huiles lubrifiantes (PASANEN P. O. *et al.*, Finlande).

Ces incidences ont fait se développer les méthodes aptes à rendre propre l'air pulsé dans les locaux (SCHNEIDER T. *et al.*, Danemark ; HANLEY J. T. *et al.*, USA), qu'il soit souillé par des particules ou la fumée de tabac (JOHANSSON J. *et al.*, Suède).

Différents procédés sont passés en revue : absorption par charbon actif (LIU R. T., USA) effet électrostatique (VAREKHOV A. G., Fédération de Russie), filtres à fibres (KJAERBOE P. *et al.*, Suède), etc...

De ce fait, de nouvelles spécialités professionnelles sont nées : en particulier les investigations et mesures dans les immeubles et bâtiments (SALARÈS V. *et al.*, Canada ; NATHANSON T., Canada) ainsi que les protocoles de diagnostic ont été approfondis (TURNER W. A. *et al.*, USA ; VOUTE P. D. *et al.*, Pays-Bas).

On prend conscience de la multiplicité de facteurs pouvant intervenir selon que les lieux à surveiller soient des salles de classes, des salles de réunion, des salles d'opération, des maisons individuelles ou des supermarchés (ADVANI A., USA)

A la fin de ce tour d'horizon, nécessairement limité, on peut apprécier la densité et la qualité du Congrès « Indoor Air 93 » d'Helsinki. Cette manifestation triennale, a cette année encore,

apporté une multitude d'enseignements, sanitaires, psychologiques, technologiques.

Certes, comme dans toute réunion de ce type, des exposés étaient de qualité médiocre ou laissaient le sentiment du déjà entendu mais les échanges de vue « urbi et orbi » entre les participants étaient, eux, une source d'informations nouvelles et enrichissantes.

En tout état de cause, il apparaît que pour le problème de la qualité de l'air à l'intérieur des locaux, les mêmes observations peuvent être faites que pour l'environnement en général : la responsabilité y est aussi sur deux plans :

- La responsabilité générale de la Société : pouvoirs publics, industries, entreprises de construction, législateurs, surveillance.

- La responsabilité individuelle : entretien des locaux, non obturation des prises d'air, non saturation par les produits de combustion de cuisine, par la fumée de tabac ou par des méthodes de bricolage mal adaptées, en un mot respect des règles traditionnelles de l'hygiène.

- Si toutes les bonnes volontés se conjuguent, « Indoor Air 96 » nous apportera des nouvelles réconfortantes sur la viabilité de l'équilibre entités-modernisme-qualité de vie qui sont quelquefois paradoxalement antinomiques.

Nota : L'auteur pourra envoyer aux lecteurs qui le désirent la photocopie de telle ou telle intervention qui est citée dans le texte.