

#4561

UN RENDEZ-VOUS C.S.T.B.

VENTILATION DES LOGEMENTS

LES POLLUANTS DE L'AIR INTERIEUR

M. LOEWENSTEIN
(DER, EDF, CHATOU)

LES RENDEZ-VOUS DU CSTB - 27 SEPTEMBRE 1990
VENTILATION DES LOGEMENTS

- LES POLLUANTS DE L'AIR INTERIEUR -

J.C.LOEWENSTEIN
EDF - Direction des Etudes et Recherches

I. LE CONTEXTE DE LA QUALITE DE L'AIR A L'INTERIEUR DES LOCAUX.

La FRANCE est peu mobilisée, par rapport à de nombreux autres pays, sur le problème de la qualité de l'air à l'intérieur des locaux:

- La problématique est reconnue (sources de pollution, mécanismes de transfert, liens avec le taux de renouvellement d'air, effets sur la santé...)
- La question du radon est souvent soulevée, mais les données sont difficilement accessibles. Or, plus que tout autre polluant, la concentration en radon est très liée au taux de renouvellement d'air.
- Au-delà du problème du CO, pris en charge depuis très longtemps en raison de la gravité de ses effets, les Pouvoirs Publics ne se sont saisis de la question "pollution intérieure" que depuis quelques années. Ils ont récemment lancé des actions incitatives (programmes "habitat-santé" et "confort-santé" par exemple).
- Les milieux de la recherche s'y intéressent encore assez peu, les études sont dispersées et cloisonnées selon les compétences spécifiques de chaque équipe: médicales ou techniques.
- Les maîtres d'ouvrages sont rarement sensibilisés à la qualité de l'air intérieur, le plus souvent par simple méconnaissance du sujet; il en résulte inévitablement quelques conséquences: en coopération avec les bureaux d'étude, ils apprécient mal les éléments des dossiers "qualité de l'air" lorsqu'ils ont à choisir entre plusieurs solutions; ils minimisent les coûts d'investissement; s'ils en sont responsables, ils ont tendance à réduire les contrats de maintenance.

La sensibilisation à la qualité de l'air et aux problèmes de santé est nettement plus importante dans les pays nord-américains et nord-européens. Concrètement, cela va bien au-delà des actions françaises et se traduit principalement par des études plus avancées allant jusqu'à l'élaboration de valeurs de références. Aux USA par exemple, l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE) met au point des valeurs guides (standard 62-81 "ventilation for acceptable air quality" et la nouvelle version 62-89), et organise un congrès annuel centré sur "indoor air quality". Pour information, voici les sujets des quatre derniers congrès de cette Société:

- 1989: The human equation: health and comfort.
- 1988: Engineering solutions to indoor air problems.
- 1987: Practical control of indoor air problems.
- 1986: Managing indoor air for health and energy conservation.

Les congrès internationaux sur la qualité de l'air intérieur sont nombreux. Tous les 3 ans par exemple a lieu un très vaste congrès intitulé "Indoor Air". Après BERLIN en 87, celui de 90 vient d'avoir lieu cet été à TORONTO (la France y était toujours aussi peu représentée, avec 17 personnes sur 1200 participants...). L'examen des 3 grands thèmes de ce congrès montre parfaitement les préoccupations qu'il convient de garder à l'esprit dans ce domaine:

- Santé humaine, confort, et performances.
135 communications.
- Caractéristiques de l'air intérieur.
149 communications.
- Evaluations d'immeubles et de systèmes, et solutions.
220 communications.

II. LES POLLUANTS INTERIEURS ET LEURS EFFETS SUR LA SANTE.

Les sources de pollution et le rôle de la ventilation.

On peut constater d'après la figure n°1 que les sources sont très nombreuses; elles entraînent la production des principaux polluants répertoriés sur la figure n°2. On notera de plus que les odeurs constituent un paramètre fort intéressant car elles jouent souvent le rôle d'un signal d'alarme de pollutions potentiellement dangereuses. Les ordres de grandeur de la pollution intérieure sont donnés sur la figure n°3 : il s'agit de valeurs issues de la littérature, qui ont été notamment listées par l'OMS. On notera essentiellement que, excepté pour le dioxyde de soufre SO₂, le niveau de pollution intérieure est la plupart du temps supérieur à celui de la pollution extérieure: ceci est particulièrement net pour le radon et ses descendants, ce qui pose - nous le verrons plus loin - un problème délicat du point de vue santé publique.

Il n'est pas mauvais de rappeler les objectifs généraux de la ventilation: ils sont schématisés sur la figure n°4; cela nous permet de souligner la difficulté du problème puisqu'il s'agit de concilier des objectifs souvent contradictoires. Il est également intéressant de constater l'évolution historique des standards de ventilation tels qu'ils sont observés par les USA: c'est naturellement le fruit de l'évolution des connaissances en matière de santé, de technique, etc...et de l'importance des problèmes énergétiques.

Pollution intérieure et effets sur la santé.

Nous allons passer en revue les polluants les plus importants, en essayant de donner quelques indications sur les paramètres éventuels d'interactions, ainsi que sur les implications de la ventilation.

Le monoxyde de carbone.

Ce polluant reste de loin le toxique le plus dangereux en matière de pollution intérieure. En FRANCE, par exemple, il constitue la première cause de mortalité par toxique; dans la Région Parisienne, on enregistre en moyenne un décès par semaine par le monoxyde de carbone (et 7 à 8 intoxications graves avec hospitalisation).

L'indicateur de référence pour CO est le "taux de carboxyhémoglobine" dans le sang (COHb). Ce taux dépend à la fois de la concentration en CO et de la durée d'exposition. On donne les abaques correspondants sur la figure n°5. Nous avons représenté les effets du monoxyde de carbone (selon l'indicateur COHb) sur la figure n°6.

Il n'est pas nécessaire d'insister ici sur l'importance de la ventilation (sous tous ses aspects) dans ce problème, la question est bien connue.

Le radon et ses descendants.

Le radon est un descendant radioactif du radium (qu'on trouve dans le sol pratiquement partout). S'agissant d'un gaz rare, non réactif, il diffuse très bien à travers les matériaux solides, ce qui explique que sa concentration dans les matériaux de construction issus du sol soit comparable à celle que l'on trouve dans le sol: dans une habitation, le radon provient donc simultanément, et en proportion variable selon le cas, de l'air extérieur, du sol, des matériaux de construction, de l'eau.

En ce qui concerne l'évaluation du risque dû au radon, il s'agit d'une opération complexe. Le radon et ses descendants sont introduits dans l'organisme par inhalation sous forme gazeuse ou particulaire, et ils sont soit fixés, soit dissous, soit drainés par le système lymphatique pour être fixés dans les ganglions (particules non dissoutes). La conséquence essentielle en est le risque d'apparition d'un cancer pulmonaire.

De nombreuses études épidémiologiques ont été menées dans plusieurs pays, à partir desquelles des estimations de risque de cancer du poumon ont pu être établies pour les populations de mineurs de mines d'uranium. Ces estimations, portées sur la figure n°7, sont très cohérentes: les risques se situent dans une fourchette de 1 à 8, ce qui représente un important consensus. Par contre, l'estimation du risque pour la population normale, exposée à des niveaux de radon généralement plus faibles, se heurte à d'importantes difficultés méthodologiques. Aussi, toutes les estimations existantes restent basées sur une extrapolation effectuée à partir des études sur les mineurs, et en admettant qu'il n'existe pas de seuil. Ces bases sont cependant maintenant largement admises par la communauté scientifique internationale, et elles sont utilisées dans de nombreux pays en vue d'estimer les risques de cancers du poumon excédentaires pour des populations entières. Aux USA par exemple, l'EPA (Environmental Protection Agency) estime que le radon est à l'origine d'environ 10% des décès par cancer du poumon.

On sait que la géologie joue beaucoup et qu'il existe des zones à risque plus important que d'autres. En France, le CEA, associé à l'Université, étudie depuis de nombreuses années l'exposition du public au radon: des enquêtes par mesures ont été réalisées dans des maisons situées dans la plupart des départements. Ces études doivent permettre de disposer maintenant de cartes des zones à risques, dans lesquelles il conviendrait sans doute de regarder les choses de plus près en matière de construction.

A l'intérieur des locaux, l'humidité et le taux de particules sont des facteurs d'interaction importants: les particules par exemple, en fixant le radon et ses descendants, permettent à ces polluants de pénétrer et de se fixer plus facilement dans l'organisme. Quant à la ventilation, elle semble jouer un rôle important: en effet, les spécialistes du radon estiment qu'une ventilation par aspiration entraîne un dégazage plus important de ces gaz (à partir des matériaux de construction et du sol) et peut ainsi conduire à des concentrations plus élevées qu'avec un autre système basé sur une surpression intérieure. Peut-être conviendrait-il donc d'examiner cet aspect particulier dans les zones à risques.

Les oxydes d'azote.

Parmi les oxydes d'azote, le dioxyde (NO₂) est reconnu comme étant beaucoup plus toxique que le monoxyde (NO), mais ces deux constituants étant toujours présents dans l'atmosphère dans des proportions variables, on parle souvent "des" oxydes d'azote (NO_x). A la différence de SO₂, qui pénètre mal à l'intérieur des locaux, les oxydes d'azote pénètrent beaucoup mieux: il en résulte que les concentrations intérieures sont généralement au moins équivalentes aux concentrations extérieures, et elles peuvent même être souvent supérieures lorsqu'il existe des sources intérieures (tabagisme, cuisinière et/ou appareils à gaz).

La toxicité aiguë de NO₂ à forte concentration est maintenant connue et indiscutable (voir la figure n°8), mais la toxicité chronique à concentrations moyennes ou faibles - comme c'est souvent le cas à l'intérieur des locaux - demeure encore mal connue.

Le rôle de la ventilation dépend de la situation considérée, et plus particulièrement des concentrations respectives susceptibles d'être rencontrées à l'intérieur et à l'extérieur du logement.

Le formaldéhyde.

Ce produit, utilisé assez couramment dans de nombreux matériaux de construction, d'ameublement, etc..., est détectable à l'odeur à un niveau généralement inférieur à 1 ppm (partie par million). La figure n°9 résume les effets connus du formaldéhyde sur la santé pour des expositions d'assez courte durée. Pour les effets à long terme, des études menées sur des populations exposées professionnellement au formaldéhyde ont conduit à des conclusions contradictoires sur l'existence d'effets mutagènes et cancérogènes. Quoi qu'il en soit, les recommandations de l'OMS sont assez strictes sur l'utilisation de ces produits, et certains pays ont mis en place des réglementations très sévères quant aux concentrations intérieures à ne pas dépasser: l'Allemagne et les Pays-Bas, par exemple, ont fixé une limite de 120 µg/m³ en exposition continue.

On notera que, pour des matériaux donnés, les concentrations de formaldéhyde décroissent (lentement) en fonction du temps, et subissent des variations très importantes selon les conditions de température, d'humidité, et de taux de renouvellement d'air du moment à l'intérieur des locaux considérés. La sensibilité des muqueuses (qui peut apparaître à un taux inférieur au seuil d'odeur) dépend également des conditions climatiques. On imagine donc aisément que l'ajustement des conditions de ventilation puisse être intéressant à examiner également à la lumière de ce polluant, si son existence à des concentrations notables était dûment avérée.

La fumée de tabac environnementale.

Le tabac n'est abordé ici, en pollution intérieure, que sous l'angle du "tabac passif", l'action du tabac sur le fumeur lui-même étant évidemment d'un autre domaine...La figure n°10 donne une idée des concentrations en agents toxiques et cancérigènes dans lesquelles un individu peut baigner lorsqu'il se trouve dans un environnement tabagique (il s'agit de conditions de fumage "normalisées").

Les effets de cette fumée de tabac environnementale sur les non-fumeurs ont fait l'objet de très nombreuses études, qui ont permis de dégager les conclusions synthétisées sur la figure n°11. On y voit que les effets dépassent largement le cadre de l'irritation des yeux que tout un chacun a pu couramment expérimenter...

On notera que l'air sec est un facteur aggravant pour les effets à court terme (odeur et irritation des yeux). Mais surtout la combinaison avec le radon apparaît comme particulièrement dommageable en matière de cancer du poumon. Là encore, l'importance d'une bonne qualité de ventilation est indéniable, même si la ventilation n'est évidemment pas le seul facteur en cause...

Les bioallergènes et autres agents pathogènes.

Nous avons sommairement, sur la figure n°12, posé le problème des bioallergènes: ils existent couramment dans les logements, et leur nature ainsi que leur concentration dépendent de nombreux facteurs (qualité du logement, des revêtements, de l'entretien, de l'hygiène, et, bien sûr, de la ventilation, qui joue un rôle direct sur l'humidité).

Il faut mentionner aussi l'existence inévitable d'agents pathogènes de tous ordres. Le problème est certes moins délicat dans les logements que dans les immeubles professionnels à installations de climatisation centralisée, mais il est lié aux conditions d'hygiène et à la qualité des installations individuelles ou collectives de vide-ordures par exemple.

Importance du rôle de l'humidité.

La figure n°13 est un rappel de quelques points qu'il faut conserver à l'esprit en matière d'humidité à l'intérieur des locaux. D'autre part, nous avons évoqué plus haut, au fur et à mesure que nous passions en revue les polluants, le rôle de l'humidité: nous donnons maintenant, sur la figure n°14, une synthèse des effets d'interaction de ce facteur humidité avec les divers polluants.

III. QUELQUES REFLEXIONS EN GUISE DE CONCLUSION.

Le chapitre précédent démontre donc - s'il en était besoin - combien la ventilation est un paramètre important dans la gestion de la qualité de l'air à l'intérieur des locaux, aussi bien directement qu'indirectement par le contrôle de l'humidité.

Les arguments en faveur de la prise en compte active du paramètre "qualité de l'air" (en plus, bien sûr, du paramètre "confort", généralement mieux reconnu) ne manquent pas, tous les partenaires sont concernés:

- Les Pouvoirs Publics (et assimilés): il est naturellement de leur mission de se préoccuper de la santé et du confort de la population.
- Les Professionnels: l'environnement est devenu maintenant un facteur de concurrence internationale, y compris par le biais des réglementations qui, dans le domaine de la pollution à l'intérieur des locaux, prennent une importance de plus en plus grande. D'autre part, en raison de l'image de marque souvent négative de la climatisation dans l'opinion publique française, l'environnement, pourvu qu'il soit pris en compte dans tous les secteurs de la Profession (dont celui de la ventilation des logements), est sans aucun doute un facteur de pénétration de ce secteur sur le marché français.
- Les Maîtres d'Ouvrages: il est clair que leur responsabilité morale est engagée vis-à-vis des populations concernées; mais au-delà de cet aspect, on peut affirmer que la sensibilité du public par rapport aux problèmes d'environnement et de santé ne peut que croître. Dès lors, ce public risque de devenir de plus en plus exigeant, surtout en ce qui concerne le logement, qu'il a le sentiment de mieux maîtriser.

* * *

*

Figure 1

- SOURCES DE POLLUTION INTERIEURE -

- ORIGINE EXTERIEURE : Radon et descendants (sol)
Polluants extérieurs
Polluants évaporés de l'eau d'alimentation
- MATERIAUX : Matériaux de construction
Revêtements (murs, tapis, moquettes...)
Meubles
- COMBUSTION : Tabagisme
Chauffages
Cuisinières et gazinières
- ETRES VIVANTS : Etres humains
(Métabolisme) Animaux de compagnie
Végétaux
- ACTIVITE et HYGIENE : Cuisine (cuisson)
Nettoyage
Systèmes de vide-ordures
Bricolage
Machines diverses
- SYSTEMES DE TRAITEMENT D'AIR (s'il y a lieu)

Figure 2

- PRINCIPAUX POLLUANTS INTERIEURS ET LEUR ORIGINE -

- RADON : Sous-sol du logement, matériaux de construction eau d'alimentation
- GAZ DE COMBUSTION : Appareils à gaz non ou mal ventilés, feux de bois
(CO, CO₂, NO_x, SO₂, HC,..) garages attenants, tabagisme
- AEROALLERGENES : Animaux de compagnie, végétaux (pollen,
(biologiques et chimiques) spores), moisissures,
« poussière de maison », acariens
- MICRO-ORGANISMES : Animaux, végétaux, humains, humidificateurs,
(bactéries, virus, fungi, tapis, toilettes, vide-ordures,
protozoaires) équipements de traitement d'air
- PARTICULES RESPIRABLES : Tabagisme, cuisson, combustions mal
ventilées, revêtements, diffuseurs d'aérosols,
poussières en suspension
- FIBRES : Isolation, matériaux de construction,
(amiantes, minérales, synthét.) matériaux « anti-feu », meubles, revêtements
- FORMALDEHYDE : Panneaux de particules, contre-plaqués,
isolation (urée-formaldéhyde),
matériaux de construction synthétiques,
adhésifs, tabagisme
- COMPOSES ORGANIQUES : Matériaux de construction synthétiques,
solvants, adhésifs, meubles, peintures,
agents de nettoyage, aérosols, tabagisme

Figure 3

- ORDRES DE GRANDEUR DE LA POLLUTION INTERIEURE -

Polluants	Gamme de concentrations	Rapport Concentr. Int./concentr. Ext.
A) GAZEUX		
RADON et descendants	10-3000 Bq/m ³	>> 1
CO	1-100 mg/m ³	> 1
NO ₂	0,05-1 mg/m ³	> 1
SO ₂	0,02-1 mg/m ³	< 1
CO ₂	600-9000 mg/m ³	>> 1
O ₃	0,04-0,4 mg/m ³	≈ 1 (Bureaux < 1 Avions > 1)
FORMALDEHYDE	0,05-2 mg/m ³	> 1
COMPOSES ORGANIQUES	?	> 1
B) PARTICULAIRES (inertes et biologiques)		
PARTICULES RESPIRABLES	0,05-0,7 mg/m ³	> 1
AMIANTES	< 10 ⁶ fibres/m ³	> 1
MICRO-ORGANISMES	?	> 1

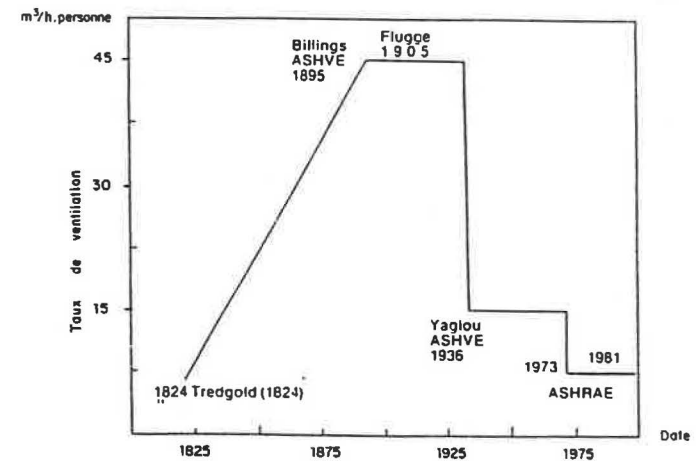
Figure 4

**- OBJECTIFS GENERAUX DE VENTILATION -
(Ventilation naturelle ou mécanique)**

- CONDENSATIONS : Eviter condensations sur les parois froides (murs, fenêtres...)
- CONFORT :
Température
Humidité relative
Odeurs
- SANTE :
Eliminer bioeffluents (métabolisme)
Eliminer polluants non biologiques
- ENERGIE : Minimiser la consommation

CONCLUSION : Le problème consiste à concilier des objectifs souvent contradictoires...

- HISTORIQUE DES STANDARDS DE VENTILATION -



(Origine : MEYER 1984)

Figure 6

- EFFETS DE CO SUR LA SANTE -

La teneur du sang en COHb dépend du couple
« concentration CO - durée d'exposition »

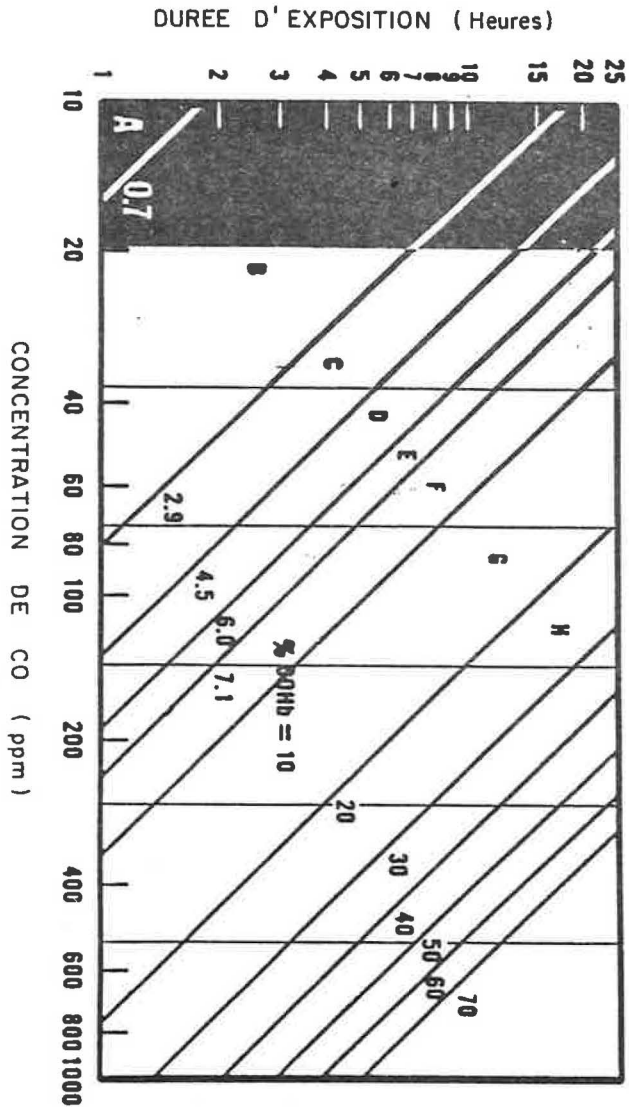
% COHb	Effets
0,3-0,7	Norme physiologique habituelle non-fumeurs
0,7-2,9	Pas de modification prouvée dans les fonctions
2,9-4,5	Affecte système cardio-vasculaire chez cardiaques
4-6	Affecte comportement (vigilance, lassitude,...), norme habituelle fumeurs
7-10	Effets cardio-vasculaires chez adultes sains
10-20	Légers maux de tête, lassitude, essoufflement, atteintes potentielles du fœtus
20-30	Sévères maux de tête, nausée, dextérité mains anormale
30-40	Sévères maux de tête, irritabilité, jugement défaillant, troubles vision, vomissements, faiblesse musculaire
40-50	Perte de conscience, convulsions, coma
60-70	Coma, réduction des fonctions cardiaque et respiratoire généralement fatal

(Origine : EPA, USA, 1984)

Figure 5

- TAUX DE COHB DANS LE SANG -

Fonction du couple « Concentration CO - Durée d'exposition »



(Origine : AMMAN et al., 1986)

Figure 12 - LES BIOALLERGENES -

LEUR NATURE :

- . « Poussière de maison »
- . Acariens
- . Animaux domestiques (et litières...)
- . Moisissures (nombreuses espèces)
- . Plantes, pollen

AGENTS FAVORISANT LEUR DEVELOPPEMENT :

- . Moquettes, tissus...
- . Humidité excessive (murs, moquettes,...)
- . Eaux stagnantes (tièdes)

LE CAS DE LA CLIMATISATION DES IMMEUBLES :

2 effets contradictoires :

- . Epuration par filtrage (notamment vis-à-vis des pollens et moisissures extérieurs)
- . Développement de moisissures dans les circuits (défauts de conception, installation, entretien...)

CONSEQUENCES SUR LA SANTE :

- Irritation des muqueuses (nez, pharynx, rhino-pharynx)
- Allergies spécifiques (asthme, rhinites)
- Populations à risques :
 - . atopiques (asthmatiques,...)
 - . population hospitalière

Figure 13 - HUMIDITE RELATIVE (HR) -

SOURCES : Lien avec tempé et humidité extérieures
Métabolisme humains, animaux, végétaux
Activités (bain, cuisson, lavage, séchage...)
Combustions

REDUCTIONS : Dilution avec air extérieur plus sec
Condensation sur surfaces froides
Absorption-adsorption par tissus, moquettes...

CONFORT : Gamme généralement acceptable associant à la fois température et humidité :

- . Température : 20 à 22°C
- . Humidité relative : 40 à 60 %

Figure 14

- HUMIDITE ET INTERACTIONS -

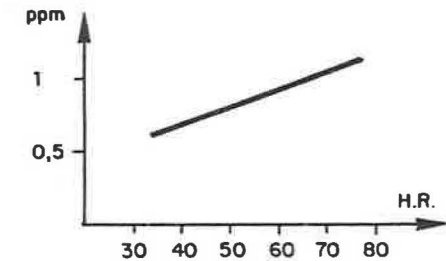
MICRO-ORGANISMES :

Développement populations microorganismes (moisissures, fungi, levures, acariens,...) quand humidité relative > 50 %.

- ⇒ Risques d'allergies et affections respiratoires diverses.
Limites à viser : 40 à 70 % d'humidité relative.
Eviter condensations, eau stagnante.

FORMALDEHYDE :

Concentration augmente avec humidité (GODISH-1986)



PARTICULES INERTES ET AEROSOLS :

- Réactions chimiques diverses après absorption, adsorption.
Accroissement dégradation des fibres des tapis synthétiques.
⇒ Augmentation quantité fibres en suspension.

RADON :

- Charges électriques favorisent agglomération humidité en fines gouttelettes.
⇒ Pénétration et fixation radon dans les poumons.

OZONE :

Durée et intensité de l'activité de O3 dépendent de l'humidité.