

Roger Cadiergues

LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR



(Guide RefCad : nR15.a)



La loi du 11 mars 1957 n'autorisant, aux termes des alinéas 2 et 3 de l'article 41, d'une part que les «copies ou reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective», et d'autre part que les analyses et courtes citations dans un but d'exemple et d'illustration «toute reproduction intégrale, ou partielle, faite sans le consentement de l'auteur ou de ses ayants droit ou ayants cause, est illicite».

TABLE DES MATIÈRES DU GUIDE

<i>Contenu</i>	<i>page</i>
1. La qualité de l'air : les bases	3
1.1. Les deux pôles de la qualité de l'air	3
1.2. Ventilation et qualité de l'air	3
1.3. Le classement des contaminants	3
1.4. Les aspects réglementaires et normatifs	4
1.5. Les sources de contamination	4
1.6. L'expression des concentrations	5
1.7. Le cadre réglementaire	5
1.8. Le nouveau décret d'encadrement	6
1.9. Le premier décret d'application	6
1.10. Les décrets antérieurs	7
2. Le dioxyde de carbone (CO₂)	8
2.1. Le rôle du CO ₂ humain	8
2.2. L'action du dioxyde de carbone	9
2.3. De l'occupation aux débits de ventilation	9
3. Les odeurs	11
3.1. Les odeurs bases de la ventilation	11
3.2. Les odeurs spécifiques	12
3.3. Exemple d'odeurs caractéristiques	13
3.4. Olf's et décipols	14

<i>Contenu</i>	<i>page</i>
4. Les polluants gazeux	15
4.1. La pollution gazeuse	15
4.2. Panorama des gaz contaminants	16
4.3. Les concentrations limites	16
4.4. Le problème de l'oxygène	17
4.5. Les composés organiques volatils (COV)	18
4.6. Le monoxyde de carbone (CO)	19
4.7. Le cadre réglementaire du CO	20
5. La contamination particulaire	23
5.1. Les interdictions réglementaires	23
5.2. Les contaminants particulaires	23
5.3. Face à la pollution particulaire	24
5.4. L'action de l'arbre respiratoire	25
5.5. Le rôle de la pollution extérieure	26
6. La radioactivité et le radon	28
6.1. La radioactivité	28
6.2. L'élimination du radon	29
6.3. La mesure du radon	30
6.4. Les risques liés au radon	31
6.5. Le classement géographique	31

LE CADRE DE CE GUIDE

Ce guide ne traite que des principes et des motifs, les techniques de ventilation utilisables pour l'élimination du radon étant traitées en guide spécialisé.

Chapitre 1

1. LA QUALITÉ DE L'AIR : LES BASES

1.1. LES DEUX PÔLES DE LA QUALITÉ DE L'AIR

UNE DISTINCTION FONDAMENTALE

Il est très important de distinguer :

- la **qualité de l'air extérieur**, faisant référence le plus souvent à la «*pollution atmosphérique*», sur laquelle vous trouverez des détails au chapitre 6 ;
- et la **qualité de l'air intérieur**, sur laquelle vous trouverez des détails aux chapitres 2 à 5.

EVITER LES AMBIGUÏTÉS

Même si on se limite à la qualité de l'air intérieur, il est important de distinguer :

- . la qualité vue sous l'angle de la protection de la **santé**,
- . et la qualité vue sous l'angle de la **satisfaction** et du **confort**.

Dans les deux cas la qualité de l'air intérieur est perturbée par ce que nous appellerons globalement les **contaminants**, le vocabulaire adopté - propre au présent mémento - distingue :

- . les **polluants**, dangereux pour la **santé**,
- . et les «*altérants*», qui ne concernent pas la santé, mais plutôt le **confort** et l'agrément des ambiances.

1.2. VENTILATION ET QUALITÉ DE L'AIR

UNE CONFUSION FRÉQUENTE

Il est très fréquent que l'on confonde les deux termes «*ventilation*» et «*qualité de l'air*». Il est vrai que la ventilation contribue à cette qualité, mais la ventilation n'est pas le seul moyen : dans certains cas il est absurde de vouloir traiter les problèmes de qualité de l'air par la ventilation.

LA QUALITÉ DE L'AIR ET LA VENTILATION

Quand on parle de «*qualité de l'air*» il s'agit implicitement de l'*air intérieur*. Cette qualité se mesure par le contenu plus ou moins important en éléments gênants.

La détérioration de la qualité de l'air intérieur des locaux «humains» a généralement deux origines :

- . l'**occupation humaine** d'une part, à travers ses propres dégagements et à travers ceux directement liés à son activité normale ou à l'air extérieur utilisé pour la respiration,
- . d'autre part les dégagements d'altérants par des **produits spécifiques** : *matériaux de construction*, d'aménagement ou mobilier (peintures incluses), *produits extérieurs* introduits accessoirement (produits de nettoyage, produits de toilette, etc).

Il est logique, et souhaitable pour de multiples raisons :

- . de traiter les sources liées à l'occupation au travers des **ventilations**,
- . de traiter ce qui est lié à l'usage de produits spécifiques au travers d'une **discipline de ces produits**.

1.3. LE CLASSEMENT DES CONTAMINANTS

LES TROIS TYPES DE BASE

Nous en distinguerons trois catégories principales :

- . les contaminants gazeux,
- . les contaminants particulaires (inertes),
- . les contaminants biologiques, ou «*biocontaminants*».

1. Les **contaminants gazeux** agissent généralement sur le système **respiratoire**, plus rarement sur la peau ou le système digestif. Avec, dans certains cas par effet **radioactif**, ce dernier aspect étant traité à part (voir chapitre 4).

2. Les **contaminants particuliers** sont des particules inertes (dites souvent «**poussières**»), agissant essentiellement sur le système respiratoire ou sur le peau. La taille de ces particules (leur granulométrie) joue un rôle souvent essentiel. Pour caractériser ces suspensions nous n'utiliserons pas ici - contrairement à une pratique assez fréquente - le terme «**aérosol**», que nous réserverons aux suspensions solides ou liquides de caractère général.

3. Les **biocontaminants** sont des suspensions dans l'air (*bactéries* ou *virus*) pouvant donner lieu à de multiples effets sur le corps humain. Ils ne concernent normalement que les ambiances médicales ou

1.4. LES ASPECTS RÉGLEMENTAIRES ET NORMATIFS

LES TEXTES RÉGLEMENTAIRES

Les textes réglementaires actuellement valables sont présentés et analysés plus loin (§ 1.6 sq.).

LES NORMES FONDAMENTALES DE LA QUALITÉ DE L'AIR DANS LE BÂTIMENT

Les normes de la qualité de l'air dans les bâtiments sont les suivantes :

- * NF X43-001 (août 1982) : Qualité de l'air - Vocabulaire
- * XP X43-401 (décembre 1998) : Qualité de l'air - Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels - Bâtiments à usage de bureaux et locaux similaires
- * XP X43-403 (décembre 1999) : Qualité de l'air - Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels - Bâtiments à usage d'habitation et locaux similaires
- * XP X43-405 (février 2006) : Qualité de l'air - Audit de la qualité de l'air dans les piscines
- * XP X43-407 (mars 2006) : Qualité de l'air - Audit de la qualité de l'air dans les locaux non industriels - Bâtiments à usage d'enseignement.

LA NORME CLÉ NF X43-001 : LE VOCABULAIRE

C'est une norme relativement volumineuse, assez complète sauf pour le vocabulaire des séparateurs aérauliques, pour lesquels la norme NF X43-001 renvoie à la norme NF X44-001 (de février 1981). Nous utiliserons généralement les définitions normalisées, mais avec des extensions ou des précisions qui ne figurent pas dans la norme. La liste des contaminants les plus courants figure au paragraphe suivant.

L'EXPRESSION DES CONCENTRATIONS

Cette expression varie selon la nature des contaminants :

- . pour les *contaminants gazeux* il existe plusieurs unités présentées à la suite ;
- . pour les *contaminants particuliers*, l'unité courante est le **milligramme par mètre cube** (mg/m³), mais il est important de l'indiquer par catégorie de dimension, sinon l'expression n'a pas beaucoup de sens ;
- . pour les **biocontaminants** il n'existe guère de mesure de concentration significative (voir chapitre 5).

1.5. LES SOURCES DE CONTAMINATION

LES CONTAMINANTS COURANTS

Le types les plus courants sont ceux du tableau ci-dessous, d'autres contaminants étant éventuellement présents, mais alors en faible quantité ou dans des circonstances très particulières. para-médicales.

LES PRINCIPALES SOURCES DE POLLUTION INTÉRIEURE : LES CONTAMINANTS

Air extérieur : SO₂, NO_x, O₃, CO, particules, composés organiques, métaux, odeurs

Occupants non fumeurs : CO₂, odeurs, bactéries,

Occupants fumeurs : CO₂, odeurs, bactéries, CO, NO₂, composés organiques, particules

Matériaux de construction : radon, aldéhydes, fibres, composés organiques volatils, odeurs

Circuits aérauliques : poussières, microorganismes, odeurs

Sol : radon, composés organiques volatils, odeurs

Eau : radon, composés organiques volatils

Meubles : aldéhydes, composés organiques volatils, fibres, odeurs

Machines de bureau : composés organiques, particules, ozone, odeurs

Combustions : NO_x, SO₂, CO₂, CO, composés organiques, particules, métaux, odeurs

Animaux : microorganismes, allergènes, odeurs

Plantes : spores, pollens, allergènes, odeurs

Divers : ammoniac, composés organiques volatils, poussières, microorganismes, odeurs

FACE AUX RISQUES PRINCIPAUX

En excluant les aspects plus secondaires, les risques principaux sont les suivants :

- . ceux des contaminants provoquant des **gènes** pouvant devenir inadmissibles,
- . ceux des contaminants **toxiques**,
- . ceux des contaminants **radioactifs**,
- . ceux présentant des risques d'**inflammation** et/ou d'**explosion**.

Ces différentes catégories sont prises en compte par la réglementation dans la plupart des pays développés.

1.6. L'EXPRESSION DES CONCENTRATIONS

LES DEUX EXPRESSIONS DES CONCENTRATIONS GAZEUSES

La concentration d'un gaz quelconque dans l'air se mesure de deux manières différentes.

1. La concentration est souvent exprimée en **fraction molaire**, c'est à dire en rapport du nombre de molécules du gaz envisagé au nombre total de molécules (d'air) auquel il est mélangé. Ce rapport est couramment exprimé en **millionième**, ou **ppm** («partie par million»). Quand le gaz est très dilué on utilise également le **millardième**, ou **ppb** (partie par billion, le billion étant le milliard anglais).
2. Cette concentration peut également être mesurée en masse par unité de volume, en fait la plupart du temps en **milligramme par mètre cube** (mg/m^3), parfois - quand la teneur est faible - en **microgramme par mètre cube** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

LES CONVERSIONS

Lorsqu'il faut convertir les données d'une unité en l'autre, il suffit d'utiliser les relations suivantes, où m^M [kg/kmol] est la masse molaire du gaz en cause :

- . pour convertir des [ppm] en [mg/m^3] multiplier par ($m^M/24,45$),
- . pour convertir des [ppb] en [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] multiplier également par ($m^M/24,45$).
- . pour convertir des [mg/m^3] en [ppm] multiplier par ($24,45/ m^M$),
- . pour convertir des [$\mu\text{g}/\text{m}^3$] en [ppb] multiplier par ($24,45/ m^M$)

LES POLLUANTS TOXIQUES OU GÊNANTS : LA PRISE EN COMPTE DES RISQUES

Pour bien des risques liés à la mauvaise qualité de l'air due à la présence de gaz ou vapeurs il existe, dans tous les pays développés (souvent avec des particularités nationales) des tables indiquant - à ne pas dépasser - les concentrations limites (dans l'air) de gaz et particules, classés généralement par nature chimique de polluant. La plupart de ces tables ont été établies dans le cadre de la réglementation du travail. Outre éventuellement d'autres données, ces tables fournissent, par exemple, par polluant gazeux :

- . la valeur limite (dans tous les cas) pour une **exposition immédiate**,
- . et pour les **ambiances continues de travail** :
 - la valeur limite pour une expositions rapide (0,5 à 1 h par jour)
 - la limite («**VME**» = valeur moyenne d'exposition) pour une exposition moyenne pendant la durée du travail (8 h par jour),
 - la limite («**VME**» = valeur limite d'exposition) maximale pour toute exposition au gaz en cause.

1.7. LE CADRE RÉGLEMENTAIRE

LE TEXTE TRADITIONNEL

La réglementation plus ou moins traditionnelle découle du texte suivant.

Décret n° 87-149 du 6 mars 1987 fixant les conditions minimales de confort et d'habitabilité auxquelles doivent répondre les locaux mis en location

1° . Les logements à usage d'habitation ou la partie de locaux à usage mixte professionnelle et d'habitation destinée à l'habitation doivent présenter les caractéristiques ci-après :

A Composition et dimensions : *pour mémoire*

B Ouverture et ventilation. Toute pièce d'habitation est pourvue d'un ouvrant donnant à l'extérieur du bâtiment permettant une aération et un éclairage suffisants et assurant le bon usage du logement et la conservation du bâtiment. Toute pièce de service est pourvue d'un ouvrant donnant à l'extérieur du bâtiment ou, à défaut, est équipée d'un système d'évacuation débouchant à l'extérieur du bâtiment et assurant le bon usage du logement et la conservation de ce bâtiment ;

C Cuisine ou coin cuisine : *pour mémoire*

D Salle d'eau et cabinet d'aisances : *pour mémoire*

E Gaz et électricité : *pour mémoire*

E Eau : *pour mémoire*

UNE SITUATION NOUVELLE

Bien que le sujet ne date pas d'aujourd'hui il faut noter que les pouvoirs publics ont mis assez longtemps à intégrer, de façon systématique, la protection de la santé liée à la qualité de l'air intérieur au plan législatif comme au plan réglementaire. La situation commence à changer, en décembre 2011, au moment de la rédaction du présent mémento. De ce fait la présentation qui suit devra certainement être mise à jour régulièrement. En fait il existe déjà des textes réglementaires concernant le problème en cause, mais ils ne bénéficient pas du nouveau cadre

LE CADRE RÉGLEMENTAIRE NOUVEAU

Le cadre réglementaire nouveau est fixé par un décret (n° 2011-1728) du 2 décembre 2011, ce décret étant présenté au paragraphe **1.8**.

En fait, pour être pleinement efficace le décret précédent doit être accompagné de décrets d'application : il en existe un premier, (n° 2011-1727) datant également du 2 décembre 2011, concernant deux polluants principaux (la formaldéhyde et le benzène), ce décret étant présenté au paragraphe **1.9**.

1.8. LE NOUVEAU DÉCRET D'ENCADREMENT

Ce décret couvre la création de nouveaux articles du code de l'environnement (livre II, titre II, chapitre 1), sous la forme d'une section 5 (*Qualité de l'air intérieur*), avec des dispositions essentiellement administratives (sous-section 3 : *Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public*).

Décret du 2 décembre 2011. Surveillance de la qualité de l'air intérieur dans certains établissements recevant du public

Art. R. 221-30.

I. Les propriétaires, ou, si une convention le prévoit, l'exploitant des établissements publics ou privés ... sont tenus de faire procéder à leur frais, à une surveillance de la qualité de l'air à l'intérieur des locaux de leur établissement. Cette surveillance est à renouveler dans les sept ans suivant la réception des résultats de mesure de la précédente campagne de surveillance, sauf lorsqu'au moins pour un polluant mesuré le résultat des analyses effectuées dépasse les valeurs fixées par le décret prévu au III. Dans ce dernier cas, la surveillance de l'établissement est à renouveler dans un délai de deux ans. ... (*cas des propriétaires non identifiés*).

II. Les catégories d'établissements concernés par cette obligation sont les suivantes :

- 1° Les établissements d'accueil collectif d'enfants de moins de six ans ;
- 2° Les accueils de loisirs mentionnés à l'article ... du code de l'action sociale et des familles ;
- 3° Les établissements d'enseignement ou de formation professionnelle du premier et du second degré ;
- 4° Les structures sociales et médico-sociales rattachées aux établissements de santé visés à l'article ..., ainsi que les structures de soins de longue durée de ces établissements ;
- 5° Les établissements mentionnés aux articles ... du code de l'action sociale et des familles ;
- 6° Les établissements pénitentiaires pour mineurs, quartiers des mineurs des maisons d'arrêt ou des établissements pour peines mentionnés ... ;
- 7° Les établissements d'activités physiques et sportives couverts dans lesquels sont pratiquées des activités aquatiques, de baignade ou de natation.

Sont exclus les locaux à pollution spécifique visés à l'article R. 222-3 du code du travail.

III. La surveillance de la qualité de l'air intérieur comporte une évaluation des moyens d'aération des bâtiments et une campagne de mesure des polluants.

Pour chaque catégorie d'établissement sont fixés par décret :

- 1° Le contenu de l'évaluation des moyens d'aération et ses modalités de réalisation ;
- 2° Les valeurs au-delà desquelles des investigations complémentaires doivent être menées par le propriétaire ou, le cas échéant, l'exploitant de l'établissement et au-delà desquelles le préfet du département du lieu d'implantation de l'établissement doit être informé des résultats.

Art. R. 221-31.

L'évaluation mentionnée ... (*article R. 221-30 précédent*) ... et les prélèvements et les analyses ... sont réalisés par des organismes accrédités ...

Articles R. 221-32 à R. 221-37 ... (*dispositions administratives*).

Art. R. 226-16 ... (*dispositions administratives et modification de l'organisation du code de l'environnement*).

1.9. UN PREMIER DÉCRET D'APPLICATION

Ce décret concerne deux polluants principaux : la formaldéhyde et le benzène. Il est rédigé comme suit.

Décret du 2 décembre 2011. Valeurs-guides pour l'air intérieur pour le formaldéhyde et le benzène (*extraits*)

Art. R. 221-29.

I. Les valeurs-guides pour l'air intérieur mentionnées à l'article L. 221-1 (*du code de l'environnement*) sont fixées au tableau annexé (*voir plus loin*)

II. Au sens du présent titre, on entend par « valeur-guide pour l'air intérieur » un niveau de concentration de polluants dans l'air intérieur fixé, pour un espace clos donné, dans le but d'éviter, de prévenir ou de réduire les effets nocifs sur la santé humaine, à atteindre, dans la mesure du possible, dans un délai donné.

Annexe (simplifiée).

Substance	Valeur-guide pour l'air intérieur	
Formaldéhyde	30 µg/m ³ pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2015	10 µg/m ³ pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2023
Benzène	5 µg/m ³ pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2013	2 µg/m ³ pour une exposition de longue durée à compter du 1er janvier 2016

1.10. LES DÉCRETS ANTÉRIEURS

Les décrets précédents correspondent à un nouvelle organisation des textes juridiques, mais il existe déjà des textes (non coordonnés) couvrant les polluants les plus dangereux, traités aux chapitres ultérieurs. Ce sont :

- . pour les *polluants gazeux*, essentiellement le **monoxyde de carbone** (CO),
- . pour les *polluants particulaires*, l'**amiante** et la **fumée de tabac**,
- . pour les *pollutions radioactives*, essentiellement le **radon**.

Chapitre 2

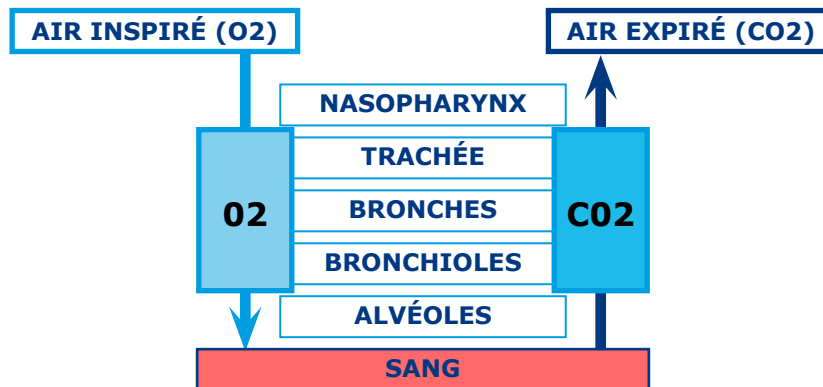
2. LE DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

2.1. LE RÔLE DU CO₂ HUMAIN

En ventilation la teneur de l'atmosphère en dioxyde de carbone (CO₂) joue un rôle clé. Les raisons en sont les suivantes.

LE CO₂ DANS LA RESPIRATION

Dans la respiration le CO₂ joue le rôle illustré par le schéma ci-dessous.



L'air (inspiré) envoie de l'oxygène vers les poumons où ce gaz est absorbé par le sang au travers d'un phénomène assimilable à une véritable combustion, phénomène qui dégage une énergie correspondant au métabolisme. Le résidu gazeux de cette «combustion» est essentiellement du dioxyde de carbone (CO₂).

Le dioxyde de carbone n'est pas dangereux aux teneurs en cause, mais il permet d'évaluer le dégagement d'odeurs corporelles, qui est le critère le plus commode pour calculer les débits de ventilation.

L'UTILISATION DU CO₂ COMME CRITÈRE DE VENTILATION

Bien que de multiples solutions aient été envisagées pour caractériser la qualité de la ventilation (voir chapitre 3) la plus commode, datant de 1858, est due à Max von Pettenkofer aboutissant à la conclusion qu'une teneur en CO₂ de l'atmosphère est satisfaisante si la teneur en CO₂ ne dépasse pas 1000 ppm. En fait, compte-tenu - depuis 1850 - des changements corporels et de la teneur plus élevée de CO₂ à l'extérieur, il est aujourd'hui valable de prendre pour première orientation un débit humain n'entraînant pas, dans l'ambiance, une augmentation (et non pas une valeur finale) de 1000 ppm. D'où l'importance du débit humain de production de CO₂.

L'ÉVALUATION DU DÉGAGEMENT CORPOREL DE CO₂

Il est commode de rapporter ce dégagement au mètre carré de surface corporelle et au métabolisme surfacique, ce qui fait intervenir les données (surface du corps et métabolisme surfacique) présentées au chapitre 1 du mémento **nR21**, la surface dépendant essentiellement de la taille et de la masse du corps, le métabolisme surfacique dépendant de l'activité (voir chapitre 1 de **nR21** pour plus de détails et pour les formules et valeurs de calcul). Ces valeurs étant fixées, voici comment on peut évaluer le dégagement de CO₂.

1. Pour passer du métabolisme au débit d'oxygène consommé il suffit d'utiliser le pouvoir calorifique de l'oxygène, qui est de $20,2 \cdot 10^6$ [J/m³]. Un mètre carré de corps humain consomme donc le débit d'oxygène suivant :

$$M'' / 20,2 \cdot 10^6 \text{ [m}^3\text{/m}^2 \text{ s]}$$

M'' [W/m²] étant le métabolisme surfacique.

2. A chaque mètre cube d'oxygène absorbé correspond une quantité de dioxyde de carbone fournie par le «quotient respiratoire», qui varie légèrement avec l'activité physique, mais que nous pouvons prendre égal à 0,85 pour nos applications. De sorte qu'un mètre carré de corps humain rejette le débit de dioxyde de carbone suivant :

$$M'' / 23,75 \cdot 10^6 \text{ [m}^3/\text{m}^2 \text{ s]}$$

M'' [W/m²] étant le métabolisme surfacique.

Cette valeur - en tenant compte de surface corporelle et de l'activité (voir (voir chapitre 1 de nR21) - peut être utilisée pour calculer le dégagement de CO₂, et pour fixer les débits de ventilation souhaitables.

2.2. L'ACTION DU DIOXYDE DE CARBONE (CO₂)

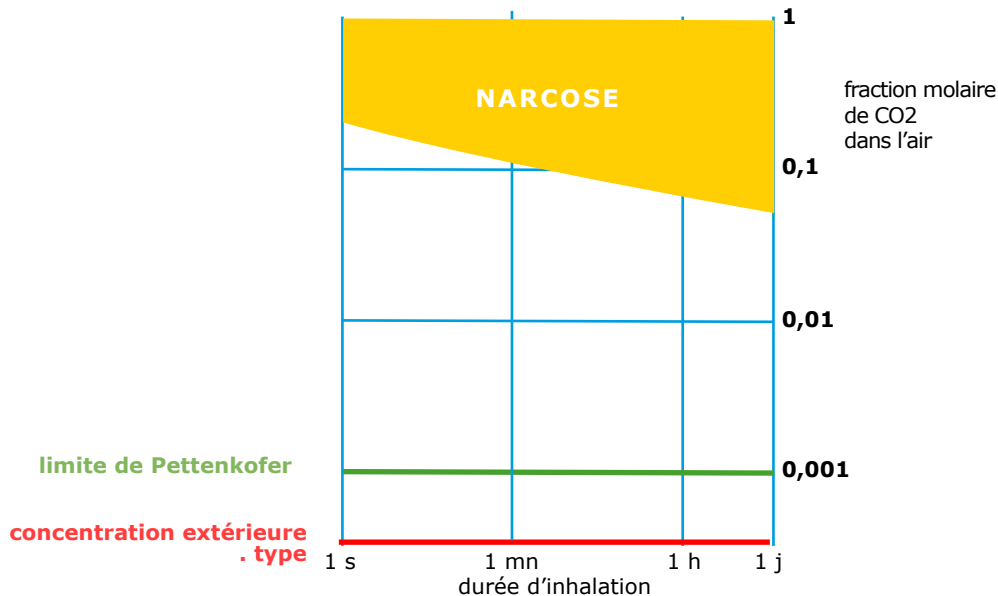
LES MODES D'UTILISATION DU CO₂ COMME CRITÈRE

Le dioxyde de carbone (CO₂) n'est pas, par lui-même, toxique, sauf à des concentrations très élevées (voir ci-dessous) où il provoque des narcoses. Le CO₂ permet, par contre, de repérer les dégagements d'odeurs corporelles ; c'est la raison pour laquelle c'est un indice simple d'emploi lorsqu'il s'agit de fixer les besoins de ventilation. C'est ainsi qu'il a été utilisé, en France, pour définir les besoins de base dans les locaux tertiaires (règlement sanitaire) ou professionnels (code du travail), étant entendu qu'il s'agit du CO₂ d'origine humaine (respiratoire). Aujourd'hui, pour exploiter convenablement cette base, il faut tenir compte de l'accroissement de la teneur extérieure en CO₂, plus élevée que jadis, ce qui conduit à des valeurs un peu différentes de celles de Pettenkofer.

Point important : la teneur en CO₂ peut en outre être valablement utilisée (grâce à des capteurs adéquats) pour la régulation des débits de ventilation lorsque ceux-ci peuvent être modulés.

LES CARACTÉRISTIQUES PATHOLOGIQUES DU CO₂

Bien que les teneurs fortes en CO₂ ne peuvent guère exister dans nos applications, il est néanmoins important d'en bien marquer les limites, ce qui est l'objet du diagramme suivant.



2.3. DE L'OCCUPATION AUX DÉBITS DE VENTILATION

LES ORIGINES DU SUJET

La qualité de l'air intérieur des locaux occupés, sans source spéciale d'odeurs spécifiques, repose sur une introduction suffisante d'air extérieur afin de limiter les effets (essentiellement olfactifs) de l'occupation, une source d'odeurs difficiles à quantifier. Pourtant Max von Pettenkofer a démontré, dès le milieu du dix-neuvième siècle, que l'élimination de ces odeurs pouvait être repérée par une concentration interne de CO₂ dans l'air limitée à une valeur qu'il a fixée à 1000 [ppm]. Étant donné qu'à cette époque la teneur en CO₂ de l'air extérieur était de l'ordre de moins de 400 ppm, cela revient à dire que les bioeffluents dégagés par l'occupation humaine ne doivent pas provoquer une hausse de plus de 600 ppm si l'on veut maintenir une qualité de l'air suffisante. Depuis les études de Pettenkofer aucune donnée nouvelle n'est venue contredire ce choix un peu grossier, et apparemment simpliste.

LE CO₂ INDICE DE QUALITÉ DE L'AIR EXTÉRIEUR

Prendre le CO₂ comme indice de qualité de l'air intérieur, seule technique ayant résisté au temps et à l'évolution de nos connaissances, présente deux grands avantages souvent méconnus.

1. En limitant à 600 [ppm] - éventuellement 800 ou 1000 - l'apport lié à l'occupation, on peut déterminer les débits d'air noeuud nécessaires en ventilation générale : c'est la solutions que nous avons proposée au Conseil Supérieur d'Hygiène lorsque - ver 1975 - il a fallu procéder à une révision valable du **Règlement Sanitaire Type**, les équipes chargées de la modernisation du **Code du Travail** ayant adopté la même démarche pour leur secteur. Vous en trouverez les bases quantitatives à la suite.

2. Le grand avantage de l'emploi du CO₂ comme indicateur est de permettre de moduler les installations de ventilation, qui sont alors **pilotées par des détecteurs de CO₂**, bien préférables aux détecteurs de présence parfois proposés.

DE L'OCCUPATION DES LOCAUX AUX DÉBITS DE VENTILATION GRÂCE AU CO₂

L'hypothèse que nous adoptons est que le dégagement de bioeffluents par l'homme est proportionnel à son dégagement de chaleur, c'est à dire à son *métabolisme M [W]*. L'organisme tirant son énergie de l'oxydation des aliments, chaque unité d'énergie correspond à la consommation d'une quantité bien déterminée d'oxygène aboutissant à une quantité bien déterminée de CO₂. La formation de CO₂ lors de la production de chaleur humaine est donc un indice direct du métabolisme, les calculs étant facilités par le fait que les données scientifiques sont, sur ce sujet, fort précises. Le métabolisme dépendant, à la fois, de l'activité physique des sujets et de leur volume (donc du sexe et de l'âge) il est aisé, compte tenu de la limite en CO₂ dégagé, de traduire les résultats sous forme de débits d'air neuf à fournir par occupant, en fonction de son activité physique et de son âge. Ce sont les valeurs que vous trouverez dans le tome 2 de ce guide. La table ci-dessous indique les valeurs les plus significatives (en tertiaire, non fumeurs).

<i>Locaux</i>		m ³ /h par personne
<i>d'enseignement</i>	maternelles, primaire et secondaire 1er cycle (classes, salles d'étude, labos)	15
	secondaire 2ème cycle, universitaire	18
	ateliers	18
<i>d'hébergement</i>	chambres collectives, dortoir, cellules salles de repos	18
<i>bureaux et assimilés</i>	bureaux courants, locaux d'accueil, bibliothèques, bureaux de poste, banques	18
<i>de réunion</i>	salles de réunion, de spectacle, de culte, clubs, foyers	18
<i>de vente</i>	boutiques, super- et hypermarchés	22
<i>de restauration</i>	cafés, bars, restaurants, cantines, salles à manger	22
<i>à usage sportif</i>	piscines (par sportif)	22
	autres que piscines (par sportif)	25
	par spectateur (en plus)	18

Chapitre 3

3. LES ODEURS

3.1. LES ODEURS BASES DE LA VENTILATION

Les odeurs jouent un rôle capital en matière de ventilation, mais il existe deux catégories d'odeurs, conduisant à deux types de ventilations : la ventilation générale et les ventilations spécifiques. Il est commode de commencer notre examen par la seconde catégorie. Auparavant nous allons examiner l'ensemble des problèmes posés par l'exploitation numérique des données sur les odeurs.

LES ODEURS SPÉCIFIQUES

Les odeurs et l'odorat ont fait l'objet de très nombreuses études, l'un des objectifs principaux étant souvent de tenter de définir un **niveau des odeurs**. Ces études sont celles qui peuvent servir à ce que nous avons appelé les «**ventilations spécifiques**», qui concernent ce que nous appellerons les «**odeurs spécifiques**». L'essentiel des études correspondantes est présenté au paragraphe suivant. Pour l'essentiel il en résulte qu'il n'existe pas de méthodes simple permettant de qualifier ces niveaux. De cde fait, dans tous les cas, le recours à des solutions simplifiées est souvent indispensable.

LES ODEURS GÉNÉRALES

L'application nous concernant en premier lieu - la ventilation générale - vise essentiellement à assurer une **qualité correcte de l'air intérieur**, liée avant tout à l'occupation humaine dans tous les cas que nous allons considérer à la suite. Il faut bien constater qu'il n'existe pas de base numérique totalement sûre pour définir la qualité de l'air dans ces conditions. On peut essayer de la mesurer par la plus ou moins grande satisfaction des occupants, mais on se heurte alors au fait que certains sujets sont beaucoup plus sensibles que d'autres.

Néanmoins, dans le passé, de multiples études ont été consacrées à ce sujet, et ont fait l'objet de publications diverses. Ici nous ne retiendrons que deux méthodes permettant de justifier quantitativement les débits de ventilation générale.

1. La première est celle de Max von Pettenkoffer. Elle date de 1858, mais reste manifestement très valable, surtout par rapport aux autres méthodes proposées ici ou là depuis 150 ans. Les procédures en résultant sont présentées au paragraphe **3.3**.

2. La deuxième démarche est celle de P. O. Fanger, mise au point à partir de 1980. Très abondante en formules et unités diverses, elle est souvent citée et reprise dans la littérature technique, mais - à notre avis - sans critiques suffisantes. Les démarches correspondantes sont présentées au paragraphe **3.4**.

LES OBSERVATIONS EMPIRIQUES

Au-delà même de tout examen scientifique (nous y revenons dans la fiche suivante) le bon sens révèle un certain nombre de faits essentiels qui sont les suivants. Certaines odeurs - la majorité d'entre elles probablement - est liée à la présence de matériaux tels que peintures diverses, linoléum, etc. Nous nous adaptons progressivement à toutes les odeurs, et la sensation «régresse» avec le temps, bien que la source d'odeur se maintienne au même niveau de dégagement. De façon très générale toute odeur se maintient même quand la source disparaît, ce qui est manifestement dû à l'absorption par les parois ou les objets des vapeurs. Très souvent - par exemple pour l'odeur de cigarette - l'intensité apparente de l'odeur est un peu plus faible quand l'humidité de l'air augmente. Très souvent l'intensité apparente de l'odeur s'affaiblit quand la température de l'air augmente.

L'ABSORPTION DES ODEURS

Il est souvent utile d'effacer les odeurs en utilisant des filtres absorbants sur l'air recyclé. Pour cela on utilise les absorbants énumérés au tableau suivant (page suivante).

Gaz (vapeurs) à absorber	Absorbant type	Imprégnation du filtre
vapeurs organiques, O ₃	charbon actif	aucune
composés organiques cycliques	alumine active silicagel	aucune aucune
SH ₂ , SO ₂	alumine active	MnO ₄ K
gaz acides	charbon actif NaOH + Ca(OH) ₂	aucune aucune
vapeur de mercure	charbon actif	Ag, I ₂ , S, KI
iode	charbon actif zéolithes	amines, I ₂ , KI ₃ aucune
dioxyde d'azote	charbon actif	CO ₃ NaH
vapeur d'eau,	silicagel	aucune

3.2. LES ODEURS SPÉCIFIQUES

LE FONCTIONNEMENT DE L'ODORAT

Les gaz (ou vapeurs) odorants possèdent généralement des masses molaires inférieures à 300. Leur concentration dans l'air se mesure en millièmes [ppm]. Une concentration qui peut - du moins pour certaines d'entre elles - être extrêmement faible (10⁻⁴ ppm par exemple pour la triméthylamine), rendant ainsi la mesure physique pratiquement impossible sauf en laboratoire très spécialisé.

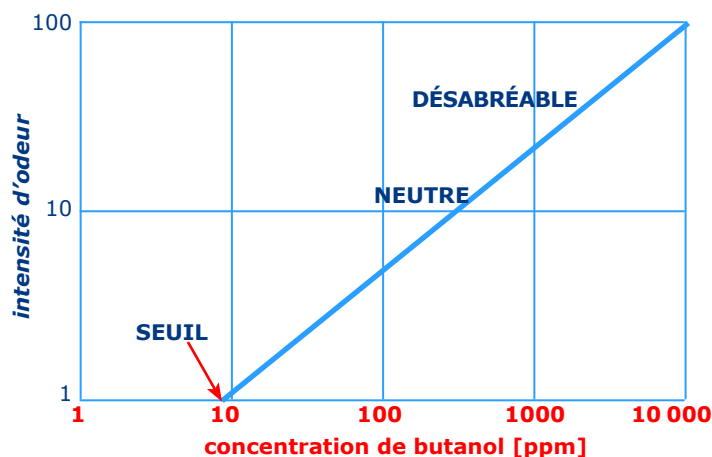
L'anatomie du site de l'odorat est connue avec précision. Mais son fonctionnement est difficile à traduire en règles simples, ce qui se comprend assez bien : l'essentiel étant constitué de cellules nerveuses très nombreuses (plus de 5 millions de neurones) qui peuvent réagir différemment selon les sujets. En effet certains sujets - pour des raisons de sexe ou de pathologie - possèdent des seuils extrêmement faibles. En effet, également, intervient la variabilité des flux hormonaux, plus ou moins spécifiques à chaque instant, qui jouent un rôle essentiel. Sur le plan général on compte plus de 4000 odeurs, mais chacun n'en peut reconnaître qu'un nombre limité.

LA MESURE DES SENSATIONS OLFACTIVES

Il est bien évident que - pour traduire les données physiologiques en chiffres utilisables dans nos applications - il est d'abord essentiel de tenter de parvenir à mesurer les sensations olfactives sous une forme ou sous une autre. On est ainsi amené à tenter de mesurer, pour chaque odeur, avec un olfactomètre adéquat, les caractéristiques suivantes :

- . le seuil de détection,
- . l'intensité,
- . la «qualité» (souvent plusieurs composantes).

Le schéma suivant fournit la présentation la plus fréquente, basée sur l'odeur de référence, celle du butanol (échelles logarithmiques).



On constate qu'on y définit trois niveaux : *seuil*, *neutre*, *désagréable*. Dans ce type d'olfactométrie la droite (pour toute matière) - en fonction du logarithme de concentration de la matière en cause - fournit la concentration de butanol équivalente pour la sensation observée.

D'AUTRES MODES D'EXPRESSION

Vous trouverez à la fiche suivante (**nE24.3**) deux autres présentations :

- . l'une est une table des **seuils** de contaminants courants,
- . l'autre est une autre définition (plus subjective) de l'**intensité** des odeurs.

D'une manière générale, lorsqu'on veut quantifier cette intensité d'odeur (S), on utilise la loi suivante (dite parfois loi de Steven) en fonction de la concentration C :

$$S = k C^n,$$

n étant un exposant (inférieur à 1) variant avec la matière en cause - ce qui rend la loi assez malcommode en dehors du fait qu'elle exprime mieux les phénomènes si l'on utilise les grandeurs logarithmiques.

AUTRES DONNÉES

Vous trouverez au paragraphe 3.4 :

- . une présentation sommaire des principales **sources** d'odeurs,
- . des indications (assez qualitatives) sur les **paramètres affectant** les odeurs.

3.3. EXEMPLES D'ODEURS CARACTÉRISTIQUES

LES SEUILS

Il existe, pour différents gaz, des données relativement constantes pour chacun. Ce qui conduit, par exemple, à établir la table suivante (ci-dessous) des seuils d'olfaction [mg/m^3] pour de nombreux gaz. Certains gaz ne figurent pas dans cette table (ex. monoxyde ou dioxyde de carbone, mercure, etc.) étant classés «non odorants».

Gaz odorant	Seuil d'olfaction [mg/m^3]	Gaz odorant	Seuil d'olfaction [mg/m^3]
Acétaldéhyde	1,2	Dioxyde d'azote	51
Acétone	47	Dioxyde de soufre	1,2
Acétonitrile	-	Disulfure de carbone	0,6
Acide sulfurique	1	Fluorure d'hydrogène	2,7
Acroléine	0,35	Formaldéhyde	1,2
Acrylonitrile	50	Heptane (n-)	2,4
Ammoniac	33	Méthanol	130
Benzène	15	Oxyde d'éthylène	200
Butanone (2-)	30	Ozone	0,2
Chlore	0,007	Phénol	0,18
Chloroforme	1,5	Phosgène	4
Chlorure d'allyl	1,4	Propane	1800
Chlorure de benzyl	0,2	Sulfure d'hydrogène	0,007
Chlorure de méthylène	750	Tétrachlorétance	24
Chlorure de vinyle	1400	Tétrachloréthylène	140
Chlorure d'hydrogène	12	Tétrachlorure de carbone	130
Cyanure d'hydrogène	1	Toluidène (o-)	24
Crésol (p-)	0,06	Toluène	8
Dichlorodifluorométhane	5400	Trichloréthane (1,1,1)	1,1
Dichlorure d'éthylène	25	Trichloréthylène	120
Diisocyanate de toluène	15	Xylène	2
Dioxane	300		

LES INTENSITÉS

Pour classer les intensités des odeurs on recourt généralement aux définitions suivantes permettant de distinguer 8 niveaux d'intensité. D'autres échelles existent, mais sont en général très voisines.

Echelle (logS)	signification concrète (niveau)
0	<i>pas d'odeur du tout</i>
1	<i>odeur juste décelable</i>
2,5	<i>odeur très légère</i>
5	<i>odeur légère</i>
7,5	<i>odeur assez légère mais nette</i>
10	<i>odeur affirmée</i>
12,5	<i>odeur forte</i>
15	<i>odeur très forte</i>

3.4. OLFS ET DÉCIPOLS

GRANDEURS ET UNITÉS

La théorie correspondante a été développée par O. Fanger. Bien que cette théorie soit souvent présentée comme valable pour l'évaluation des odeurs elle s'avère être en forte contradiction avec nos connaissances en matière d'odorat. En fait la plupart des utilisateurs de la théorie l'ont appliquée à la *ventilation générale* (hors odeur spécifique). Dans ce cas la théorie repose schématiquement sur les démarches suivantes (associées en fait à un grand nombre de formules mathématiques).

1. On utilise d'abord, comme unité de pollution olfactive de l'air, l'**olf**. Cette unité correspond - en ventilation générale - à la charge créée par un adulte type assis, mais n'est pas réellement quantifiée dans la théorie.

2. On mesure par ailleurs le degré de pollution (ressentie) de l'air en **décipols**.

3. Il est alors possible de calculer, dans un local donné, la qualité de l'air en décipol en fonction :
- du débit d'air neuf,
- et de la charge en olf.

4. On utilise ensuite une courbe, présentée comme générale, traduisant le *pourcentage d'insatisfaits* de la ventilation en fonction du niveau en décipols, l'intérêt de cette procédure étant ainsi de permettre de quantifier la **qualité de l'air intérieur**.

LES APPLICATIONS PRATIQUES

La méthode a permis - il y a un certain temps, de proposer une norme européenne de ventilation générale dont les recommandations se sont révélées si sévères que la norme a été rejetée. De ce fait la méthode que nous venons de décrire a surtout servi, jusqu'ici, à des études assez académiques. Aboutissant par exemple aux recommandations suivantes, assez difficilement exploitables (charge de 1 olf) :

- . qualité élevée de l'air intérieur : débit d'air neuf de 10 [l/s] = 36 [m³/h],
- . qualité «standard» de l'air intérieur : débit d'air neuf de 7 [l/s] = 25,2 [m³/h],
- . qualité minimale de l'air intérieur : débit d'air neuf de 4 [l/s] = 14,4 [m³/h].

A comparer avec la valeur de 18 [m³/h] pour les mêmes conditions dans la réglementation française actuelle.

Chapitre 4

4. LES POLLUANTS GAZEUX

4.1. LA POLLUTION GAZEUSE

LE CLASSEMENT DES ACTIONS

Les gaz plus ou moins toxiques ou gênants peuvent être classés dans l'une des quatre catégories suivantes, en fonction de leur nature et de leur concentration :

- . celle des **gaz toxiques**, essentiellement dangereux,
- . celle des **gaz nocifs**, pour la santé, sans être à proprement parler «toxiques»,
- . celle des **gaz gênants**, examinés au chapitre précédent,
- . celle des **gaz odorants**, examinés au chapitre précédent.

LES DEUX EXPRESSIONS DE LA CONCENTRATION

La concentration d'un gaz quelconque dans l'air se mesure de deux manières différentes.

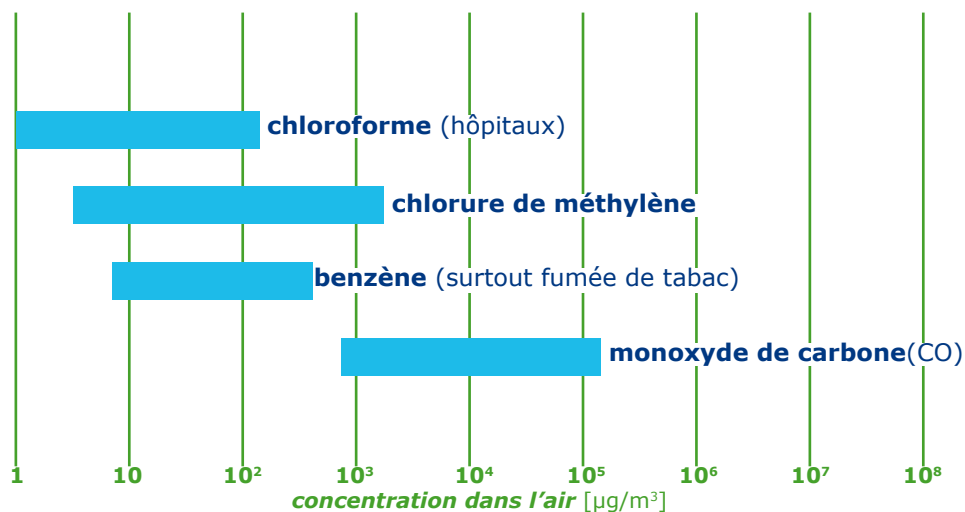
1. La concentration est souvent exprimée en **fraction molaire**, c'est à dire en rapport du nombre de molécules du gaz envisagé au nombre total de molécules (d'air) auquel il est mélangé. Ce rapport est couramment exprimé en **millionième**, ou **ppm** («partie par million»). Quand le gaz est très dilué on utilise également le **milliardième**, ou **ppb** (partie par billion, le billion étant le milliard anglais).

2. Cette concentration peut également être mesurée en masse par unité de volume, en fait la plupart du temps en **milligramme par mètre cube** (mg/m^3), parfois - quand la teneur est faible - en **microgramme par mètre cube** ($\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Pour les conversions éventuelles voir le chapitre 1.

LES CONCENTRATIONS COURANTES

Les gaz toxiques ou nocifs les plus courants, ainsi que leurs domaines de concentrations, sont indiqués au schéma suivant.



CONCENTRATIONS LIMITES

Il existe, dans tous les pays développés, souvent avec des particularités nationales, des tables indiquant les concentrations limites de contaminants. La plupart de ces tables ont été établies dans le cadre de la réglementation du travail. Vous en trouverez un exemple à la fiche suivante, avec - pour chaque gaz - des limites différentes selon qu'il s'agit de seuil olfactif ou de seuils de toxicité (variables selon les durées d'exposition), avec deux nuances pour les seuils admissibles (code du travail) :

- . le seuil de toxicité VLE pour une exposition rapide pendant la journée de travail,
- . le seuil de toxicité VME pour une exposition quasi-continue pendant la journée de huit heures.

4.2. PANORAMA DES GAZ POLLUANTS

LES POLLUANTS GAZEUX LES PLUS SIGNIFICATIFS

La table ci-dessous indique les polluants gazeux les plus fréquents. Attention : cette table est essentiellement informative, et il se peut que vous rencontriez d'autres exigences, en particulier lorsque les polluants ont des origines «externes» :

- . ceux émis par les *matériaux de construction*, en particulier les revêtements,
- . et ceux émis par les *produits d'hygiène ou de nettoyage*, plus ou moins mal contrôlés par l'occupant.

Acétaldéhyde	Chlorure de méthyle	NO2
Acétone	Chlorure de méthylène	Nonane
Acide nitrique	Chlorure de vinyle (mono)	Ozone
Acide sulfurique	Décane	Phénol
Alkane (C ₁₀ -)	Dichlorure d'éthylène	Propane
Ammoniac	Dioxane	Propanol (2-)
Benzène	Ethyl benzène	SO2
Benzaldéhyde	Formaldéhyde	Tétrachloréthane
Butanol	Heptane (n-)	Tétrachloréthylène
Butanone (2-)	Héxanal	Toluène
Chlorure de vinyle	HS2	Trichloroéthane
C Cl4	Limonène	Trichloroéthylène
CO	Mercure (vapeur)	Triméthylbenzène
CO ₂	Méthane	Undécane
CS ₂	Méthanol	Xylène
Chloroforme	NO	

LA PRISE EN COMPTE NUMÉRIQUE (LES CONCENTRATIONS MAXIMALES)

Le traitement des contaminants gazeux, bien que ces derniers soient de mieux en mieux connus, se heurte à trois difficultés.

1. Les limites à adopter varient beaucoup selon les sources et selon les régions. De ce fait quand - par exemple - figurent des recommandations dans les normes européennes, celles-ci peuvent souvent être difficilement admises comme des règles intangibles.
2. De plus les recommandations sont souvent fluctuantes avec le temps, avec une tendance à la réduction progressive des concentrations maximales recommandées - une source supplémentaire de difficultés.
3. En outre il apparaît souvent des limites différentes selon que les textes réglementaires concernent par exemple, d'un côté le secteur du travail et de l'autre le secteur tertiaire.

4.3. LES CONCENTRATIONS LIMITES

UN EXEMPLE DE TABLE

La table de la page suivante indique les concentrations limites des gaz toxiques les plus importants, présentées selon la durée d'exposition, cette table n'étant pas la table réglementaire française mais une illustration rationnelle et générale.

CONVERSION DES VALEURS

Les concentrations indiquées dans la table précédente sont exprimées en mg/m³. Dans bien des cas on utilise d'autres unités, en particulier les suivantes :

- . le «**ppm**», millionième en volume,
- . le «**ppb**», milliardième en volume,

Pour les *convertir les concentrations* utilisez les formules suivantes :

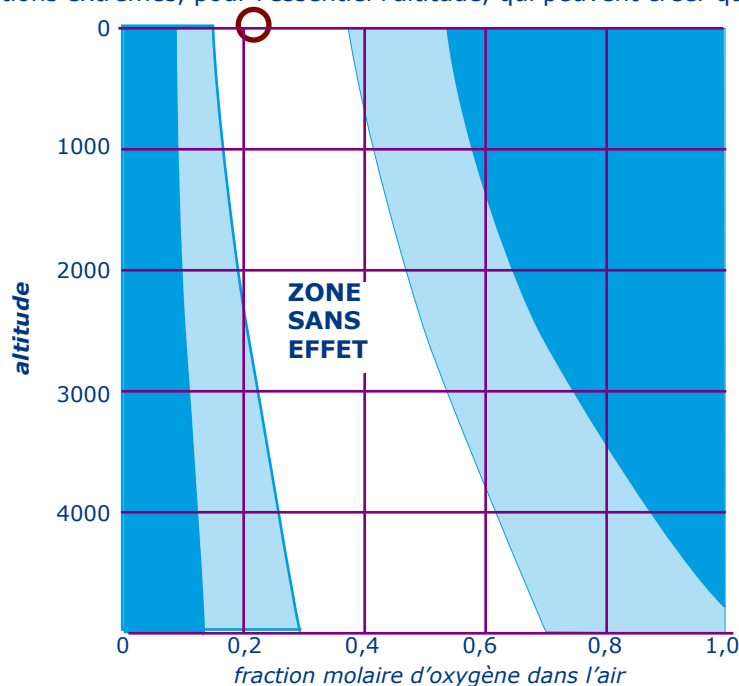
- . pour obtenir des «**ppm**» multipliez les mg/m³ par ($m^M / 22,45$),
 - . pour obtenir des «**ppb**» multipliez les mg/m³ par ($1000 m^M / 22,45$).
- m^M étant la masse molaire du gaz contaminant.

Substance		Concentrations limites [mg/m ³]				
	Masse molaire	Seuil olfactif	En général, exposition		Travail (8 h par jour)	
			immédiate	rapide (0,5 à 1 h)	VLE	VME
Acide chlorhydrique (HCl)	36,46	70	5 000	2 000	7	-
Acide cyanhydrique (HCN)	27,03	-	300	120	10	2
Ammoniac (NH ₃)	17,03	35	4 000	1 500	36	18
Anhydride sulfureux (SO ₂)	64,07	10	5 500	1 000	10	5
Arsine (AsH ₃), (hydrogène arsénié)	77,93	-	250	25	0,8	0,2
Benzène (C ₆ H ₆)	78,11	1000	60 000	25 000	25 (indicatif)	
Brome (Br ₂)	159,83	35	5 500	50	0,7	-
Bromure de méthyle (CH ₃ Br)	94,95	-	80 000	8 000	80 (indicatif)	
Chlore (Cl ₂)	70,91	10	2 500	120	3	-
Chloroforme (CHCl ₃)	119,39	-	350	100	250	25
Chlorure d'éthyle (C ₂ H ₅ Cl)	64,52	-	400 000	200 000	2 500 (indicatif)	
Chlorure de méthyle (CH ₃ Cl)	50,49	-	300 000	150 000	210	105
Dioxyde de carbone (CO ₂)	44,01	-	400 000	100 000	9 000 (indicatif)	
Ether éthylique (C ₂ H ₅ -O-C ₂ H ₅)	74,12	1	120 000	30 000	120 (indicatif)	
Monoxyde d'azote (NO)	30,09	10	450	60	9 (indicatif)	
Monoxyde de carbone (CO)	28,01	-	6 000	2 000	55 (indicatif)	
Oxychlorure de carbone (COCl ₂)	98,92	20	800	30	0,4 (indicatif)	
Phosphure d'hydrogène (PH ₃)	165,85	4	1 700	600	0,4	0,13
Sulfure de carbone (CS ₂)	76,14	3	15 000	10 000	75	30
Sulfure d'hydrogène (H ₂ S)	32,08	1	1 200	600	14	7
Tétrachloréthane (CHCl ₂ -CHCl ₂)	167,87	-	50 000	-	35	7
Tétrachlorure de carbone (CCl ₄)	153,84	450	20 000	6 500	60	12
Trichloréthane (CH ₃ -CCl ₃)	133,42	-	15 000	12 000	1 000	400
Toluène (C ₆ H ₅ -CH ₃)	92,14	-	75 000	20 000	550	315
Xylène (CH ₃ -CH ₄ -CH ₃)	106,12	-	90 000	25 000	650	435

4.4. LE PROBLÈME DE L'OXYGÈNE

REMARQUE PRÉLIMINAIRE

L'oxygène, qui n'est pas à proprement parler, un contaminant, joue un rôle essentiel dans la respiration. Ce sont donc les conditions extrêmes, pour l'essentiel l'altitude, qui peuvent créer quelques difficultés.



4.5. LES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)

LES DIFFICULTÉS DU SUJET

Il existe de multiples sources de dégagement de composés organiques volatils, avec des sources très disparates : matériaux et surtout revêtements de construction (moquettes en particulier), meubles, produits d'entretien, produits d'hygiène, produits médicaux, etc. De sorte qu'il est très difficile de cerner les difficultés significatives, et qu'il est difficile de maîtriser ces dégagements. Pour y voir un peu plus clair nous allons décomposer l'examen en deux thèmes essentiels : d'abord *l'état de nos connaissances de base*, ensuite, les situations françaises concrètes.

LE RÔLE CENTRAL DES ALDÉHYDES

La famille des composés organiques volatils est très riche, 160 composés organiques volatils environ étant classés comme dangereux, certains de ces composés étant cancérigènes. C'est le cas, en particulier des **aldéhydes** (HCO), produits entrant dans la composition de nombreuses colles et agglomérants, ces gaz se dégageant facilement dans l'air. Les aldéhydes semblent participer aux développements de l'asthme, surtout chez les sujets déjà atteints, mais il est assez difficile d'en fixer les limites. Les effets neuro-psychiques sont également parfois mis en cause, mais cet effet reste encore assez imprécis. Le point le plus important est que différentes études mettent manifestement en cause les aldéhydes dans le développement des cancers des sinus nasaux, avec des incertitudes manifestes sur le niveau de cette action.

LE RÔLE DES CONCENTRATIONS

L'action biologique des aldéhydes varie avec leur concentration dans l'air.

1. L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) estime (2005) qu'il ne faudrait pas dépasser (pour éviter les effets cancérigènes) une concentration de 0,01 [mg/m³], un choix qui paraît entaché d'un coefficient de sécurité excessif (voir point n° 2) ;
2. La concentration maximale jadis recommandée (ambiances de travail) était de 0,05 [mg/m³] ;
3. Dès qu'on atteint une teneur de 1 [mg/m³] l'odeur devient vite très irritante pour le nez ;
4. Dès qu'on atteint une teneur de 3 [mg/m³] l'odeur devient, en plus, très irritante pour la gorge, ce qui provoque des larmoiements dès qu'on atteint 30 [mg/m³] ;
5. Les conséquences deviennent très graves (léthales) dès qu'on approche de 100 [mg/m³].

En complément de ces données on peut noter les statistiques des plaintes constatées chez les ouvriers manipulant des produits générateurs d'aldéhydes :

- . quelques plaintes (3 à 5% des sujets) dès que la concentration atteint 0,06 [mg/m³],
- . un quart de plaintes (15 à 30% des sujets) pour des concentrations intermédiaires de 0,5 à 1 [mg/m³],
- . un tiers de plaintes (25 à 40% des sujets) dès que les concentrations dépassent 1,2 [mg/m³].

Ces valeurs, concernant les plaintes, sont cohérentes avec les observations faites - en Amérique du Nord, au Canada en particulier - dans les usines de fabrication de panneaux utilisant des colles aux aldéhydes, sans discipline de concentration, au contraire du choix des industriels européens - choix devenu désormais insuffisant. Ces observations sont illustrées au schéma ci-dessous.

L'ÉLIMINATION DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS

Il existe un certain nombre de mesures dramatisant plus ou moins la situation, se concentrant d'ailleurs sur le logement. Afin de préciser la situation, le COSTIC a procédé à des mesures systématiques d'aldéhydes dans l'air de bâtiments réels. La synthèse des résultats obtenus est indiquée ci-dessous.

Locaux	Concentrations constatées [mg/m ³]
HABITAT	-
. logements (mesures globales)	0,00 à 0,12
. logements (cuisines)	0,01 à 0,18
. caravanes (hiver)	0,03 à 0,032
. caravanes (été)	0,011 à 0,080
TERTIAIRE	-
. bureaux	0,020 à 0,111
. cinémas	0 à 0,025
. crêperies	0,013 à 0,025
HOPITAUX	-
. premier hôpital	0,045 à 0,509
. deuxième hôpital	0,064 à 0,108
. troisième hôpital	0,056 à 0,073
. quatrième hôpital (zone utilisant du formol)	1,125

Le tableau précédent prouve l'extrême variété des situations, mais également le caractère un peu extravagant de certaines affirmations selon lesquelles nous «*baignons quotidiennement dans un bain délétère de molécules chimiques*». C'est ainsi que l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur indique que «ses mesures démontrent que tous les logements sont pollués».

Indication complémentaire de l'enquête précédente : le constat par les expérimentateurs d'absence de plaintes dès que les concentrations n'excèdent pas 0,06 à 0,12 [mg/m³].

LES INTENTIONS RÉGLEMENTAIRES

Dès 2011 la loi issue de Grenelle 2 devrait imposer aux fabricants de matériaux de construction et de décoration d'indiquer sur leurs étiquettes les gaz dangereux contenus dans leurs produits. Mais il est bien évident :

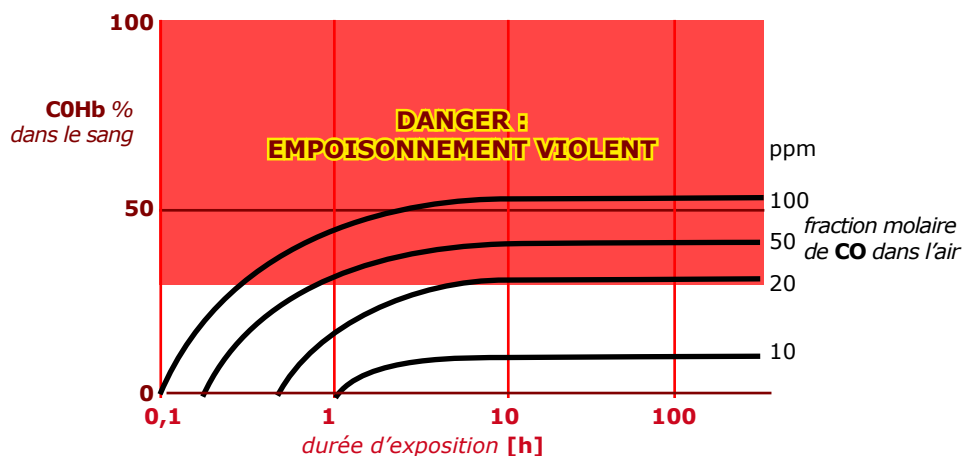
- . que cette disposition ne peut résulter que d'un accord international, et de normes du même niveau, qui tardent à paraître,
- . et qu'elle ne concerne pas tous les produits pouvant être incriminés.

Dans tous les cas le présent livret est conçu pour accueillir, à travers ses révisions successives, les décisions qui seront prises en la matière.

4.6. LE MONOXYDE DE CARBONE (CO)

L'ACTION PHYSIOLOGIQUE DU CO

L'exposition au monoxyde de carbone (CO) provoque une enrichissement du sang en oxyde spécifique, la carboxyhémoglobine (COHb), et ce dans les proportions indiquées par la schéma suivant.



Ce schéma indique comment, selon la durée de l'exposition, la teneur en carboxyhémoglobine varie dans le sang. Et ce pour différentes concentrations du monoxyde de carbone dans l'atmosphère (10 ou 20 ou 50 ou 100 millionièmes [ppm]). Si cette teneur en carboxyhémoglobine dans le sang est très élevée les conséquences sont mortelles. Finalement les courbes du schéma ci-dessus permettent de fixer la teneur maximale en CO dans l'air pour éviter des issues fatales.

LES CONSÉQUENCES TECHNIQUES

Le CO étant essentiellement produit dans les phénomènes de combustion ceci conduit à éliminer le CO dans l'air, grâce à trois dispositions :

- . le bon choix des appareils utilisant des combustibles, évitant ceux qui peuvent facilement donner lieu à des combustions incomplètes,
- . l'alimentation correcte de ces appareils en air frais, ce qui peut conduire à éviter les locaux étanches à l'air si ces locaux sont occupés,
- . une évacuation correcte et sûre des produits de combustion, à travers des conduits de fumée de bonne qualité et bien entretenus.

Sur le plan pratique :

- . vous trouverez toutes informations utiles, sur ces trois points, dans les guides consacrés au chauffage,
- . et, en **première précaution, les textes réglementaires régissant actuellement ces problèmes**, présentés au paragraphe suivant (4.7).

4.7. LE CADRE RÉGLEMENTAIRE DE L'OXYDE DE CARBONE

Le monoxyde de carbone (CO) est essentiellement lié aux dégagements gazeux parasites des appareils de chauffage. C'est un gaz très dangereux.

LE TEXTE RÉGLEMENTAIRE DE BASE

C'est dans cette optique que des dispositions réglementaires adéquates ont été prévues par le Code de la Construction et de l'Habitation. En voici l'essentiel.

4A. Extraits du CODE DE LA CONSTRUCTION

CODE DE LA CONSTRUCTION ET DE L'HABITATION (Partie Réglementaire)

Livre 1 Dispositions générales

Titre 3 Chauffage, fourniture d'eau et ravalement des immeubles. - Lutte contre les termites

Chapitre 1 Chauffage et refroidissement des immeubles et performance énergétique

Section 7 Prévention des intoxications par le monoxyde de carbone

Article R. 131-31. Les parties des locaux à usage d'habitation ou leurs dépendances, destinées à recevoir de façon fixe un appareil de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire d'une puissance inférieure ou égale à 70 kilowatts et utilisant les combustibles solides, liquides ou gazeux doivent être munies lors de leur construction :

1. D'une entrée d'air permanente directe ou indirecte dans le cas où l'appareil utilise, pour la combustion, une partie de l'air de la pièce dans laquelle il est installé ;
2. D'un système d'évacuation vers l'extérieur des produits de combustion satisfaisant aux conditions techniques et de sécurité et adapté à l'usage, au type d'appareil et au combustible auxquels il est destiné.

L'entrée d'air permanente et le système d'évacuation sont conçus et entretenus de manière à permettre le bon fonctionnement des appareils. ...

Article R. 131-32. Les dispositions de l'article R. 131-31 ne s'appliquent pas aux locaux destinés à recevoir des appareils à circuit de combustion étanche qui, par leur conception, intègrent le circuit d'amenée d'air comburant et qui évacuent les produits de combustion vers l'extérieur sans risque de fuite vers l'intérieur des locaux d'habitation.

Article R. 131-33. Pour les immeubles collectifs d'habitation, les installations de ventilation mécanique contrôlée auxquelles sont raccordés des appareils utilisant le gaz combustible ou les hydrocarbures liquéfiés doivent être équipées d'un dispositif de sécurité collective.

Article R. 131-34. Dans les locaux existants, les dispositions des articles R. 131-31 à R. 131-33 sont applicables, à la charge du propriétaire, aux parties des locaux à usage d'habitation ou à leurs dépendances, lorsqu'elles comportent ou doivent comporter un appareil à combustion fixe de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire d'une puissance inférieure ou égale à 70 kilowatts et utilisant un combustible solide, liquide ou gazeux. Toutefois, certains appareils de production d'eau chaude pourront être dispensés de l'obligation de raccordement prévue à l'article R. 131-31 ...

Article R. 131-35. L'occupant ne doit pas entraver le bon fonctionnement de l'entrée d'air et du système d'évacuation vers l'extérieur ...

Article R. 131-36. Après une intoxication au monoxyde de carbone due à une installation fixe de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire, cette installation doit être mise à l'arrêt. Elle ne peut être réutilisée qu'après qu'elle a été remise en l'état ; les dispositions *précédentes* doivent être respectées.

Arrêté du 23 février 2009

pris pour l'application des articles R. 131-31 à R. 131-37 du code de la construction et de l'habitation relatif à la prévention des intoxications par le monoxyde de carbone dans les locaux à usage d'habitation

AUTRES TEXTES OFFICIELS CONCERNANT LE CO

4B. Décret du 27 novembre 2008

Prévention des intoxications par le monoxyde de carbone

Objet et domaine d'application :

Pour prévenir les accidents causés par le mauvais fonctionnement des installations de chauffage, la loi Urbanisme et habitat du 2 juillet 2003 a imposé de nouvelles exigences de sécurité à la charge des propriétaires et des occupants de l'immeuble. Instaurés à l'article L. 131-7 du CCH (*code de la construction et de l'habitation*), ces mesures et les délais impartis pour les mettre en œuvre devaient être précisés par décret. C'est le présent décret qui insère aux articles R. 131-31 à R. 131-37 du CCH (*code de la construction et de l'habitation*) les dispositifs de prévention des intoxications au monoxyde de carbone. Dès le 1er janvier 2009, les constructions neuves devront être équipées d'un système d'évacuation des produits de combustion des appareils de chauffage.

Les dispositifs de sécurité doivent être installés dans les locaux d'habitation ou leurs dépendances dès lors qu'ils comportent un appareil de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire d'une puissance inférieure ou égale à 70 kilowatts et utilisant des combustibles solides, liquides ou gazeux. À défaut, le propriétaire encourt une contravention de 3e classe (article R152-11). Le raccordement des équipements est également obligatoire dans les locaux existants, mais un arrêté interministériel définira les appareils de production d'eau chaude qui pourront en être dispensés.

La nouvelle réglementation entre en vigueur : (*suite non reproduite : chronologie d'application*)

4C. Arrêté du 23 février 2009

pour l'application des articles R. 131-31 à R. 131-37 du code de la construction et de l'habitation relatif à la prévention des intoxications par le monoxyde de carbone dans les locaux à usage d'habitation

Art. 1er. Le présent arrêté a pour objet de déterminer les modalités d'application des articles R. 131-31 à R. 131-37 du code de la construction et de l'habitation. Les dispositions du présent arrêté s'appliquent aux locaux à usage d'habitation ou leurs dépendances dans lesquels fonctionnent des appareils fixes de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire, utilisant des combustibles solides ou liquides. Elles ne s'appliquent pas aux locaux à usage d'habitation ou leurs dépendances dans lesquels fonctionnent uniquement :

- . des appareils utilisant les combustibles gazeux ou hydrocarbure liquéfié, lesquels sont soumis aux prescriptions de l'arrêté modifié du 2 août 1977 relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustibles et d'hydrocarbures liquéfiés situées à l'intérieur des bâtiments d'habitation ou de leurs dépendances ;
- . des appareils à circuit de combustion étanche ;
- . des appareils à foyer ouvert et les âtres.

Chapitre Ier Aménagement et ventilation des locaux - Installation des appareils

Art. 2. Les exigences prévues aux articles du présent chapitre ne s'appliquent pas lorsque l'habitation est équipée d'un système de ventilation par balayage dans tout le logement, à condition que ce système respecte les dispositions des articles 8 et 11 de l'arrêté du 24 mars 1982 susvisé en tenant compte du débit d'air supplémentaire nécessaire au fonctionnement des appareils, indiqué par le fabricant. Il en est de même pour les appareils pour lesquels une amenée d'air neuf alimente directement, par conduit sur l'extérieur, le foyer de l'appareil.

Art. 3.

I. Les appareils de chauffage de type inserts, à combustibles solides, doivent être installés dans un local muni d'une amenée d'air directe de section supérieure ou égale au quart de la section du conduit de fumée.

II. En outre, la section libre, exprimée en centimètres carrés (cm²), des amenées d'air directes des locaux contenant les inserts doit être supérieure ou égale :

- . à 200 cm², si ces appareils peuvent fonctionner portes ouvertes ou fermées ;
- . à la valeur donnée dans le tableau suivant, en fonction de la puissance utile totale des appareils, si ces appareils fonctionnent uniquement portes fermées.

PUISSANCE UTILE totale des appareils Pu	SECTION LIBRE MINIMALE de l'amenée d'air directe
Si $Pu \leq 8 \text{ kW}$	50 cm ²
Si $8 \text{ kW} < Pu \leq 16 \text{ kW}$	70 cm ²
Si $16 \text{ kW} < Pu \leq 70 \text{ kW}$	100 cm ²

III. - L'amenée d'air neuf doit être permanente ; elle doit être aménagée de telle façon que le courant d'air qu'elle occasionne ne soit pas gênant pour les occupants. La création d'une amenée d'air neuf doit être réalisée de manière à éviter le siphonnage ou la récupération de gaz provenant d'exutoires situés à proximité.

Art. 4.

I. - Les appareils de production-émission autres que ceux visés à l'article 3 et les appareils de production et de production-émission utilisant des combustibles non visés par l'arrêté du 21 mars 1968 modifié susvisé doivent être installés dans des locaux munis d'une amenée d'air neuf directe débouchant en partie basse. La section libre de l'amenée d'air directe, exprimée en centimètres carrés (cm²), doit être supérieure ou égale à la valeur donnée dans le tableau suivant en fonction de la puissance utile totale des appareils.

PUISSANCE UTILE totale des appareils Pu	SECTION LIBRE MINIMALE de l'amenée d'air directe
Si $Pu \leq 25 \text{ kW}$	50 cm ²
Si $25 \text{ kW} < Pu \leq 35 \text{ kW}$	70 cm ²
Si $35 \text{ kW} < Pu \leq 50 \text{ kW}$	100 cm ²
Si $50 < Pu \leq 70 \text{ kW}$	150 cm ²

II. - L'amenée d'air neuf doit être permanente ; elle doit être aménagée de telle façon que le courant d'air qu'elle occasionne ne soit pas gênant pour les occupants. La création d'une amenée d'air neuf doit être réalisée de manière à éviter le siphonnage ou la récupération de gaz provenant d'exutoires situés à proximité.

III. - En outre, les locaux dépourvus d'ouvrant sur l'extérieur dans lesquels sont installés des appareils de production-émission et les locaux dans lesquels sont installés des appareils de production doivent être munis d'une évacuation d'air vicié placée en partie haute et débouchant sur l'extérieur. La section libre de l'évacuation d'air vicié doit être supérieure ou égale à 100 cm².

Art. 5.

I. - Tout dispositif mécanique de ventilation supplémentaire tel que ventilateur de fenêtre, extracteur de hotte (à l'exception des hottes à recirculation) est interdit dans une pièce où se trouve un appareil à combustion raccordé à un conduit de fumée à tirage naturel ainsi que dans un local distinct de cette pièce, dès lors que ce dispositif est susceptible de provoquer une dépression suffisante pour entraîner une inversion de tirage du conduit.

II. - Il est interdit d'installer un appareil à combustion raccordé à un conduit de fumée à tirage naturel :

- . dans une pièce où débouche un vidoir de vide-ordure, lorsque la colonne correspondante est ventilée par extraction mécanique ;
- . dans un local distinct de cette pièce si ce dispositif est susceptible de provoquer une dépression suffisante pour entraîner une inversion de tirage du conduit.

III. - Les exigences visées aux I et II ne s'appliquent pas pour les appareils équipés d'une amenée d'air directe par conduit et fonctionnant exclusivement porte fermée.

Chapitre II Evacuation des produits de la combustion

Art. 6. L'évacuation vers l'extérieur des produits de combustion des appareils de chauffage et de production d'eau chaude sanitaire utilisant des combustibles solides ou liquides doit s'effectuer à l'aide d'un système d'évacuation des produits de combustion. Les systèmes d'évacuation des produits de combustion doivent permettre l'évacuation correcte vers l'extérieur des produits de combustion des appareils raccordés et être adaptés aux dimensions de la buse ou, s'il y a lieu, de la pièce d'adaptation prévue par le fabricant, en vue d'en assurer l'étanchéité.

Art. 7. Les modérateurs ou régulateurs de tirage par admission d'air ne doivent pas se trouver à l'intérieur des conduits. Ils doivent se fermer d'eux-mêmes en cas de diminution du tirage. Ils doivent toujours être installés dans le local où se trouve l'appareil ; la surveillance doit en être aisée.

Art. 8. Le système d'évacuation des produits de combustion doit être réalisé selon les règles de l'art. Les dispositifs d'obturation totale ou partielle sont interdits sur les conduits de raccordement. Cette interdiction ne vise pas les dispositifs intégrés directement à l'appareil ainsi que les dispositifs installés sur le conduit de raccordement dès lors qu'ils ont été homologués avec l'appareil, fournis par le fabricant et installés selon ses préconisations.

Art. 9. Les conduits de raccordement doivent résister à l'action chimique des produits de combustion et des condensats éventuels, à la température et satisfaire aux conditions d'étanchéité et de stabilité mécanique requises pour l'évacuation des produits de combustion dans des conditions normales d'utilisation.

Art. 10.

I. - Les conduits de raccordement doivent être conçus et installés pour permettre leur entretien ainsi que celui des appareils raccordés.

II. - Ils ne doivent pas pénétrer ou traverser de local autre que celui dans lequel sont installés les appareils à combustion. Toutefois, dans le cas d'un conduit de fumée ne débouchant pas dans le local contenant les appareils de combustion mais étant adossé ou accolé à l'une des parois de ce local, le conduit de raccordement peut traverser cette paroi pour être relié directement au conduit.

III. - Ils doivent être visibles sur tout leur parcours, les plus courts possibles et démontables. Toutefois, les conduits de raccordement rigides peuvent être placés dans un coffrage démontable et ventilé, sur le local, par deux orifices de section utile minimale de 50 cm² et les conduits de raccordement desservant des inserts peuvent être installés dans une hotte munie d'une trappe ou d'une grille.

Art. 11. Les conduits de fumée doivent être conformes aux exigences de l'arrêté du 22 octobre 1969. Toutefois, les conduits de fumée réalisés antérieurement au 31 octobre 1969 doivent a minima satisfaire aux prescriptions suivantes :

- . résister à l'action chimique des produits de combustion et des condensats éventuels, à la température et satisfaire aux conditions d'étanchéité, de stabilité mécanique et d'isolation thermique requises pour l'évacuation des produits de combustion dans des conditions normales d'utilisation ;
 - . déboucher à l'extérieur à une hauteur telle que les obstacles formés par les parties d'immeubles distantes de moins de 8 mètres mesurés horizontalement ne risquent pas de créer une zone de surpression préjudiciable au fonctionnement des conduits ;
 - . prévenir l'obstruction par des suies ou autres dépôts et faciliter leur récupération ;
 - . lorsque l'évacuation des fumées a lieu par extraction mécanique, le dispositif doit être tel que, en cas de panne, l'évacuation des fumées soit assurée par tirage naturel ou que la combustion soit automatiquement arrêtée.
- Il est interdit de raccorder, sur un conduit de fumée maçonné, des appareils produisant des produits de combustion à basse température, sauf, si ce conduit possède les caractéristiques dimensionnelles et constructives (nature des matériaux) adaptées aux produits de la combustion desdits appareils.

Chapitre III Etude préalable et mise en service

Art. 12. Avant le raccordement d'appareils de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire à un conduit de fumée existant, il y a lieu de vérifier préalablement :

- . la conformité du conduit de fumée et des amenées d'air neuf ;
- . la compatibilité de l'ouvrage avec son utilisation ;
- . le ramonage du conduit de fumée.

Dans le cas d'un conduit ne pouvant être mis en conformité avec les dispositions du présent arrêté, celui-ci doit être neutralisé au niveau des orifices d'entrée des produits de combustion.

Chapitre IV Entretien

Art. 13. Les appareils de chauffage ou de production d'eau chaude sanitaire doivent être constamment tenus en bon état de fonctionnement. Ils sont vérifiés au moins une fois par an et réparés par un professionnel qualifié dès qu'une défektivité se manifeste. Les conduits de raccordement doivent être constamment tenus en bon état de fonctionnement, leur entretien doit être effectué au moins une fois par an lors du ramonage du conduit de fumée. Un justificatif de ramonage sera remis à cette occasion. Les amenées d'air neuf doivent être constamment tenues en bon état de fonctionnement. Après tout accident ou feu de cheminée, le système d'évacuation des produits de combustion doit être vérifié par un professionnel qualifié et remis en état si nécessaire.

Art. 14. Le directeur de ...(suite non reproduite)

Chapitre 5

5. LA CONTAMINATION PARTICULAIRE

5.1. LES INTERDICTIONS RÉGLEMENTAIRES

La contamination particulaire, qui sera examinée à partir du paragraphe 5.4 peut concerner aussi bien les polluants que les altérants, mais deux dispositions réglementaires peuvent également être incluses dans ce thème : l'interdiction de fumer (qui concerne aussi bien la contamination gazeuse que la contamination particulaire), l'exclusion de l'amiante.

L'INTERDICTION DE FUMER

Cette interdiction découle des textes suivants, qui ne concernent qu'accessoirement la ventilation, et sont toujours susceptibles d'évoluer :

- . CODE DE LA SANTE PUBLIQUE (Nouvelle partie Réglementaire) : Chapitre 1 Dispositions communes - Section 1 Interdiction de fumer dans les lieux affectés à un usage collectif - Articles R3511-1 à R3511-13
- . Circulaire du 24 novembre 2006 concernant la lutte contre le tabagisme
- . Circulaire du 29 novembre 2006 relative à l'interdiction de fumer dans les lieux à usage collectif

Nous ne mentionnons ces textes qu'à titre de référence.

L'EXCLUSION DE L'AMIANTE

L'amiante, longtemps utilisée dans la construction, surtout pour ses qualités en cas d'incendie, présente un inconvénient grave : celui de pouvoir dégager et mettre en suspension dans l'air des fibres dont les actions physiologiques peuvent être graves. D'où la décision - longue à intervenir en France - d'interdire l'emploi de ce matériau, et même de le retirer dans l'existant (le désamiantage). La présence de ce produit ne peut donc être que temporaire, et nous ne citerons que pour mémoire les textes réglementaires le concernant, textes qui sont les suivants.

- . CODE DU TRAVAIL (Partie Réglementaire) : Chapitre 1 Dispositions générales - Section 5 Prévention du risque chimique - Section 5 bis Mesures particulières de protection contre les risques liés à l'amiante - Articles R231-51 à R231-59
- . Circulaire conjointe n° 98-589 du 25 septembre 1998 relative à la protection de la population contre les risques sanitaires liés à une exposition à l'amiante dans les immeubles bâtis
- . Circulaire n° 2005-18 du 22 février 2005 relative à l'élimination des déchets d'amiante liés à des matériaux inertes
- . Circulaire n° 96-60 du 19 juillet 1996 modifiée relative à l'élimination des déchets générés lors des travaux relatifs aux flocages et aux calorifugeages contenant de l'amiante dans le bâtiment

5.2. LES CONTAMINANTS PARTICULAIRES

LES PARTICULES EN SUSPENSION DANS L'AIR

On appelle «**aérosols**» toutes les suspensions particulaires dans l'air. Elles sont de trois sortes :

- . les **suspensions liquides**, que nous ne traiterons pas ici,
- . les **particules inertes**, dites souvent «*poussières*» - un terme à éviter au sens général,
- . les **particules «vivantes»**, ou «**biocontaminants**».

LA TAILLE DES PARTICULES

La taille des particules (inertes ou vivantes) est très variable :

- de moins de 0,001 [μm], ce qu'on appelle aujourd'hui les **nanoparticules**,
- à plus de 1000 [μm].

La taille est une caractéristique essentielle, de sorte que les données qui vont suivre sont souvent accompagnées de la **granulométrie** des aérosols en cause. C'est un paramètre essentiel :

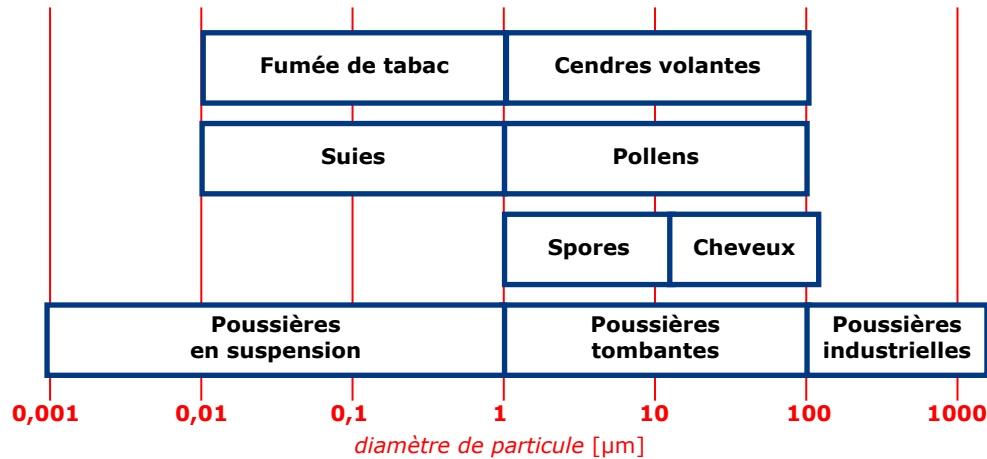
- . aussi bien sur le plan des *effets physiologiques*,
- . que sur celui des *techniques à mettre en jeu* pour éliminer ces aérosols lorsqu'ils sont gênants ou nocifs.

LES GRANULOMÉTRIES TYPES

Les diagrammes suivants indiquent, à la fois, les principales catégories d'aérosols, en même temps que leur granulométrie. Le premier schéma (ci-dessous) est consacré aux *aérosols inertes*, le second (page suivante) aux *bio-aérosols*.

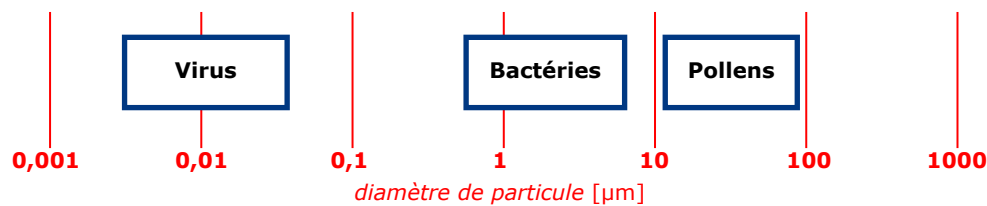
1. SUSPENSIONS INERTES

Les différentes catégories usuelles de particules inertes se répartissent - en granulométrie - comme l'indique le schéma suivant, les dimensions limites étant des valeurs types.



2. SUSPENSIONS «VIVANTES» : LES BIOCONTAMINANTS

Les différentes catégories usuelles de particules vivantes se répartissent - en granulométrie - comme l'indique le schéma suivant, les dimensions limites étant des valeurs types.



5.3. FACE À LA POLLUTION PARTICULAIRE

LE RÔLE DE CETTE POLLUTION

Jusqu'au milieu du siècle précédent la charge de l'air en particules (essentiellement des poussières) était surtout la source de pathologies ou d'inconforts physiologiques. Désormais il faut y voir, l'origine de difficultés particulières, souvent fondamentales.

1. En **site hospitalier** une partie des particules sont «vivantes (les biocontaminants), et leur élimination est souvent essentielle.
2. Dans de multiples **activités professionnelles** (électronique, etc.) les poussières, même fines, doivent être le plus possible évitées.
3. C'est même, non plus souhaitable mais fondamental, de nettoyer l'air de ces particules dans les «**salles propres**», traitées par ailleurs.

UNE ILLUSTRATION EXEMPLAIRE

Le schéma de la page suivante illustre le rôle de la granulométrie des particules dans une activité devenue courante : la lecture ou l'écriture sur disque informatique.

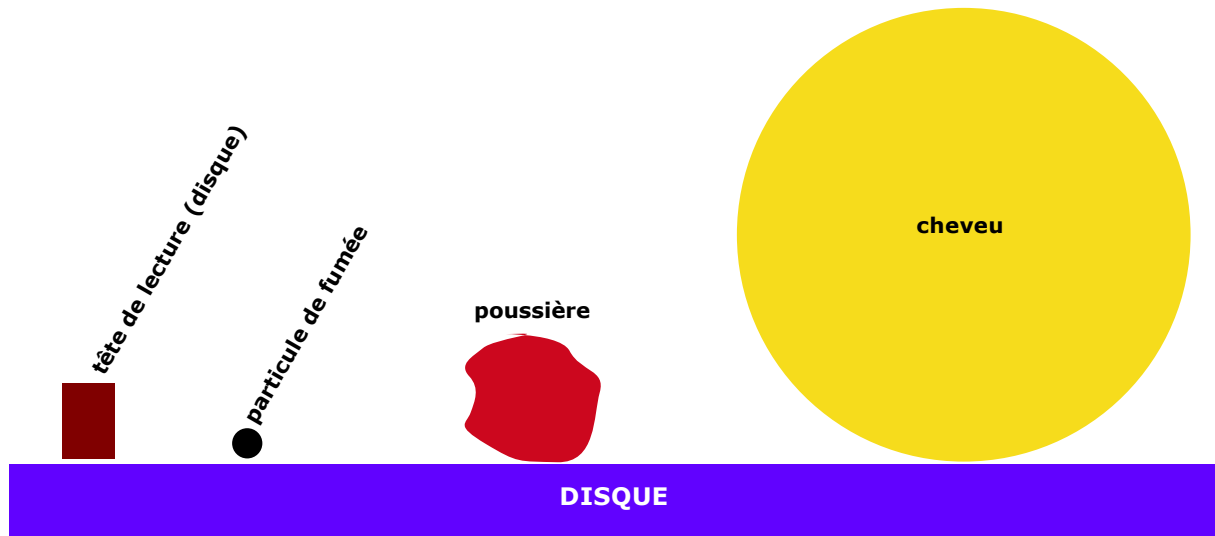
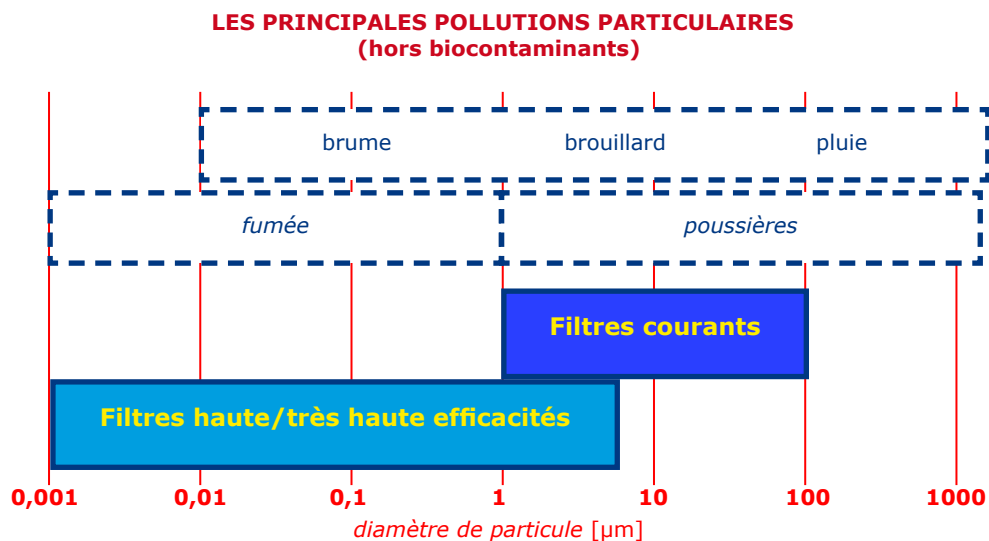


Diagramme agrandi (à l'échelle) de la surface d'un disque

L'ÉLIMINATION DES PARTICULES

Cette élimination se fait généralement par pose, dans les circuits d'air neuf, de **filtres** comme l'indique le schéma suivant, les deux grandes catégories de filtres auxquels on peut faire appel étant indiquées dans ce schéma.



5.4. L'ACTION DE L'ARBRE RESPIRATOIRE

LES RÔLE DE LA TAILLE

Les différents aérosols sont caractérisés :

- . par leur *nature*, précisée plus loin, mais qui distingue les **aérosols inertes** et les **bio-aérosols**,
- . et par leur *taille*, laquelle est généralement exprimée en micromètre (ou «*micron*») [μm], taille qui peut varier dans un très large domaine, allant de moins de 0,01 [μm] à plus de 100 [μm].

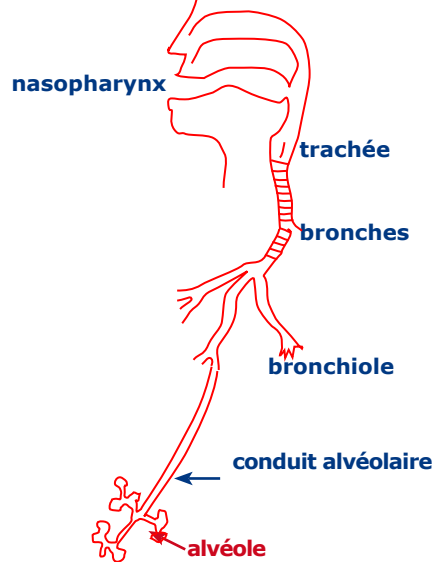
LE RÔLE DE L'ARBRE RESPIRATOIRE

L'importance de cette taille tient à différents paramètres, mais essentiellement aux particularités de notre **arbre respiratoire**, lequel joue le rôle d'un filtre sélectif, agissant de façon différente selon la taille des particules tentant de pénétrer au plus profond de l'arbre. Pour chaque particule, en effet, l'arbre respiratoire agit : soit en l'arrêtant, soit en la laissant pénétrer plus profondément.

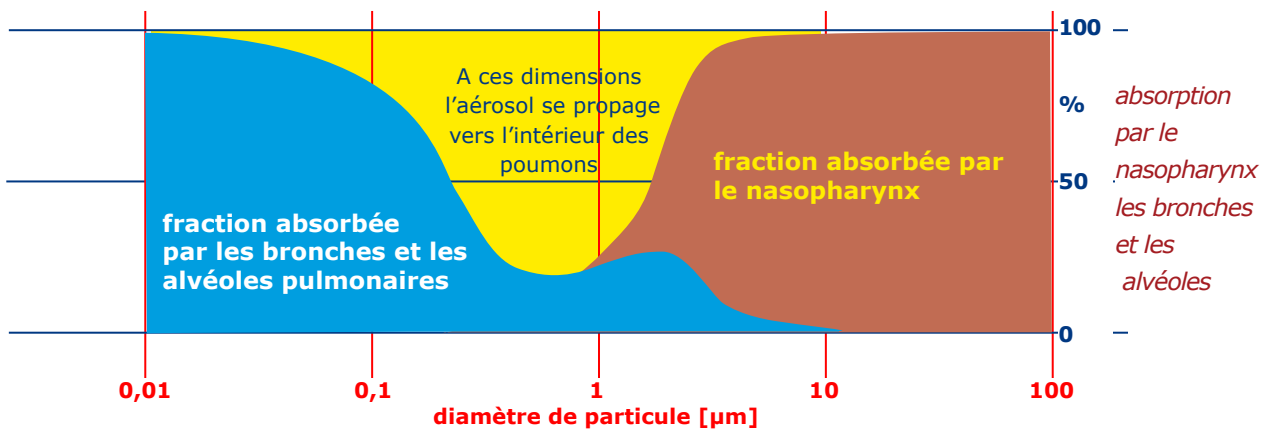
ILLUSTRATION DES PHÉNOMÈNES

- Vous trouverez *ci-dessous* un schéma plus précis, découpé en deux parties :
- . la première partie (en haut de l'illustration) indique les *dimensions types des particules* selon la catégorie d'aérosol : fumée de tabac, cendre volante, suie, spore, pollen, poussière fine ;
 - . la deuxième partie (en bas du schéma) indique comment réagit *l'arbre respiratoire* selon les tailles, arrêtant ou non l'aérosol (selon la taille).

Configuration générale de l'arbre respiratoire



Ainsi que l'illustre le schéma suivant le système respiratoire joue, vis à vis des particules, un rôle sélectif, les particules les plus fines pénétrant plus profondément.



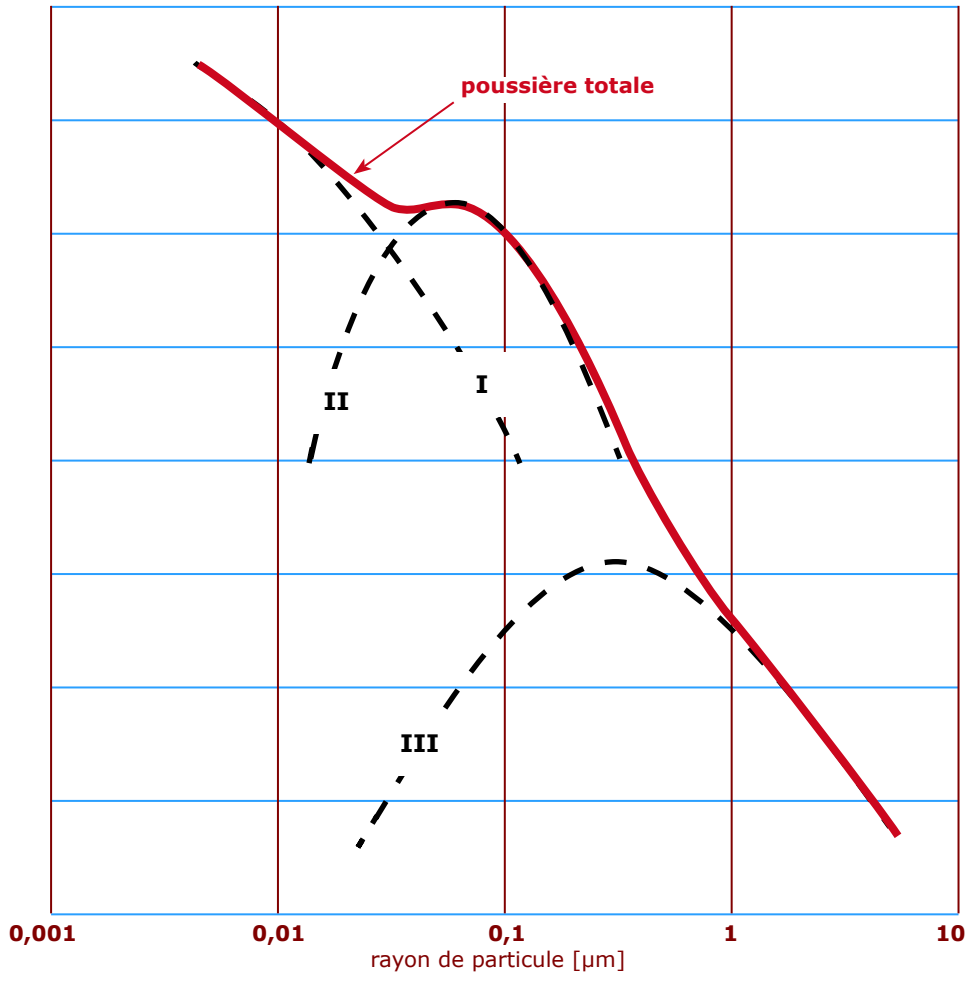
5.5. LE RÔLE DE LA POLLUTION EXTÉRIEURE

LE RÔLE DE CETTE POLLUTION

Une grande partie des particules intérieures, inertes en particulier, est due à l'entrée, dans les locaux occupés, de l'*air extérieur*. Dans les indications qui précèdent nous n'avons pas fait intervenir ce paramètre, mais il est bien évident qu'une partie des polluants provient de l'air extérieur.

LA COMPOSITION TYPE DES PARTICULES DANS L'AIR EXTÉRIEUR

Comme l'indique le schéma de la page suivante la pollution particulaire extérieure peut être considérée comme la somme de trois composantes (I, II et III).



COMPOSITION TYPE DE L'AIR EXTÉRIEUR

Chapitre 6

6. LE RADIOACTIVITÉ ET LE RADON

6.1. LA RADIOACTIVITÉ

LE PHÉNOMÈNE DE BASE

Le processus de radioactivité est le suivant : lorsque le noyau d'un atome de certains corps contient trop d'énergie il se désintègre en émettant des rayonnements. Les corps dont les noyaux sont instables, sont caractérisés par la fréquence de désintégration, ce qu'on appelle l'**activité**.

LES UNITÉS DE MESURE

L'unité d'activité est aujourd'hui le **becquerel** [Bq] qui correspond à la transformation d'un atome par seconde. Dans la pratique nous concernant, on parle essentiellement d'**activité volumique**, exprimée en **becquerel par mètre cube** [Bq/m³].

La radioactivité se traduit par l'émission de **rayonnements** dits **ionisants** détériorant les tissus humains il est logique d'en mesurer l'effet par la **dose absorbée** par chaque individu. Tous ces rayonnements n'ayant pas la même efficacité biologique, il est habituel de pondérer la dose reçue par son «efficacité», ce qui conduit à définir l'**équivalent de dose**. Cet équivalent se mesure en **sievert** [Sv], le plus souvent d'ailleurs en **millisievert** [mSv]. Le tableau ci-dessous permet d'évaluer les risques selon la dose reçue.

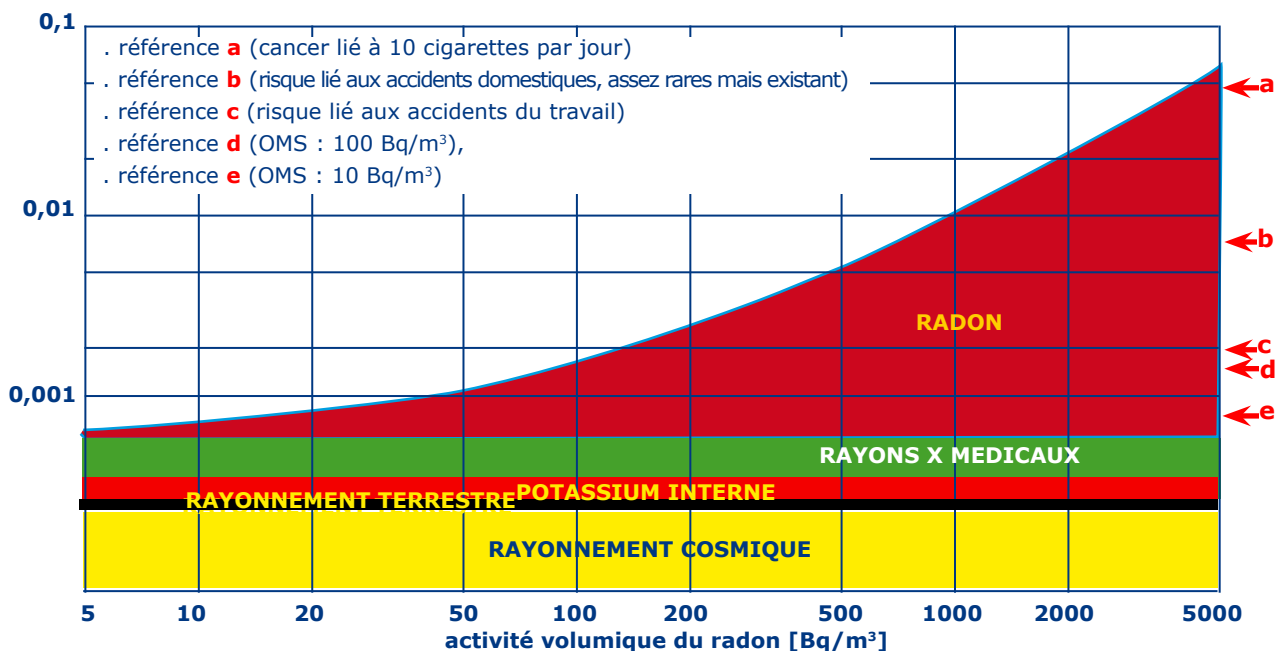
RISQUES SANITAIRES EN FONCTION DE LA DOSE REÇUE

- De 3 à 10 [mSv] : dose minimale annuelle reçue par radioactivité naturelle
- Moins de 200 [mSv] : dose ne correspondant à aucun effet sanitaire constaté
- Plus de 1000 [mSv] : dose dangereuse

LES ORIGINES DE LA RADIOACTIVITÉ

Le diagramme suivant permet d'évaluer plus précisément les risques selon les sources de radioactivité.

facteur de risque



6.2. L'ÉLIMINATION DU RADON

L'IMPORTANCE DU RADON

Le radon 22 est un **gaz radioactif** d'origine naturelle, venant du sol, et réparti de façon assez hétérogène, les dégagements pouvant varier de façon très significative en quelques dizaines de mètres. Ce gaz, incolore et inodore, peut pénétrer dans les niveaux bas des bâtiments. Son importance est soulignée par la position de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) qui considère que c'est la principale cause de cancer bronchique après le tabagisme, l'OMS estimant -en 2009 - que 3 à 14 % des cancers bronchiques lui seraient dûs.

LES SPÉCIFICATIONS DE BASE

L'analyse des problèmes que peut poser la présence de radon dans les ambiances intérieures s'appuie sur la mesure de «concentration». Cette mesure fait appel à des unités définies au paragraphe 1.1, et à des techniques de mesure présentées ultérieurement.

LES CONNAISSANCES DE TERRAIN EXISTANTES

Depuis 1965 de nombreuses études, dans différents pays, ont été consacrées au radon et aux moyens d'en réduire le risque. Et ce en particulier dans les pays où les planchers bas sont généralement en bois, et plus ou moins perméables aux gaz. La situation française a, elle, été étudiée quantitativement sur sites réels par le COSTIC durant les années 1970. Les études, portant sur une centaine de sites répartis dans le pays, ont abouti à des recommandations, qui n'ont malheureusement pas été suivies d'effets, alors qu'il s'agit de recommandations simples, adaptées à la construction française. Il n'en est, par ailleurs, résulté aucune action publique, du moins jusqu'à la fin des années 1990.

LES ASPECTS RÉGLEMENTAIRES

La protection contre les effets du radon a suscité les textes réglementaires suivants.

- . CODE DE LA SANTE PUBLIQUE (Nouvelle partie Réglementaire) : Chapitre 3 Rayonnements ionisants - Section 1 Mesures générales de protection de la population contre les rayonnements ionisants - Section 2 Exposition aux rayonnements ionisants d'origine naturelle - Articles R1333-1 à R1333-16
- . Arrêté du 7 août 2008 relatif à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail
- . Arrêté du 8 décembre 2008 portant homologation de la décision n° 2008-DC-0110 de l'Autorité de sûreté nucléaire du 26 septembre 2008 relative à la gestion du risque lié au radon dans les lieux de travail
- . Avis du 7 février 2005 relatif à la note d'information technique définissant les actions à mettre en oeuvre sur les bâtiments pour la gestion du risque lié au radon pris en application de l'article 9 de l'arrêté du 22 juillet 2004 relatif aux modalités de gestion du risque lié au radon dans les lieux ouverts au public
- . Circulaire conjointe du 27 janvier 1999 relative à l'organisation de la gestion du risque lié au radon
- . Circulaire n° 2001-303 du 2 juillet 2001 relative à la gestion du risque lié au radon dans les établissements recevant du public (ERP)
- . Circulaire n° 12 du 24 mai 2006 relative aux règles générales de prévention du risque chimique et aux règles particulières à prendre contre les risques d'exposition aux agents cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction.

L'INTERVENTION RÉGLEMENTAIRE CLASSIQUE

L'action publique s'est d'abord traduite par une circulaire de 27 janvier 1999 destinée à organiser la gestion du risque radon. Ensuite se sont succédés différents arrêtés (à partir du 22 juillet 2004) que vous trouverez, plus loin, au chapitre 3. Schématiquement ces différents textes réglementaires ont couvert jusqu'ici :

- . les *lieux ouverts au public* (ERP), mais limités : aux établissements d'enseignement (internats compris), aux établissements sanitaires et sociaux susceptibles d'hébergement, aux établissements thermaux et aux établissements pénitentiaires ;
- . et les *lieux de travail*, sites dans lesquels la réglementation «radon» fusionne d'ailleurs plus ou moins avec la réglementation plus générale concernant les locaux où peuvent se trouver des sources radio-actives.

Il faut noter que ces règlements ne couvrent pas l'*habitat*, alors que la maison individuelle est probablement la source du risque maximum.

UNE SITUATION RÉGLEMENTAIRE NOUVELLE

Une directive du Conseil 96/29/Euratom du 13 mai 1996 fixant les normes relatives à la protection sanitaire de la population et des travailleurs contre les dangers résultant des rayonnements ionisants apporte les évolutions suivantes, visant en particulier les activités professionnelles au cours desquelles la présence de sources naturelles de rayonnements entraîne une augmentation notable du point de vue de la protection contre les rayonnements ionisants. La catégorie des activités professionnelles pendant lesquelles les personnes sont exposées à des produits de filiation du thoron ou du radon est explicitement visée, les établissements thermaux y sont mentionnés à titre d'exemple. Pour ces activités, qui devront être identifiées par l'autorité nationale, une surveillance de l'exposition et, selon les besoins, des actions correctives destinées à réduire ces expositions devront être mises en oeuvre.

Le dispositif réglementaire adopté pour transposer cette directive devrait être le suivant :

- . une nouvelle disposition législative introduira l'obligation, pour les propriétaires ou les exploitants de lieux ouverts au public, de mettre en oeuvre des mesures de surveillance de l'exposition aux rayonnements naturels, lorsque ceux-ci sont susceptibles de porter atteinte à la santé ;
- . un nouveau décret et un arrêté d'application en préparation pour la mesure des activités volumiques en radon dans les ERP introduiront le principe du zonage par département où cette nouvelle disposition sera applicable, ainsi que les niveaux à partir desquels les propriétaires doivent mettre en oeuvre les actions nécessaires pour réduire l'exposition des personnes ;
- . un nouveau décret et deux arrêtés d'application détermineront les activités et les catégories professionnelles pour lesquelles une évaluation spécifique des doses reçues sera obligatoire ainsi que l'obligation de prendre des mesures correctives adaptées en cas de dépassement d'une concentration moyenne de l'activité volumique de radon dans l'air.

VERS UNE RÉVISION ÉVENTUELLE DES LIMITES

Traditionnellement le niveau de radioactivité pris comme repère par l'OMS était de 100 [Bq/m³]. Il s'agissait là du niveau maximal conseillé jusqu'ici par l'Organisation Mondiale de la Santé. Or, depuis septembre 2009, l'OMS demande que ce seuil soit reporté à 10 [Bq/m³], avec une action renforcée contre le radon, responsable des cancers bronchiques dans les proportions indiquées à la page précédente. IL est donc vraisemblable que l'on sera de plus en plus exigeant, ce qui peut entraîner quelques complications en matière de ventilation.

L'ÉVALUATION DES RISQUES SUR LE TERRAIN

Les données précédentes n'étant qu'indicatives, il est difficile d'évaluer les risques pour un site donné. La figure ci-dessous, extraite des études de terrain effectuées par le COSTIC, souligne l'importance des incertitudes, et le caractère fortement statistique des données. Il faut donc, à la fois :

- . dans tous les cas opérer avec un certain empirisme en adoptant le plus systématiquement possible - et ce quelle que soit la région - des dispositions simples d'élimination du radon,
- . procéder éventuellement (ou impérativement si c'est réglementaire) à des mesures in situ dans les conditions précisées antérieurement.

6.3. LA MESURE DU RADON

LA MESURE DU RADON

La radioactivité correspond à l'évolution des corps dont le noyau est instable. La fréquence de désintégration correspondante est ce qu'il est convenu d'appeler l'**activité**. C'est ainsi que, jadis, on mesurait l'activité en *curie* [Ci] correspondant à l'activité d'un gramme de radium, soit 37 milliards de désintégrations par seconde. Depuis d'assez nombreuses années l'unité utilisée n'est plus le curie mais le **becquerel** [Bq] qui correspond à la transformation d'un atome par seconde. Dans les problèmes nous concernant la grandeur utilisée et l'**activité volumique**, mesurée en **becquerel par mètre cube** [Bq/m³].

LES TECHNIQUES DE MESURE

Les mesures de radon sont délicates, et sujet à des erreurs faciles : ces mesures ne peuvent valablement être pratiquées que par des **opérateurs qualifiés**. C'est, d'ailleurs, la raison pour laquelle il est normalement fait appel aux organismes agréés (arrêté du 14 avril 2006). Il existe, aujourd'hui, d'assez nombreuses catégories d'appareils de mesure de l'activité, allant du piégeage du radon sur charbon actif à la détermination de l'énergie «alpha» potentielle volumique. Nous les appellerons tous, par simplicité, des «dosimètres». Les techniques de mesure font l'objet d'un certain nombre de normes NF, à savoir : la norme NF M 60-763 consacrée aux généralités et les normes NF M 60-764, NF M 60-765, NF M 60-766, NF M 60-767.

LES CATÉGORIES DE MESURE

On distingue trois catégories de mesures entre lesquelles il faut choisir, ces catégories étant les suivantes.

1. Les *mesures ponctuelles ou instantanées* se font, ou bien par exposition du dosimètre pendant quelques minutes, ou bien par mesure immédiate par comptage ;
2. Les *mesures en continu* se font, soit par exposition du dosimètre pendant quelques dizaines de minutes, soit par mesures simultanées, soit en léger différé (la mesure est considérée comme continue lorsque la durée de l'exposition est de l'ordre de l'heure), ce type de mesure permettant d'enregistrer des variations temporelles de l'activité volumique du radon.
3. Les *mesures intégrées* se font par exposition constante du dosimètre sur une longue période et exploitation en différé.

Compte tenu des variations possibles et éventuellement importantes de l'activité volumique du radon à l'intérieur des habitations, **ce n'est qu'avec cette dernière catégorie de mesure** qu'une évaluation du risque sanitaire peut être vraiment validée.

6.4. LES RISQUE LIÉS AU RADON

LE RÔLE DU RADON ET LES RECOMMANDATIONS RAISONNABLES

Pour juger du rôle du radon on peut se baser sur les règles suivantes :

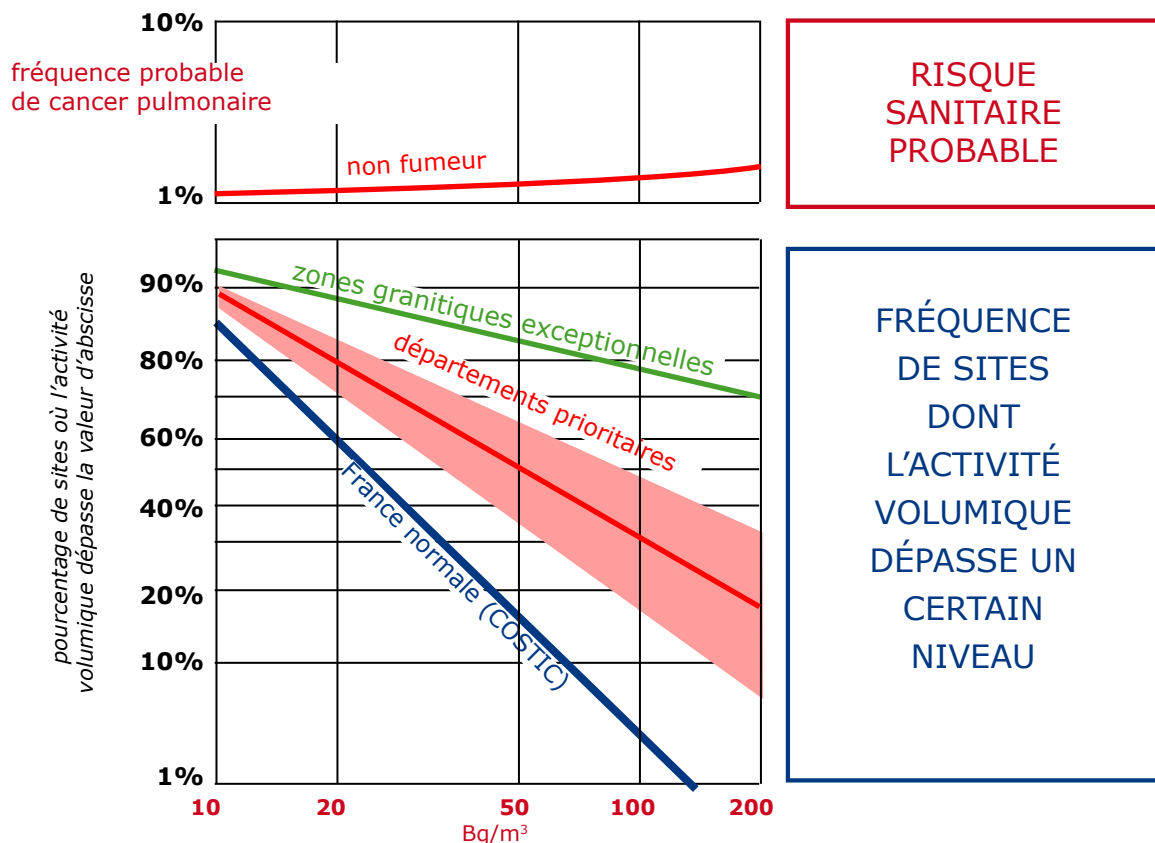
1. au dessous de 30 [Bq/m³] l'influence du radon est négligeable ;
2. au-dessous de 300 [Bq/m³] le rôle du radon est faible, n'atteignant pas - pratiquement - le niveau des risques courants ;
3. au-dessus de 300 [Bq/m³] les risques augmentent assez vite comme indiqué page précédente.

Pour une évaluation plus concrète des risques vous pouvez également vous reporter au schéma du paragraphe 5.2.

LA RÉGLEMENTATION FRANÇAISE

Au plan strict on devrait prendre, comme limite, la valeur de 100 à 150 [Bq/m³], mais les dispositions réglementaires françaises (table ci-dessous) sont un peu moins sévères (*voir la table ci-dessous*).

LES VALEURS RÉGLEMENTAIRES (France, lieux ouverts au public)	
Activité volumique du radon	Mesures à prendre
au-dessous de 400 [Bq/m ³]	la situation n'exige pas d'action corrective particulière
entre 400 et 1000 [Bq/m ³]	il est souhaitable d'entreprendre des actions correctives simples
au delà de 1000 [Bq/m ³]	des actions correctives, éventuellement fortes, doivent être impérativement menées dans un bref délai, la fermeture provisoire de l'établissement pouvant être décidée



6.5. LE CLASSEMENT GÉOGRAPHIQUE

Les mesures conduites sur le terrain montrent que les activités sous bâtiments peuvent varier dans d'assez grandes proportions à quelques dizaines de mètres de distance. Il est impossible de fournir des règles strictes. Les dernières spécifications nationales se bornent à définir 31 départements que nous appellerons «prioritaires», avec les nuances indiquées à la suite.

suite page suivante

A. les **départements fortement concernés** :
Corse-du-Sud, Creuse, Lozère

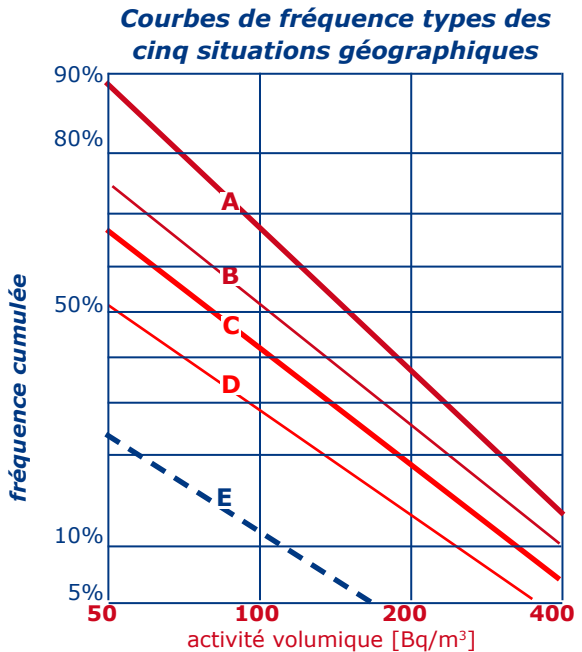
B. les **départements assez fortement concernés** :
Allier, Corrèze, Finistère, Loire, Haute-Loire, Haute-Marne, Haute-Vienne, Ter.-de-Belfort

C. les **départements moyennement concernés** :
Ardèche, Cantal, Haute-Corse, Deux-Sèvres, Indre, Morbihan, Nièvre, Puy-de-Dôme, Saône-et-Loire

D. les **départements marginalement concernés** :
Hautes-Alpes, Ariège, Aveyron, Calvados, Côtes d'Armor, Doubs, Hautes-Pyrénées, Haute-Saône, Rhône,

En fonction des renseignements dont nous disposons (études COSTIC) on peut établir la table et le diagramme suivants.

Zones géographiques prioritaires (radon) (zones A, B, C, D)			
Département	Activités volumiques [Bq/m ³]		
	moyenne	> 100	> 200
03. Allier	145	50 %	21 %
05. Hautes-Alpes	144	28 %	18 %
07. Ardèche	134	40 %	17 %
09. Ariège	129	28 %	14 %
12. Aveyron	101	30 %	11 %
14. Calvados	118	26 %	11 %
15. Cantal	161	38 %	19 %
19. Corrèze	192	48 %	35 %
2A. Corse du Sud	263	70 %	29 %
2B. Haute-Corse	133	37 %	18 %
22. Côtes d'Armor	108	32 %	13 %
23. Creuse	215	70 %	38 %
25. Doubs	109	32 %	12 %
29. Finistère	143	48 %	20 %
36. Indre	-	-	-
42. Loire	161	54 %	30 %
43. Haute-Loire	157	48 %	24 %
48. Lozère	264	61 %	36 %
52. Haute-Marne	136	50 %	18 %
56. Morbihan	145	43 %	21 %
58. Nièvre	115	39 %	17 %
63. Puy-de-Dôme	146	39 %	18 %
65. Hautes-Pyrénées	117	23 %	11 %
69. Rhône	-	-	-
70. Haute-Saône	109	33 %	17 %
71. Saône-et-Loire	115	37 %	12 %
73. Savoie	114	28 %	10 %
79. Deux-Sèvres	-	-	-
87. Haute-Vienne	198	53 %	22 %
88. Vosges	135	33 %	12 %
90. Terr. de-Belfort	137	50 %	19 %



A. les **départements fortement concernés** :
Corse-du-Sud, Creuse, Lozère

B. les **départements assez fortement concernés** :
Allier, Corrèze, Finistère, Loire, Haute-Loire, Haute-Marne, Haute-Vienne, Ter.-de-Belfort

C. les **départements moyennement concernés** :
Ardèche, Cantal, Haute-Corse, Deux-Sèvres, Indre, Morbihan, Nièvre, Puy-de-Dôme, Saône-et-Loire

D. les **départements marginalement concernés** :
Hautes-Alpes, Ariège, Aveyron, Calvados, Côtes d'Armor, Doubs, Hautes-Pyrénées, Haute-Saône, Rhône, Savoie, Vosges.

E. les **départements non prioritaires** : les autres départements.