

I. Introduction

Depuis quelques années, un nombre croissant de scientifiques ont montré que l'air à l'intérieur des maisons, des bâtiments pouvait être fortement pollué que ce soit dans un environnement industriel ou non. D'autres études indiquent que les gens passent 90 % de leurs temps à l'intérieur de bâtiments. Donc, pour beaucoup de personnes, les risques pour leur santé seront plus grands à l'intérieur qu'à l'extérieur. De plus, les personnes exposées à la pollution intérieure pendant de longues périodes sont souvent les plus sensibles aux effets de cette pollution comme les enfants, les personnes âgées, les personnes souffrant de maladies respiratoires et cardio-vasculaires [1]. En effet, d'après l'observatoire de la qualité de l'air (Figure 3.1), un adulte passe en moyenne seulement une heure par jour à l'extérieur et se retrouve le reste du temps dans des lieux clos [2].

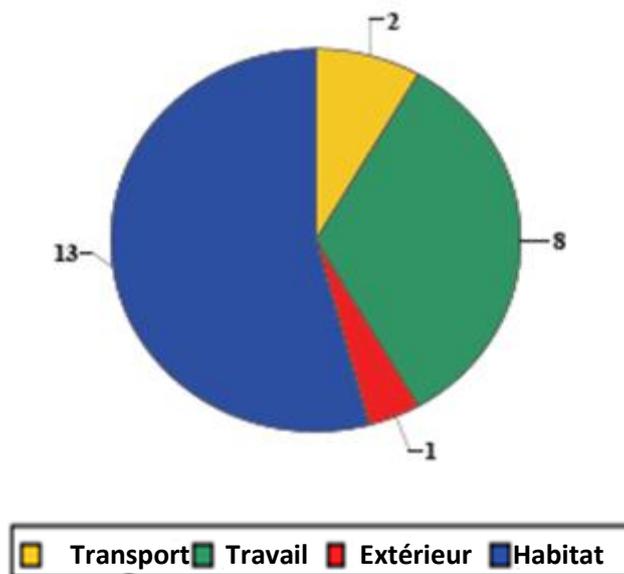


Figure 3.1 : Journée type d'un adulte (heure) dans différents lieux de vie – Données de l'observatoire de la qualité de l'air [2].

Les sources de pollution intérieure qui produisent des gaz ou des particules dans l'air sont les premières causes des problèmes de qualité de l'air intérieur. Une ventilation inadéquate peut augmenter ce niveau de pollution si elle n'est pas capable à la fois de diluer la pollution intérieure et de renouveler l'air intérieur. Des températures et/ou des humidités élevées peuvent également augmenter les concentrations de certains polluants.

Il y a plusieurs sources de pollution à l'intérieur des bâtiments : la combustion par gaz, huile, kérosène, charbon, bois, fumé de tabac ; les meubles et les matériaux plus ou moins détériorés, les isolations contenant de l'amiante, les moquettes et tapis humides ; les produits de nettoyage ; et la pollution d'origine extérieure tel le radon, les pesticides et la pollution de l'air extérieur. L'importance de ces différentes sources dépend de la façon dont les polluants sont émis ainsi que des dangers liés à ceux-ci. Dans certains cas, des facteurs (comme l'âge de la source) sont importants. Des sources comme les matériaux de construction, les meubles... émettent de façon plus ou moins continue. D'autres sources, liées à l'activité humaine, émettent des polluants ponctuellement : le fait de fumer, l'utilisation de peintures... De fortes concentrations peuvent rester pendant de longues périodes dans l'ambiance après de telles activités [1].

II. Polluants et Sources de pollution

Les polluants présents dans l'atmosphère d'un local proviennent des émissions des sources intérieures au bâtiment mais aussi du transfert de la pollution extérieure [3].

Pour un bâtiment donné, les déterminants des teneurs intérieures sont l'intensité des émissions endogènes, le taux de renouvellement d'air du local, la qualité de l'air extérieur et la réactivité des polluants en phase homogène (réactions entre polluants dans l'air) ou en phase hétérogène (réaction sur les surfaces). La température ambiante, l'hygrométrie et la vitesse de l'air interviennent également sur certaines émissions [3].

II.1 Sources extérieures

Il s'agit pour l'essentiel d'une pollution de type physicochimique liée aux activités humaines. Si les sources fixes de pollution comme le chauffage urbain, les activités industrielles ou l'incinération des déchets sont aujourd'hui mieux maîtrisées, il n'en est pas encore de même pour les sources de pollution liées aux transports, notamment la circulation automobile. La pollution atmosphérique extérieure présente des cycles journaliers, hebdomadaires et saisonniers, soumis aux conditions météorologiques.

Les polluants extérieurs, de nature physicochimique comme le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, le monoxyde de carbone, les hydrocarbures, ou l'ozone, et les contaminants naturels représentés par le pollen et les champignons microscopiques, prennent une part plus ou moins importante dans la pollution à l'intérieur des bâtiments, avec un certain délai par rapport aux événements extérieurs. L'emplacement de la prise d'air neuf, la ventilation des locaux et la nature des polluants jouent un rôle important. Certains polluants extérieurs ont des concentrations plus faibles à l'intérieur du fait d'une déposition (particules) ou d'une interaction ou adsorption sur les parois (dioxyde de soufre, dioxyde d'azote).

Le radon provient d'une contamination d'origine hydrotellurique, plus marquée dans certaines régions géographiques [4].

- La pollution d'origine industrielle représente la majeure partie de la pollution globale émise dans l'air extérieur. Elle constitue principalement les composés organiques volatils,

Les oxydes de soufre et d'azote, le plomb, l'ozone.

-Le trafic routier prend également une part importante dans la pollution extérieure avec la génération de monoxyde de carbone, de plomb, d'oxydes d'azote, et d'additifs au carburant.

-D'autres formes de pollution, comme la pollution rurale et agricole, trouvent également une part importante dans la pollution de l'air extérieur. Elle se traduit par la présence, dans l'air, de pollen, de produits chimiques, comme les engrais ou les insecticides [5].

II.2 Sources intérieures

Les sources intérieures de pollution participant à l'émission d'agents polluants dans l'air ambiant sont multiples et de nature variable. La pollution intérieure peut être liée à la fois à l'activité des occupants et leurs métabolisme, aux équipements fonctionnels du bâtiment, et aux matériaux de construction. Les polluants rencontrés dans l'air intérieur se retrouvent alors en grand nombre et diversifiés, à des concentrations parfois alarmantes [5].

II.2.1. Les occupants et leurs activités

Le métabolisme humain et animal produit du dioxyde de carbone (CO₂), de la vapeur d'eau, des particules viables (bactéries, virus,...) ou inertes. Un excès d'humidité dans le logement conduit au développement de moisissures responsables de nuisances olfactives mais surtout d'allergies et d'affections respiratoires. Par ailleurs, les animaux domestiques sont sources de parasites et d'allergènes puissants tels que les protéines de la salive de chat. S'agissant des activités et du comportement des occupants, les principales nuisances sont dues [6] :

- à l'utilisation de produits domestiques tels que ceux destinés au nettoyage et à l'entretien des locaux ; la pollution atmosphérique générée est de nature organique très variée (solvants oxygénés de type alcools, esters, hydrocarbures aliphatiques et aromatiques, hydrocarbures chlorés) [6].

- à La fumée de tabac environnementale qui est particulièrement important en milieu clos. Des milliers de composés, en phase gazeuse et particulaire, sont émis par la combustion du tabac. Dans la phase gazeuse, on identifie du monoxyde de carbone, de l'ammoniac, de l'acide cyanhydrique, des oxydes d'azote et des composés organiques comme la nicotine, des hydrocarbures, des aldéhydes ou des nitrosamines.

- à La présence dans l'air des locaux des microorganismes (bactéries, virus, champignons inférieurs ou micromycètes, parasites) et de leurs composants tels que les endotoxines des bacilles à Gram négatif et les mycotoxines, a quatre origines principales :

- l'homme intervient en permanence par l'émission de gouttelettes salivaires et nasales et de squames cutanées. Le sujet souffrant d'une maladie infectieuse respiratoire émet un grand nombre de microorganismes pathogènes et contribue à la contamination microbienne de l'atmosphère [4] ;

- tout réservoir d'eau renfermant des microorganismes est à l'origine, lorsqu'il est perturbé, de dissémination de microgouttelettes d'eau contaminées dans l'atmosphère. Il en est ainsi des pommes de douche, des humidificateurs, des nébulisateurs.
- les poussières porteuses de micro-organismes et de fragments bactériens toxiques (endotoxines) sont mises en suspension dans l'air lors des diverses activités dans les locaux ;
- enfin, toutes les surfaces humides sont le lieu de prolifération et de dissémination de microorganismes, moisissures en particulier.

II.2.2. Les appareils de combustion domestiques

Les appareils de combustion utilisés pour le chauffage, la production d'eau chaude ou la cuisson des aliments sont à l'origine d'émission de monoxyde de carbone, qui est un témoin de combustion incomplète, des oxydes d'azote qui sont formés à haute température, puis de toute une série de polluants gazeux et/ou particuliers comme les aldéhydes ou les hydrocarbures aromatiques ou polyaromatiques [4].

II.2.3. Les matériaux de construction et d'aménagement des locaux

Les matériaux sont à l'origine d'émissions de très nombreux composés organiques volatils. Ces émissions, tout en s'atténuant avec le temps, peuvent se prolonger pendant plusieurs mois. Leur caractérisation fait actuellement l'objet de développements importants, en liaison avec une évaluation sensorielle (irritations, odeurs) des ambiances intérieures. De plus, lorsque des flocages à base d'amiante ont été réalisés, des émissions de fibres sont à craindre, ce qui impose une surveillance de l'état de ces revêtements qui se dégradent avec le temps [6].

Chapitre 3 : pollution intérieure

Les différentes sources qui contribuent à la pollution sont données par le tableau suivant :

Polluants	Sources principalement extérieures
Oxyde de soufre, matière particulaire en suspension	Utilisation de combustibles, fonderies
Pollens	Arbres et autres Végétaux
Plomb, Manganèse	Circulation automobile
Plomb, Cadmium	Emissions industrielles
Composés Organiques Volatils (COV), Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques	Solvants, vaporisation de pétrole
Polluants	Sources à la fois intérieures et extérieures
Oxydes d'azote, monoxyde de carbone	Combustion, fumée de tabac
Dioxyde de carbone	Combustion, métabolisme humain
Matière particulaire en suspension	Fumée de tabac, combustion
Composés Organiques Volatils	Combustion de pétrole, métabolisme, peintures, pesticides
Spores	Champignons, Moisissures
Polluants	Sources principalement intérieures
Radon	Sol, matériaux de construction, eau
Formaldéhyde	Isolations, mobilier, fumée de tabac
Amiante	Isolations, matériaux anti-feu
Ammoniaque	Métabolisme, produits d'entretien
Composés Organiques Volatils	Colles, solvants, cosmétiques, préparation de repas
Aérosols	Produits d'entretien, poussière
Allergènes	Poussière de la maison, animaux
Bio-organismes	Personnes malades
HAP, Arsenic, nicotine, acroléine	Fumée de tabac

Tableau 3.1 : Principaux polluants de l'air intérieur et leurs sources [7,8].

II.3 Les principaux polluants de l'air intérieur

On considère habituellement comme polluant toute substance ajoutée au milieu en concentration suffisante pour produire un effet mesurable sur l'homme, les animaux, la végétation ou les matériaux de construction. Les polluants atmosphériques sont constitués de toutes les substances naturelles ou artificielles susceptibles d'être aéroportées: il s'agira de gaz, de particules solides, de gouttelettes liquides ou de différents mélanges de ces formes.

Il existe des polluants primaires (SO_2 , CO, Pb) et des polluants secondaires issus de polluants primaires sous l'action de réactions chimiques complexes. Les principaux polluants présents dans l'air ambiant sont présentés ci dessous :

- les oxydes d'azote, qui regroupent entre autres le monoxyde d'azote NO et le dioxyde d'azote NO_2 , sont considérés comme des traceurs de pollution industrielle et automobile,
- le monoxyde de carbone et le dioxyde de carbone, du aux phénomènes de combustions (complètes ou incomplètes) de matière carbonée, le dioxyde de soufre SO_2
- les particules, qui concernent toutes les particules liquides ou solides en suspension
- les composés organiques volatils COV qui regroupent une multitude de composés pouvant être d'origine naturelle ou humaine, la fumée de tabac
- les moisissures (champignons microscopiques), les allergènes (poussières, animaux domestiques, insectes) [2]

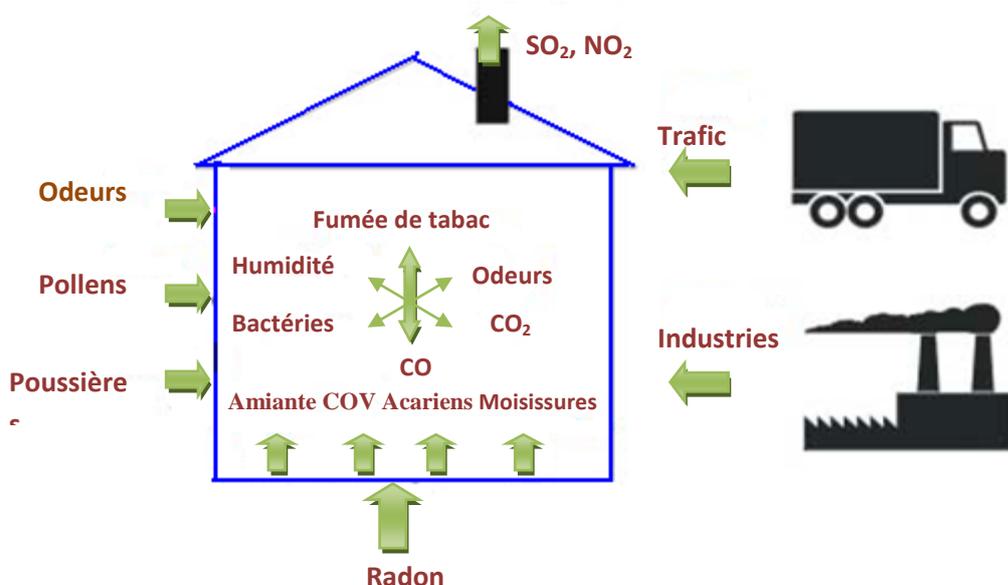


Figure 3.2 : Principaux polluants qui influencent la qualité de l'air [9].

On peut aussi regrouper ces polluants selon leurs natures à des polluants chimiques, physiques et biologiques [2].

II.3.1 - Les polluants chimiques

La pollution chimique à l'intérieur de l'habitat est très diverse. On distingue des composés gazeux (monoxyde de carbone, dioxyde d'azote, *etc.*), des composés organiques volatils (benzène, toluène, formaldéhyde, trichloroéthane, *etc.*), des particules respirables qui peuvent être le support de métaux (plomb, *etc.*), de HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques), auxquels il faut ajouter d'autres composants tels que la fumée de tabac, *etc* [10].

II.3.1.1. Le monoxyde de carbone (CO) est un gaz très toxique, incolore, inodore et sans saveur, Le monoxyde de carbone est formé lors des combustions incomplètes. Les sources principales de CO dans l'air intérieur des bâtiments sont les appareils et installations de chauffage, de production d'eau chaude et de cuisson. Leur dysfonctionnement, parfois associé en plus à une mauvaise ventilation, peut entraîner des concentrations dans l'air intérieur très élevées. La contribution de l'air extérieur dans les teneurs en monoxyde de carbone à l'intérieur des locaux reste négligeable, même en proximité immédiate du trafic automobile, en comparaison à celle du milieu domestique.

II.3.1.2. Les composés organiques volatils (COV) sont très nombreux et ont de multiples origines. On considère qu'en moyenne, on en distingue 50 à 100 composés dans l'air intérieur à des concentrations de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à plusieurs dizaines de mg/m^3 . Ils présentent des risques divers sur le bien-être ou la santé de l'homme, allant du problème d'odeurs ou d'irritation à des effets cancérigènes.

En raison du nombre très élevé de composés organiques pouvant exister, diverses classifications ont été proposées : selon leur caractéristiques chimiques (familles des alcanes, des hydrocarbures aromatiques...), leurs propriétés physiques (pression de vapeur, point d'ébullition...) ou bien encore leurs effets potentiels sur la santé (irritants, neurotoxiques...).

Selon la classification adoptée par l'OMS en 1989, les composés organiques ont été distingués en fonction de leur point d'ébullition en composés organiques très volatils (VVOC), composés organiques volatils (COV), composés organiques semi volatils (SVOC) et composés organiques associés aux particules (POM) [11].

Catégorie	Description	Abréviation
1	Composés organiques très volatils (gazeux)	VVOC
2	Composés organiques volatils	VOC
3	Composés organiques semi volatils	SVOC
4	Composés organiques associés aux particules	POM

Tableau 3.2 : Classification des composés organiques.

Les sources majeures de COV dans l'air des bâtiments sont l'apport d'air extérieur, à des concentrations plus ou moins importantes selon la localisation de l'habitation (près d'une station-service, d'une route à fort trafic...), l'activité des occupants (emploi de produits ménagers, bricolage, cosmétiques, tabac...), le matériel et l'équipement de la maison. Cette multiplicité de sources, elles-mêmes variables dans le temps, rend difficile l'estimation de la pollution induite par les COV. Les concentrations rencontrées dans les atmosphères intérieures sont de l'ordre de quelques $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par composé soit environ 500 à 1 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de COV totaux (= TVOC), pour des concentrations extérieures en TVOC de plusieurs dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$ [11].

II.3.1.3. Le plomb (Pb) constitue une source importante de pollution chimique. Jusqu'au milieu du XXe, la céruse (carbonate basique de plomb) entrainait dans la composition des peintures utilisées dans les logements. Il subsiste aujourd'hui des peintures au plomb dans les logements construits avant 1948, date de son interdiction. Ces revêtements, souvent recouverts par d'autres depuis, peuvent se dégrader avec le temps, l'humidité ou lors de travaux. Les écailles et les poussières ainsi libérées sont alors sources d'intoxications.

II.3.1.4. La fumée de tabac dans l'environnement (FTE) La fumée principale est celle qui est inhalée par le fumeur. La fumée dite secondaire est celle qui s'échappe à l'extrémité libre de la cigarette à laquelle s'ajoute la fumée exhalée par le fumeur. La FTE est la fumée secondaire qui se répand dans l'air intérieur des bâtiments.

L'exposition à la fumée secondaire est considérée comme involontaire et passive. La composition chimique de la fumée de tabac est très complexe puisqu'elle comprend près de 4000 substances. Une quarantaine d'entre elles sont reconnues ou soupçonnées d'être cancérogènes pour l'homme tel que le benzène, le nickel, les HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques) ou le formaldéhyde. A cela s'ajoute d'autres substances ayant des effets toxiques comme le monoxyde de carbone, l'ammoniac, le cyanure d'hydrogène et les oxydes d'azote. La concentration de FTE dépend de plusieurs facteurs dont le niveau d'émission lié au nombre de fumeurs et de cigarettes fumées, l'espace dans le bâtiment, la ventilation, la capacité absorbante des matériaux, des meubles, et la présence de filtration de l'air. Les multiples contaminants émis par la combustion de tabac se présentent sous forme de gaz, de vapeurs ou de particules.

Avec la cuisson des aliments, la fumée de tabac est la principale source de particules dans l'habitat [10].

II.3.1.5. Le radon est un gaz radioactif d'origine naturelle, issu de la désintégration de l'uranium et du radium. Présent partout à la surface de la planète, il provient surtout des sous-sols granitiques et volcaniques ainsi que de certains matériaux de construction. Le radon peut s'accumuler dans les espaces clos, et notamment dans les bâtiments. Les concentrations de radon dans un bâtiment varient dans le temps et dans l'espace en fonction de la quantité de radon exhalée par le sol (texture et richesse en radium du sol sous-jacent, type de construction, type d'interface, valeur de la dépression entre l'intérieur et l'extérieur du bâtiment) et du degré de confinement du bâtiment (ventilation, habitudes de vie des occupants). Mais chaque bâtiment est un cas particulier [12].

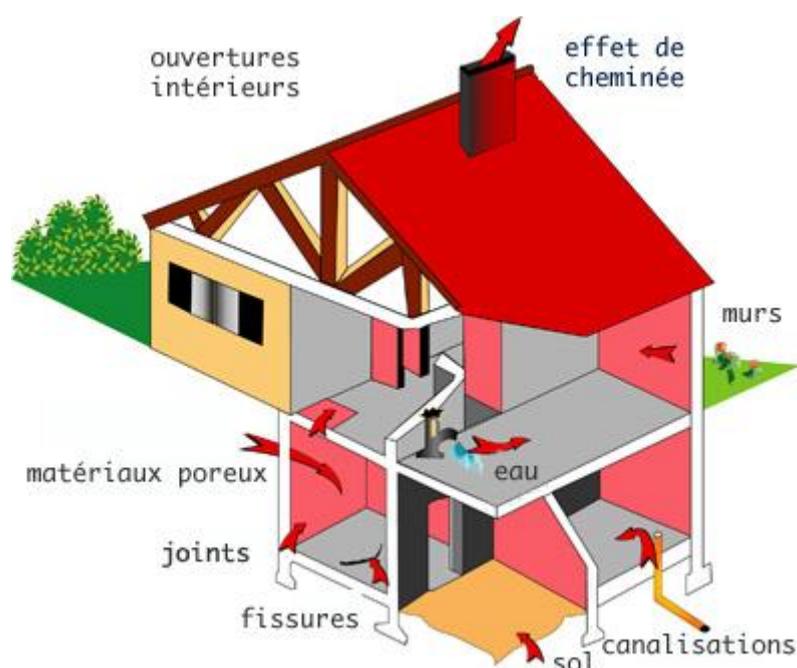


Figure 3.3 : Les différentes zones d'infiltration du radon dans l'habitat [13].

II.3.2 - Les polluants physiques

Ils sont représentés par les émissions de fibres (amiante et fibres minérales artificielles), ou encore les ondes issues des champs électromagnétiques.

II.3.2.1. Les fibres sont des particules allongées, dont la longueur est au moins trois fois supérieure à leur diamètre. *L'amiante* est une roche fibreuse qui a été utilisée dans le bâtiment pour ses qualités de résistance mécanique, d'absorption, d'isolation thermique et acoustique et d'isolation au feu. Considéré longtemps comme un matériau miracle peu coûteux aux qualités exceptionnelles, l'amiante a largement été utilisé entre les années 1950 et 1980. Il subsiste encore aujourd'hui des matériaux amiantés. Les produits qui contenaient de l'amiante sont principalement les flocages, les calorifugeages, les faux-plafonds, les fibrociments, les revêtements de sols en vinyle amiante, les cloisons et caissons de planchers, les mousses isolantes de calfeutrement, les portes et blocs coupe-feu, les revêtements par projection de produits pâteux, les colles, les produits de ragréage, *etc.* La dégradation ou l'intervention sur ces matériaux entraînent la suspension dans l'air de fibres d'amiante qui constitue alors une source de pollution de l'air intérieur.

Afin de remplacer les isolants à base d'amiante, différentes *fibres minérales artificielles* sont utilisées pour l'isolation thermique, acoustique et la protection contre l'incendie. Aujourd'hui, on dénombre plus de 70 variétés de fibres minérales artificielles, recouvrant plus de 35 000 applications. On peut distinguer trois types de laines minérales : les laines de verre dont les fibres sont élaborées à base de sable, les laines de roche élaborées à base de basalte et les laines élaborées à base de produits de récupération de hauts-fourneaux. Elles sont principalement employées comme matériau d'isolation (planchers, murs, toitures), mais aussi dans la plomberie et dans la ventilation.

II.3.2.2. Les rayonnements non ionisants peuvent également être considérés comme une pollution de l'air intérieur. Les champs électriques, magnétiques et les ondes électromagnétiques sont de plus en plus présents dans notre vie quotidienne. L'usage de l'électricité est une source de rayonnements non ionisants mais également toutes les transmissions du type télévision, radio et téléphonie mobile. Les champs électriques, magnétiques et électromagnétiques peuvent avoir différentes origines:

- naturelle : par exemple le champ magnétique terrestre, le rayonnement émis par l'activité électrique des êtres vivants, par les étoiles ou lors de la chute de la foudre.
- artificielle :
 - domestique : lignes électriques dans les habitations, téléphone portable, télévision, four à micro-ondes, plaques de cuisson à induction, alarmes, appareils électroménagers, *etc.*
 - environnementale : lignes à hautes tensions, relais de téléphonie mobile et de radio-télédiffusion, radars, *etc* [10].

II.3.3 - Les polluants biologiques

Ils sont liés à la présence de champignons et de leurs spores, d'allergènes (acariens et poils d'animaux domestiques) et de bactéries.

II.3.3.1. Les moisissures sont des champignons microscopiques capables de coloniser des supports de nature variée (bois, papiers, tissus, produits alimentaires, *etc.*) pour peu qu'elles y trouvent une humidité favorable et suffisamment de produits nutritifs. Dans la plupart des cas, leur développement à l'intérieur des locaux est lié à des problèmes d'infiltration (perméabilité des matériaux, humidité, rupture de canalisation) ou surtout à des problèmes de condensation consécutifs à une humidité de l'air trop élevée. L'humidité et la chaleur jouent un rôle primordial et agissent sur la germination, sur la croissance ainsi que sur la sporulation [10].

II.3.3.2. Les allergènes L'amélioration de certains aspects du confort, thermique en particulier, la nécessité d'économie d'énergie... ont conduit à des conditions écologiques favorables à la prolifération d'organismes vivants dans les habitats. Il s'agit d'arthropodes, d'acariens ou insectes (blattes), de spores de moisissures... Par ailleurs, la présence d'animaux domestiques dans les habitats peut être à l'origine d'une aérocontamination par des allergènes de chien ou de chat.

- ✓ **Les allergènes d'acariens** : Elles peuvent être retrouvées dans les excréta (guanine) ou provenir des débris de corps d'acariens morts.
- ✓ **Les allergènes de chat et de chien** : L'allergène majeur du chat, *Fel d 1* est une glycoprotéine thermostable dont la source principale est la peau des chats.

L'allergène majeur du chien est *Can f 1*. Sa principale source est le pelage mais il a également été retrouvé dans la salive et sur la peau.

- ✓ **Les allergènes de blattes** : Les blattes ou cafards sont parfaitement adaptées aux conditions hygrométriques retrouvées dans les habitations [11].

II.3.3.3. Les endotoxines représentent un constituant externe de la membrane des bactéries à Gram négatif. Dans les logements, la présence d'endotoxines est liée à la présence d'animaux de compagnie, notamment chats et chiens, à l'humidité du logement, à la présence de détritiques organiques, et enfin à l'existence de fumeurs puisque la fumée de cigarette renferme des taux élevés d'endotoxines [10].

II.3.4 Le climat intérieur : Le climat intérieur conditionne la génération et la propagation des pollutions ; Le climat intérieur est influencé par de nombreux facteurs.

- Le climat extérieur : Un bâtiment n'est jamais isolé hermétiquement.
- L'état de murs et de la toiture du bâtiment.
- Le système de chauffage.
- Le système de ventilation, ou de conditionnement d'air.
- Les habitudes des occupants : ouverture des fenêtres, surchauffe des pièces habitables.
- Les conditions de vie : nombre de personnes dans une pièce, nombre de locaux disponibles par personne [7].

Type de polluant	Famille Substances	individualisées
Chimique	hydrocarbures aromatiques	Benzène, ethylbenzène Styrène, toluène, xylènes
	hydrocarbures aliphatiques	n-décane n-undécane
	aldéhydes	Acétaldéhyde, benzaldéhyde Formaldéhyde, métaldéhyde Isobutyraldéhyde, isovaléraldéhyde, valéraldéhyde
	Autres	CO, NO ₂ , radon
Particules et fibres		particules inertes (PM10 et PM2,5), amiante, plomb fibres minérales artificielles
Biologiques	bactéries	bactéries (dénombrements) endotoxines
	moisissures	Moisissures (dénombrements) ergostérol
	Allergènes d'animaux	Acariens, chat, chien
Physique		champs électromagnétiques très basse fréquence (< 50 Hz)

Tableau 3.3 : résumé des principaux polluants intérieur ainsi que ces familles [14].

III. Effets sanitaires de la pollution intérieure

L'air intérieur est devenu un enjeu considérable et important de santé publique. D'après l'organisation mondiale de santé (O.M.S), la santé se définit comme un état de complet bien-être physique, mental et social, et ne consiste pas seulement en une absence de maladie ou d'infirmité. Quelle que soit la source et les polluants concernés, il existe un réel impact de la pollution intérieure sur la santé (effet d'exposition prolongée). Chaque année la pollution de l'air à l'intérieur des habitations due à l'utilisation de combustibles solides est responsable de 1,6 million de décès dans le monde, imputables à la pneumonie, aux maladies chroniques des voies respiratoires et au cancer du poumon (O.M.S). Par ailleurs les émissions de polluants issus des matériaux de construction provoquent de nombreux symptômes tels que les maux de tête, des irritations des yeux, nez, des baisses de concentration, voire des cancers (cas de l'amiante). Cependant, aujourd'hui on ne connaît pas encore avec précision les liens entre l'exposition directe de l'homme aux polluants et les pathologies provoquées [2].

III.1 Voies d'affection

Pour qu'un polluant constitue une menace pour notre santé, il faut qu'il soit absorbé par le corps. Cela peut se produire par trois voies :

- L'ingestion : c'est essentiellement via notre assiette que nous ingérons quantité de substances chimiques, souvent à notre insu. Elles peuvent avoir des effets toxiques pour l'organisme. C'est le cas d'additifs et de contaminants divers comme les résidus de pesticides. Un manque d'hygiène après manipulation de produits chimiques peut aussi être à l'origine d'une ingestion. Il est donc essentiel de bien se laver les mains [15].
- L'absorption par la peau, les yeux ou les muqueuses : certaines substances pénètrent par la peau et se répandent ensuite dans tout le corps. Les solvants par exemple dégraissent la peau et la pénètrent par la suite, attaquant le foie, les reins et le système nerveux. Le benzène s'attaque plutôt à la moelle osseuse.
- L'inhalation : c'est la manière la plus fréquente. Ce sont tous les systèmes principaux du corps qui peuvent être touchés : le système respiratoire, digestif, cardio-vasculaire, immunitaire, etc [15].

III.2 Classification des risques sanitaire

Certains polluants ont des effets spécifiques sur la santé. Les expositions à la fumée de tabac, au radon ou à l'amiante, accroissent le risque de développer des affections respiratoires ainsi que des cancers du poumon. L'accumulation du monoxyde de carbone, gaz inodore et incolore, dans des locaux souvent mal ventilés, provoquent des intoxications plus ou moins graves selon sa concentration dans l'air et la durée d'exposition, qui peuvent entraîner des séquelles voire des décès. Enfin, l'inhalation de poussières contenant du plomb peut être à l'origine d'intoxication au plomb. Outre ces effets spécifiques, les polluants de l'air intérieur sont susceptibles d'avoir des effets sur la santé nombreux et variés. Tant en termes de fréquence que de gravité, notamment pour les populations vulnérables (personnes âgées, enfants, personnes souffrant de problèmes de santé). Mais si les conséquences de certains polluants sur la santé de court terme sont aisées à identifier, les effets sur long terme d'une exposition continue à de faibles doses de polluants, qui, en outre, sont susceptibles d'interagir entre eux, sont particulièrement difficiles à mettre en évidence [16].

L'exposition sur le long terme à des polluants de l'air intérieur pourrait notamment être impliquée dans le développement de pathologies, essentiellement respiratoires (asthme, rhinite, bronchites...), le plus souvent de nature allergique. La pollution de l'air intérieur est également parfois mise en cause dans la survenue de différents symptômes généraux, tels que des maux de tête, de la fatigue, des difficultés de concentration parfois regroupés sous les appellations de syndrome des bâtiments malsains (Sick Building Syndrom, SBS) ou de sensibilisation chimique multiple (Multiple Chemical Sensitivity, MCS). Ces effets restent toutefois controversés [16].

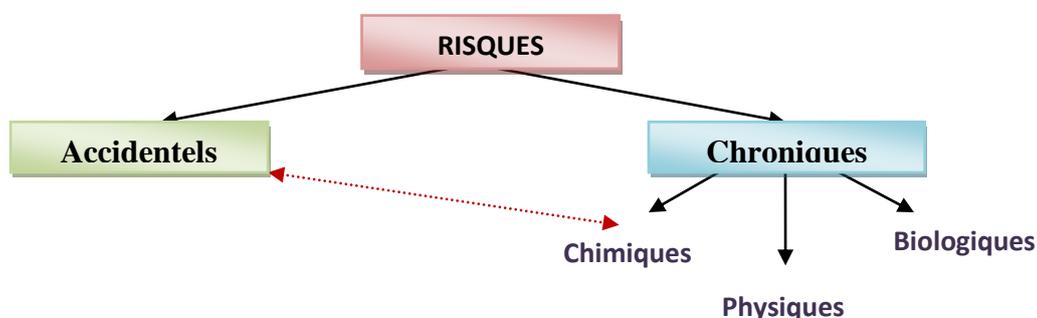


Figure 3.4 : classifications des risques sanitaires [17].

III.2.1 Les problèmes de santé spécifiques : Ils représentent un groupe de maladies dont les manifestations cliniques sont relativement homogènes pour lesquelles il existe des tests clinique ou de laboratoire, ils sont variés et peuvent résulter d'une exposition à des agents biologiques, chimiques et physique. Les contaminants biologiques peuvent causer des maladies des voies respiratoires de type infectieux, telles que la grippe, la fièvre de Pontiac, la maladie du légionnaire et la tuberculose, ou de type immunologique, telles que l'hypersensibilité de type immédiate (igE), la pneumonie d'hypersensibilité ou la fièvre des humidificateurs.

L'exposition à des allergènes tels les poussières, les acariens, les plantes et le transport passif des allergènes d'animaux domestiques sont des problèmes potentiels qui peuvent causer des manifestations cliniques de type allergique comme la dermatite, la rhinite et l'asthme.

Des cas de prurit et d'éruptions cutanées, de brulures aux yeux, de mal de gorge et d'essoufflement ont été rapportés avec l'utilisation de papier autocopiant.

Des symptômes de démangeaison, de brulures aux yeux, de mal de gorge et de toux suite à l'exposition à des fibres de verre ont aussi été rapportées. D'autres contaminants chimiques peuvent aussi être des agents étiologiques des problèmes de santé spécifiques.

Des facteurs comme la surpopulation dans certains espaces de travail et la réduction d'apport d'air extérieur pourraient influencer la transmission de certains agents infectieux [18].

III.2.2 Les problèmes de santé non spécifiques : Ils représentent un symptôme ou un ensemble de symptômes quelquefois subtils, plutôt qu'une maladie précise.

- Le terme "Sick Building Syndrome" (SBS ou Syndrome des Bâtiments Malades), utilisé depuis les années 1970, recouvre une symptomatologie complexe, non spécifique, atypique et indiscutablement liée à l'occupation des locaux. Sa définition très large traduit bien le caractère multifactoriel du problème, qui touche entre 10 et 30% des occupants d'un bâtiment malsain ou "malade". Les facteurs associés au SBS sont multiples : ambiants (chimiques, biologiques, climatiques, environnementaux), personnels, sociaux, organisationnels.

Les symptômes les plus fréquemment observés sont: irritation et obstruction nasale ; sécheresse et irritation de la muqueuse des yeux, de la gorge, de la peau ; manifestations générales (migraine, léthargie, état de fatigue conduisant à un manque de concentration). Des nausées, un changement dans la perception des odeurs et du goût, toux et sifflements respiratoires sont parfois également signalés. Les plaintes sont essentiellement d'inconfort et les symptômes ne sont pas liés à une menace grave pour la santé physiologique, du moins à court terme [19].

- La "Multiple Chemical Sensitivity" (MCS ou Sensibilité Chimique Multiple), décrite dès les années 1950, se caractérise par une réponse reproductible et chronique, à des niveaux d'exposition très bas, à de multiples composés chimiques (éventuellement d'origine biologique) présents dans l'environnement intérieur. Chez certains, le développement de cette affection est précédé des symptômes du SBS [19].

III.3 Principaux pathologies associées à la pollution de l'air intérieure

Il s'agit le plus souvent de maladies respiratoires, cancérigènes, cardiovasculaires et dermatiques.

III.3.1 Problèmes cancérigènes

Le risque cancérigène est associé à divers polluants dont *le tabac* concentre la part la plus importante, masquant ainsi la responsabilité d'autres agents.

La fumée de tabac est alors la source de pollution intérieure majeure. Le tabagisme passif a pu être rendu responsable d'un excès de mortalité de 15 % toutes causes confondues. Le risque de développer un cancer bronchique est augmenté de 20 % à 34 % chez les femmes exposées au tabagisme de leur mari.

Des études concordantes mettent en évidence un excès de risque lié au tabagisme passif pour les cancers ORL, les leucémies lymphocytaires chroniques, les cancers du sein, en revanche son rôle est discuté pour les cancers de la vessie. L'enfant exposé durant la grossesse au tabagisme passif présente un plus grand risque de développer une tumeur cérébrale ou un lymphome.

L'exposition domestique à l'amiante a été loin d'être négligeable par le biais des joints de four, des isolations des grille-pain, des revêtements des tables à repasser, des plaques d'amiante placées derrière les radiateurs sans parler des activités de bricolage.

Cette exposition domestique a été rendue responsable de cancers de la plèvre (pour lesquels l'augmentation du risque se manifeste dès les niveaux d'exposition les plus faibles) [20].

Le rôle du radon (et de ses produits de filiation) dans la survenue d'un cancer bronchique a été amplement démontré chez les mineurs d'uranium. Il existe une exposition domestique et environnementale liée aux sols sur lesquels sont construits les bâtiments et à la ventilation de ces derniers. Le radon pénètre par les fondations grâce à l'infiltration d'eau au travers des dalles et par les canalisations. Le radon dissous dans l'eau infiltrée dans le sol diffuse rapidement dans l'air. La principale source d'exposition chez l'homme est liée à l'inhalation des descendants radioactifs du radon. Parmi les polluants gazeux, la combustion des carburants produit des polluants tels que le SO₂, les NO_x, principalement incriminés comme irritants pulmonaires. Cependant l'IARC (*International Agency for Research on Cancer*) a classé les *aérosols de dioxyde de soufre (SO₂) très fortement concentrés* comme un cancérigène humain pouvant être responsable notamment de cancers bronchiques [20].

III.3.2 Problèmes respiratoires

Le système respiratoire constitue une voie d'exposition importante aux contaminants dans l'environnement aussi bien à l'intérieur qu'à l'extérieur.

Les effets aigus prédominants de la pollution intérieure sont de quatre types : irritatifs, allergiques, infectieux et toxiques. Les problèmes irritatifs se manifestent principalement par une sensation de douleur de la peau, des yeux et des muqueuses après un contact direct du contaminant avec les tissus. Les symptômes allergiques sont surtout localisés aux voies respiratoires supérieures : rhinorrhée, congestion, prurit et éternuement.

Certains contaminants provoquent des problèmes aigus de type infectieux : la toux, la dyspnée, la fatigue. Les problèmes respiratoires toxiques peuvent aussi survenir ; ils sont caractérisés par une réaction diffuse du tissu pulmonaire accompagnée d'une inflammation.

Les maladies respiratoires chroniques les plus connues sont l'asthme, la maladie pulmonaire obstructive chronique (MPOC) et le cancer. Les principaux *allergènes* de l'environnement intérieur proviennent *des acariens, des animaux et des blattes* [21].

Le risque sensibilisation augmente avec l'importance et la précocité de l'exposition. Il est aggravé par le confinement des appartements lié aux économies d'énergie. Une exposition importante aux allergènes serait un déterminant primaire de l'atopie et un déterminant secondaire de l'asthme. Plusieurs études épidémiologiques ont mis en évidence une association causale entre sensibilisation aux acariens et asthme.

Parmi *les polluants chimiques* de l'intérieur des locaux, le dioxyde d'azote a été mis en relation avec les infections respiratoires aiguës, les symptômes respiratoires, les symptômes évocateurs d'asthme et l'asthme. D'autres études ont mis en relation la présence de cuisinières et chauffages à gaz, source de NO₂, avec un excès de symptômes respiratoires, dont la dyspnée chez l'adulte. Les concentrations en particules respirables (PM₁₀ et PM_{2.5}) ont été reliées à plusieurs symptômes et maladies respiratoires, mais peu sont les études les ayant mesurées directement. Les PM_{2.5} mesurées directement par pompe ont été associées aux infections respiratoires et aux symptômes respiratoires. Par ailleurs, l'utilisation domestique de bois et de charbon, sources connues de particules respirables, a été impliquée dans les sifflements de la poitrine accompagnés d'une gêne respiratoire et la bronchite.

Il ne subsiste à ce jour plus aucun doute sur la nocivité du *tabagisme passif* et environnemental, qui constitue une autre source de particules respirables. Les enfants de mères fumeuses ont un risque accru d'asthme, de symptômes respiratoires, de baisse de la fonction respiratoire.

La *fumée de tabac* est un facteur suspecté à la survenir de la MPOC. Une réduction importante de la fonction pulmonaire a été observée chez l'enfant après une exposition à la FTE (*La fumée de tabac dans l'environnement*). Plusieurs autres facteurs sont associés à la MPOC; solvant, amiante, poussière, produits à combustion, etc.

III.3.3 Les affections cardio-vasculaires

L'impact de la pollution atmosphérique sur la santé cardio-vasculaire est devenu un enjeu considérable en matière de santé. La fonction respiratoire n'est pas la seule cible des polluants de l'air. Le nombre de pathologies incriminées est conséquent. Il s'agit d'hypertension artérielle, de cardiopathies (infarctus, angor, ...), de maladies artérielles (athérosclérose,...), et veineuses (thrombose, ...), d'accidents vasculaires cérébraux et d'affection cardio-pulmonaires.

Le monoxyde de carbone. Par son mécanisme de toxicité, fait partie des polluants ayant des effets ciblés sur le système cardio-vasculaire. En effet, tel qu'il été décrit précédemment, le CO a une affinité pour l'hémoglobine 220 fois plus forte que celle de l'oxygène. La quantité en oxygène au niveau des organes et notamment du cœur se trouve alors amoindrie, avec tous les méfaits que cela peut entraîner [21].

Le dioxyde d'azote induit également des troubles cardio-vasculaires. Une augmentation de $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ des concentrations quotidiennes de SO_2 s'accompagne d'un accroissement de 4% du nombre de décès quotidiens par pathologies cardio-vasculaires.

De plus, à la suite d'une intoxication au plomb, les colites générées sont fréquemment accompagnées d'hypertension artérielle [21].

III.4 Populations sensibles

En matière de pollution intérieure, tous les lieux que nous fréquentons sont susceptibles être contaminés par des polluants intérieurs : les maisons d'habitation, les immeubles sociaux, les bureaux, les usines, les administrations, les hôpitaux, les bâtiments scolaires, les académies, les centres sportifs, les cinémas, les magasins, etc. Divers groupes de population sont qualifiés de "sensibles" en raison de facteurs physiologiques (jeunes enfants) ou pathologiques (asthmatiques, bronchitiques chroniques, sujets présentant des troubles cardiaques ...) [22]. A même dose d'exposition, leur organisme se défend moins bien soit parce que ses défenses sont affaiblies, soit parce qu'il est en formation [15].

Leur nombre est donc élevé au sein de la population et la qualité de l'air doit être telle que ces personnes soient protégées contre ce qui pourrait compromettre leur développement normal ou aggraver leur état.

Enfants : La plus grande sensibilité de l'enfant provient du fait que les alvéoles pulmonaires se multiplient jusqu'à l'âge de 8 ans. Le développement physiologique peut être compromis par des agressions répétées et/ou prolongées.

Asthmatiques : Le cas des asthmatiques a été le plus étudié. Ils sont plus sensibles que les sujets normaux à la pollution, notamment à l'ozone (O_3), au dioxyde d'azote (NO_2) et aux particules en suspension.

Patients atteints de maladie cardio-vasculaire chronique : leur plus grande sensibilité apparaît nettement dans les études portant sur le lien entre les fluctuations des niveaux de pollution et la surmortalité.

Bronchitiques chroniques : les études s'intéressant aux bronchitiques chroniques sont moins concluantes, malgré la grande fragilité de ces personnes [22].

Le tableau suivant récapitule les effets sanitaires dominants associés à la pollution intérieure.

Chapitre 3 : pollution intérieure

SUBSTANCES/ PARAMETRES	EFFETS SANITAIRES DOMINANTS		
	Aigus	Chroniques	Cancers ³
BIOCONTAMINANTS			
Allergènes de chiens, chats, acariens	Respiratoires (allergies, asthmes).	Respiratoires (allergies, asthme).	ne/ne
COMPOSES CHIMIQUES			
Monoxyde de carbone	Cardio-vasculaires et neurologiques	Cardio-vasculaires	ne/ne
Acéaldéhyde	Irritations yeux, tractus respiratoire	Cancers : nasal, larynx Hodgkin ?	2B/B2
Acroléine	Respiratoires	ne	ne/ne
Benzène	Neurologiques et immunologiques	leucémie	1/A
Formaldéhyde	Respiratoires.	Cancer nasopharyngé	2A/B1
Hexaldéhyde	ne	ne	ne/ne
Styrène	Neurologiques	Neurologiques Cancer pulmonaire	2B/ne
Toluène	Neurologiques	Neurologiques	3/D
Trichloroéthylène	Neurologiques	Cancers testicules, Foie, lymphatique	2A/ne
Xylène	Neurologiques	Neurologiques	3/D
PARTICULES			
Particules fines	Respiratoires et cardio-vasculaires.	cardio-pulmonaires et cancer bronchopulmonaire	ne/ne
IRRADIATION NATURELLE			
Radon		Cancer pulmonaire	1/ne
Rayonnement gamma		Cancer	1

Tableau 3.4 : principaux polluants et ses effets sur la santé [23].

Classement des cancérogènes selon le CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer : 1, 2A, 2B, 3 et 4) / l'EPA (Environmental Protection Agency : A, B1, B2, C, D et E):

A/1 : cancérogène chez l'homme ; **B/2A** : cancérogène probable chez l'homme ; **C/2B** : cancérogène possible chez l'homme ; **D/3** : inclassable ; **E/4** : probablement non cancérogène chez l'homme ou non cancérogène chez l'homme. **ne** = non évalué [23].

IV. Recommandations

Un certain nombre de recommandations doivent être données aux occupants des locaux pour lutter efficacement contre les polluants intérieurs.

Assurer une ventilation suffisante

La ventilation des locaux assure l'apport d'air neuf pour les occupants et pour les combustions et le renouvellement de l'air. Elle élimine les odeurs et diminue les concentrations en micro-organismes et polluants chimiques. Enfin, elle évite les désordres dus à l'humidité (condensation, développement de moisissures) afin de préserver le bâti et la santé des occupants. La ventilation naturelle par tirage thermique et pression du vent ou la ventilation mécanique contrôlée assurent le renouvellement d'air des locaux, grâce aux bouches d'aération et bouches d'extraction de l'air vicié. Ces dernières doivent être correctement entretenues pour éviter leur encrassement. Elle est complétée par l'aération quotidienne qui se fait par ouverture des fenêtres, portes et autres ouvrants et par infiltration d'air.

Éliminer la poussière domestique

Le nettoyage humide permet d'éliminer poussières et salissures. Il faut limiter le nombre d'objets et de surfaces difficiles à nettoyer, véritables nids à poussière. Lors des activités produisant de fortes quantités de poussières, il est recommandé de porter un masque antipoussière et d'éloigner les personnes vulnérables, comme les enfants ou les personnes souffrant de maladies respiratoires [4].

Entretien des appareils de combustion

Le raccordement des appareils de combustion doit être vérifié par un professionnel afin d'éviter les refoulements des gaz et fumées vers l'intérieur. De même, le réglage et l'entretien des appareils doivent être assurés par un professionnel. Ces appareils sont soumis à l'arrêté du 2 août 1997 relatif aux règles techniques et de sécurité applicables aux installations de gaz combustible et d'hydrocarbures liquéfiés situées à l'intérieur des bâtiments d'habitation ou de leurs dépendances.

Limiter l'exposition aux composés organiques volatils

L'évaluation des émissions en composés organiques volatils des matériaux et produits, n'est pas encore systématique. Les fabricants n'ont pas aujourd'hui l'obligation d'indiquer la composition chimique des produits et l'émission chimique à partir de ces matériaux et produits. Le chauffage et l'aération du local où se trouve un mobilier neuf permet une émission plus rapide des composés organiques volatils. Il est recommandé d'aérer le local pendant et après l'utilisation de peintures, vernis, cires, colles, nettoyeurs et autres produits ménagers, en respectant le mode d'emploi. La présence de composés organiques volatils peut être suspectée pour les produits qui comportent les mentions suivantes : « ne pas inhaler les vapeurs », « ne pas utiliser dans un local fermé », « ne pas vaporiser contre une flamme », « ne pas fumer pendant l'utilisation ». Ces produits doivent être soigneusement protégés et entreposés dans des endroits aérés.

Surveiller les matériaux contenant de l'amiante

La fabrication, l'importation et la mise en vente de produits contenant de l'amiante, notamment l'amiante-ciment, ont été interdits. Tous les immeubles bâtis construits avant le 1er juillet 1997 doivent avoir fait l'objet d'une recherche d'amiante, par un contrôleur technique ou un technicien de la construction, dans les flocages, calorifugeages, faux plafonds, toitures, joints et dalles de sol en plastique. Les analyses de matériaux et produits sont réalisées par un organisme accrédité. Les propriétaires doivent constituer et tenir à jour un dossier technique « amiante », à la disposition des occupants de l'immeuble, des services de santé et de toute personne effectuant des travaux dans l'immeuble. Si les matériaux contenant de l'amiante ne sont pas dégradés, on procède tous les trois ans à un contrôle de leur état de conservation [4].

Si un début de dégradation est constaté, on pratique des analyses d'air. Si le niveau d'empoussièrement est supérieur à cinq fibres par litre, les propriétaires procèdent à des travaux de confinement (encapsulage par revêtement, imprégnation, encoffrement) ou de retrait de l'amiante. L'organisation du chantier par des entreprises qualifiées est soumise à des contraintes d'hygiène et de sécurité spécifiques. Les travaux de confinement justifient d'un contrôle périodique.

Protéger les peintures au plomb

Le préfet du département peut déclencher des mesures d'urgence dans un immeuble lorsqu'il est informé qu'un enfant est intoxiqué par le plomb (maladie à déclaration obligatoire) ou si un risque d'accessibilité au plomb pour les occupants lui est signalé. Ces mesures comportent un diagnostic, réalisé par ses services ou par un opérateur, sur l'ensemble des logements et parties communes, suivi éventuellement d'une notification aux propriétaires de travaux d'urgence ou palliatifs, qui consistent à recouvrir les surfaces dégradées et/ou remplacer certains éléments dégradés et d'un contrôle après travaux.

Dans les zones à risque d'exposition au plomb, délimitées par le préfet du département, tout vendeur d'un logement construit avant 1948 doit annexer à la promesse de vente et à l'acte de vente un état des risques d'accessibilité au plomb, réalisé par un contrôleur technique ou un technicien de la construction.

Maîtriser la contamination de l'eau chaude

La prévention de la contamination des réseaux d'eau chaude, consignée dans un carnet sanitaire, comprend trois niveaux d'intervention:

- maîtriser la température de l'eau à la production et dans les circuits de distribution : élever quotidiennement la température du ballon au-delà de 60 °C et délivrer l'eau à une température supérieure à 55 °C, maintenir l'eau dans les circuits à une température supérieure à 50 °C et mitiger l'eau chaude au plus près du point de puisage (< 50 °C) ;
- lutter contre l'entartrage et la corrosion : choix des matériaux constitutifs des canalisations, vidange des ballons toutes les semaines, nettoyage, détartrage et désinfection au moins une fois par an, détartrage et désinfection des appareils de robinetterie ou remplacement si usagés ou en mauvais état, compatibilité des matériaux constitutifs des installations avec les produits de nettoyage et de désinfection utilisables à visée préventive et curative [4];

– éviter la stagnation et assurer la bonne circulation de l'eau : identifier par un diagnostic technique sanitaire les bras morts et repérer les canalisations en mauvais état, supprimer les points d'eau très peu ou jamais utilisés et purger régulièrement les points d'eau des locaux inoccupés.

Le suivi de la température dans le réseau de distribution et les analyses de légionelles en différents points du réseau (fond du ballon, sortie du ballon, retour de boucle, points d'usage défavorisés et représentatifs) témoignent de la maîtrise de la contamination. Lorsque la concentration en *Legionella pneumophila* dépasse 100 000 unités par litre d'eau, des actions correctives (nettoyage et désinfection curative) doivent être mises en oeuvre pour supprimer l'exposition [4].

V. Conclusion

Nous passons en moyenne 22 heures sur 24 en espace clos ou semi clos, que cela soit dans des logements, lieux de travail, écoles, espaces de loisirs, commerces, transports etc.

L'air que l'on y respire peut avoir des effets sur le confort et la santé, depuis la simple gêne olfactive, la somnolence, l'irritation des yeux et de la peau jusqu'à l'aggravation ou l'apparition de pathologies comme, par exemple, l'asthme et les allergies respiratoires. Bien qu'il existe aujourd'hui de nombreuses études sur la qualité de l'air intérieur, les effets sur la santé d'une exposition chronique aux polluants chimiques et biologiques retrouvés dans l'air intérieur sont encore peu connus. La relation entre la présence de sources et des niveaux de concentrations mesurés y sont décrits, mais le lien entre l'exposition à certains polluants et le développement de pathologies, reste encore à identifier et à quantifier. Du fait du nombre d'individus exposés, la qualité de l'air intérieur est aujourd'hui une préoccupation majeure de santé publique. Si le plus souvent, le risque individuel est faible (exposition chronique), le risque collectif est grand. De plus, certaines populations plus sensibles où plus exposées sont particulièrement à risque (enfants, personnes âgées, immunodéprimées et aussi les malades respiratoires) [24].

Références

- [1] Marc Abadie, Contribution a l'étude de la pollution particulaire : rôle des parois, rôle de la ventilation, Thèses de doctorat de l'université de la rochelle 9- 2000
- [2] Aurélie Rouviere, Impact des combustions du bois de chauffage sur les atmosphères extérieures et intérieures étude de la dégradation d'un traceur spécifique en enceinte de simulation : le créosol, These de doctorat de L'université Joseph Fourier, 26 Octobre 2006
- [3] Yvon Le Moullec, L'air intérieur plus pollué que l'air extérieur, PRODUITS CHIMIQUES - Responsabilités et réponses des collectivités - Forum National Santé Environnement, 29 et 30 mars 2007
- [4] F. Squinazi, La pollution de l'air à l'intérieur des bâtiments (allergènes exclus), Paris, Rev Fr Allergol Immunol Clin 2002 ; 42 : 248-55
- [5] Nicolas Cordier, Développement et évaluation de stratégies de contrôle de ventilation appliquées aux locaux de grandes dimensions, L'institut national des sciences appliquées de Lyon, 12 janvier 2007
- [6] Philippe Quenel , Yvon Le Moullec, Pollutions atmosphériques intérieures, Actualité et dossier en santé publique, n° 13 décembre 1995
- [7] Dr Martyna Kuske , Dr Jacques Nicolas, Les pollutions dans l'air à l'intérieur des bâtiments, Diagnostic Incidences sur la santé
- [8] Organisation mondiale de la sante Genève 1983, Estimation de l'exposition de l'homme aux polluants atmosphériques N° 69
- [9] Jean-Bernard Gay, Section 2 : Confort et santé, 2001
- [10] Observatoire régional de la sante Rhône-Alpes, L'habitat et l'air intérieur, 2007
- [11] Luc Mosqueron , Vincent Nedellec, Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur Inventaire des données françaises sur la qualité de l'air a l'intérieur des bâtiments, Décembre 2001
- [12] Roselyne Ameon, Mathieu Dupuis, Environnement, Risques & Santé, Volume 3, Numéro 6, 375-9, Novembre-Décembre 2004
- [13] La surveillance de l'air en limousin (LIMAIR), Le risque radon et ses remédiations, Université de limoges, Volume 1 : Aspects généraux

- [14] Luc Mosqueron , Vincent Nedellec, Hiérarchisation sanitaire des paramètres mesures dans les bâtiments par l'observatoire de la qualité de l'air intérieur, Rapport final, Paris Novembre 2002
- [15] Julie Rigo, La santé environnementale au travail « les polluants intérieurs », décembre 2004
- [16] Baromètre sante environnement pays de la Loire 2007, ORS pays de la Loire, 2009 Chapitre 4 : pollution de l'air
- [17] Société d'études spécialisée dans l'énergie et l'environnement (alpheeis): Recenser, prévenir et limiter les risques sanitaires environnementaux dans les bâtiments accueillant des enfants
- [18] Benoit Lévesque, Pierre L. Auger, Jean Bourbeau, Jean François Duchesne, Pierre Lajoie, Dick Menzies, Environnement et santé publique- fondements et pratiques Chapitre12 : Qualité de l'air intérieur(2003). Edisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris
- [19] Le syndrome des bâtiments malades (Sick building syndrome) sur le site internet : <http://www.bossons-fute.com/Enquetes/sickbbuildingsyndrome.pdf>
- [20] Dr Simone Nérome, Pr Élisabeth Quoix, Anne Duburcq Air, pollution et cancer / Dossier
- [21] Pierre Lajoie, Gilles Dagenais, Pierre Ernst, Françoise Neukirch, Environnement et santé publique- fondements et pratiques, Chapitre28 : systèmes respiratoire et cardio-vasculaire (2003), Edisem / Tec & Doc, Acton Vale / Paris
- [22] Plan Régional de la Qualité de l'Air (PRQA), projet mai 2008
- [23] Marne la Vallée, Observatoire de la qualité de l'air intérieur, lancement de la première campagne nationale dans les logements, 15 décembre 2003
- [24] Zoulikha Bellia, Partie IV, Formalisation d'un système d'aide - Chapitre 3 : Modélisation d'un système informatique pour la gestion des demandes d'intervention dans le domaine des ambiances intérieures : une approche basée sur le raisonnement à partir de cas, Rapport décembre 2004