3

Contaminants

CONTAMINANTS

3.1 Introduction aux contaminants

Les contaminants du milieu sont des agents potentiellement nocifs qui ont été libérés dans l'écosystème et qui ont pénétré dans les aliments, dans l'eau, dans l'air et dans le sol. Nous les avons regroupés en trois catégories afin d'en faciliter la présentation :

- les produits chimiques, organiques ou inorganiques;
- les micro-organismes, qui comprennent les bactéries, les protozoaires, les virus et les champignons;
- le rayonnement, qui comprend les types ionisant et non ionisant.

Les substances qui se dégradent lentement et qui restent longtemps dans l'environnement sont des **contaminants persistants**. Lorsque les contaminants sont libérés dans le milieu, leur persistance devient une importante préoccupation. Une substance relativement toxique peut présenter un danger mineur si elle se dégrade rapidement en substances non dangereuses avant que la population n'y soit exposée. Inversement, un contaminant légèrement toxique qui subsiste longtemps dans un milieu auquel les humains sont exposés peut s'accumuler dans les tissus humains et devenir un sujet de préoccupation important. Les éléments tels que le plomb ou le cadmium ne se dégradent pas. Certains produits chimiques organiques, comme le DDT, les dioxines et les furanes et les biphényles polychlorés se dégradent très lentement dans le milieu et dans les tissus humains, même s'ils peuvent être détruits dans des conditions extrêmes, par exemple par incinération à des températures élevées. Les radionucléides constituent une catégorie particulière de contaminants, qui ne peuvent pas être transformés par des processus physiques ou chimiques; ils se dégradent lentement, leur période radioactive variant entre quelques minutes et des milliers d'années.

Les contaminants pénètrent dans le milieu de multiples façons. Les sources **ponctuelles** de contaminants sont localisées et souvent faciles à déterminer. Elles incluent :

- les décharges industrielles;
- les incinérateurs de déchets;
- les stations de traitement des eaux usées;
- les aires d'élimination des déchets.

Les sources **non ponctuelles** de contaminants sont également importantes. Elles sont plus diffuses et ne sont pas aussi faciles à déterminer que les sources ponctuelles. Elles comprennent :

- les eaux de ruissellement provenant de terrains traités avec des pesticides ou des engrais;
- les gaz d'échappement des automobiles;
- les sédiments contaminés;
- les eaux de ruissellement des égouts pluviaux provenant des zones habitées;
- les dépôts atmosphériques, qui sont des contaminants atmosphériques aboutissant sur le sol et dans l'eau. Par exemple, les métaux et les produits chimiques organiques présents dans les particules de poussière peuvent se déposer sur l'eau. Ces contaminants ont souvent parcouru de longues distances et ont réagi avec d'autres produits chimiques présents dans l'air (p. ex. les pluies acides).

La présente section du manuel contient de l'information générale sur les contaminants dans le milieu et des renseignements de base sur certains contaminants donnés et sur leurs effets potentiels sur la santé. Elle décrit plus particulièrement :

- les principales catégories de contaminants dans le milieu;
- l'origine de ces contaminants;
- leur mouvement et leur persistance dans l'environnement;
- la manière dont la population peut être exposée à ces contaminants;
- certains effets sur la santé qui ont été associés à l'exposition à ces contaminants;
- la réglementation concernant ces contaminants.

3.2 Les principales catégories de contaminants

Thomas Rahn

Les produits chimiques

Depuis la Seconde Guerre mondiale, la quantité et le nombre de produits chimiques fabriqués et utilisés ont considérablement augmenté. Des centaines de nouveaux produits font leur apparition chaque année sur le marché mondial. Les produits chimiques fabriqués font partie intégrante de tous les aspects de la vie moderne. Les avantages de l'utilisation des produits chimiques sont nombreux : augmentation de la production et de la qualité des aliments, amélioration des médicaments, amélioration de l'efficacité des procédés de production industrielle et diversification des produits de consommation et des matériaux de construction. Bien que la plupart des produits chimiques présentent des avantages importants, les dérivés et les déchets de fabrication peuvent causer des problèmes dans l'environnement s'ils ne sont pas manipulés ou éliminés correctement. Par exemple, depuis quelques années, le niveau de produits chimiques toxiques persistants dans l'écosystème du bassin des Grands Lacs est un important sujet de préoccupation.

Les produits chimiques dans le milieu peuvent se présenter sous une forme organique ou inorganique. Les produits organiques sont composés de carbone combiné à d'autres éléments tels que l'hydrogène, l'azote, l'oxygène, le soufre ou les halogènes comme le chlore. Les produits inorganiques ne contiennent pas de carbone et peuvent exister sous forme d'éléments simples, comme le chlore, ou d'une combinaison d'éléments (autres que le carbone), par exemple le chlorure de sodium. Les métaux peuvent être inorganiques lorsqu'ils se présentent sous forme élémentaire, comme le plomb (Pb^{++}) et le cadmium (Cd^{+}), ou sous forme organique, comme le méthylmercure.

Les constituants de base de tous les produits chimiques sont fournis par la terre. Les produits chimiques sont à l'origine de toute forme de vie et ils lui sont indispensables. Qu'un produit chimique soit naturel ou fabriqué, l'origine n'en prédétermine pas la toxicité, qui peut être faible ou élevée. Cependant, par le biais des activités industrielles, les organismes vivants, y compris les humains, ont été exposés à un grand nombre de produits chimiques qui étaient autrefois très rares dans le milieu. Ces substances étaient enfouies dans le sol et elles ont été libérées par les activités humaines (p. ex. l'exploitation minière) ou elles ont été créées par des procédés industriels, délibérément ou comme produits dérivés.

De nombreux produits chimiques, comme les BPC, persistent dans l'environnement pendant longtemps et peuvent s'accumuler dans les tissus des organismes vivants. Les concentrations de certains produits augmentent donc sans cesse, c.-à-d. qu'ils se bio-amplifient au fur et à mesure qu'ils s'élèvent dans la chaîne alimentaire (voir figure 3.1).

Une fois libérés, les contaminants chimiques se retrouvent dans différentes parties de l'environnement, notamment dans l'air, l'eau, le sol et les organismes vivants. Ils sont souvent **mobiles** et peuvent passer d'une partie de l'environnement à une autre. Par exemple, un produit chimique peut s'évaporer dans l'air, puis être entraîné par la pluie et déposé sur le sol et la végétation. Les plantes contaminées peuvent alors être consommées par différentes espèces animales. Les produits chimiques peuvent aussi être transportés sur de longues distances par le vent et les courants et par les organismes qui les ont absorbés. Par exemple, les tissus de la faune de l'Arctique canadien contiennent des traces de nombreux contaminants provenant d'Europe, d'Asie et d'Amérique.

Pour plus de renseignements sur l'exposition à chacun des produits chimiques et leurs effets sur la santé, voir la section *Profils des contaminants*.

Mesures

Les concentrations de produits chimiques et de métaux peuvent être exprimées de différentes façons au moyen de différentes unités de mesure. Dans les **liquides** tels que l'eau, les contaminants sont plus souvent exprimés en milligrammes par litre (mg/L) ou en microgrammes par litre (g/L). Un milligramme équivaut à 1/1000 de gramme et à mille microgrammes. Dans **le sol, les aliments et les autres solides**, les concentrations de contaminants sont généralement exprimées en milligrammes par kilogramme (mg/kg). Les concentrations de produits chimiques et de particules dans l'air sont habituellement exprimées en milligrammes ou en microgrammes par mètre cube (mg/m^3, g/m^3). Les concentrations de produits chimiques dans l'eau, le sol, les aliments et l'air sont exprimées parfois en parties par million (ppm), en parties par milliard (ppb), en parties par billion (ppt) ou en parties par quadrillion (ppq). La relation entre les diverses expressions de concentration est présentée dans le tableau 3.2.

Polluants critiques pour les Grands Lacs

En 1985, la Commission mixte internationale (CMI) a qualifié de polluants critiques pour les Grands Lacs onze des contaminants toxiques les plus persistants et les plus répandus (Accord relatif à la qualité de l'eau dans les Grands Lacs, 1987). Ces contaminants sont :

- les BPC, le DDT et ses métabolites, la dieldrine, le toxaphène, la dioxine (2,3,7,8-TCDD), le furane (2,3,7,8-TCDF), le mirex, l'hexachlorobenzène (HCB), le mercure, le plomb alkylé et le benzo[a]pyrène (B[a]P).

Tous ces composés sont très répandus et persistent longtemps dans le milieu. La CMI a récemment conclu que les composés organochlorés étaient des polluants de plus en plus préoccupants et qu'il fallait les considérer comme une classe à part parce qu'ils sont potentiellement très nocifs, nombreux et répandus.

En plus de ces composés très préoccupants, la CMI a répertorié plus de 1 000 autres composés toxiques. Bon nombre d'entre eux se rangent dans la catégorie des composés organiques volatils, qui ont tendance à s'évaporer ou à se dégrader rapidement. Ils sont encore très répandus et certains sont fort toxiques.

BIOACCUMULATION

LA PLUPART DES PRODUITS CHIMIQUES QUI PÉNÈTRENT DANS LE CORPS HUMAIN SONT MÉTABOLISÉS OU EXCRÉTÉS. LA RAPIDITÉ À LAQUELLE UN ORGANISME TRANSFORME OU EXCRÈTE UN PRODUIT CHIMIQUE DÉTERMINE LE TEMPS QUE CE DERNIER PASSERA DANS LE CORPS. LORSQUE LES PRODUITS CHIMIQUES PÉNÈTRENT DANS LE CORPS À UN TAUX PLUS IMPORTANT QU'ILS NE SONT EXCRÉTÉS, IL Y A BIOACCUMULATION DANS L'ORGANISME. LES PRODUITS LIPOSOLUBLES, TELS QUE LE DDT, LES DIOXINES, LES FURANES ET LES BPC SE BIOACCUMULENT DANS LES TISSUS ADIPEUX DU CORPS COMME LE FOIE ET DANS LES LIQUIDES ORGANIQUES COMME LE PLASMA. CERTAINS MÉTAUX TELS QUE LE PLOMB, LE MERCURE ET LE CADMIUM SE LIENT AUX PROTÉINES ET S'EMMAGASINENT DANS LE FOIE, DANS LES REINS ET DANS LES OS. LES RADIONUCLÉIDES PERSISTANTS S'ACCUMULENT SOUVENT DANS LES REINS, DANS LES DENTS ET DANS LES OS. LES HUMAINS EXPOSÉS À VIE À DES CONTAMINANTS FORTEMENT PERSISTANTS BIOACCUMULENT CES SUBSTANCES DANS LEUR CORPS.

SOURCES PONCTUELLES DE CONTAMINANTS DANS L'ENVIRONNEMENT

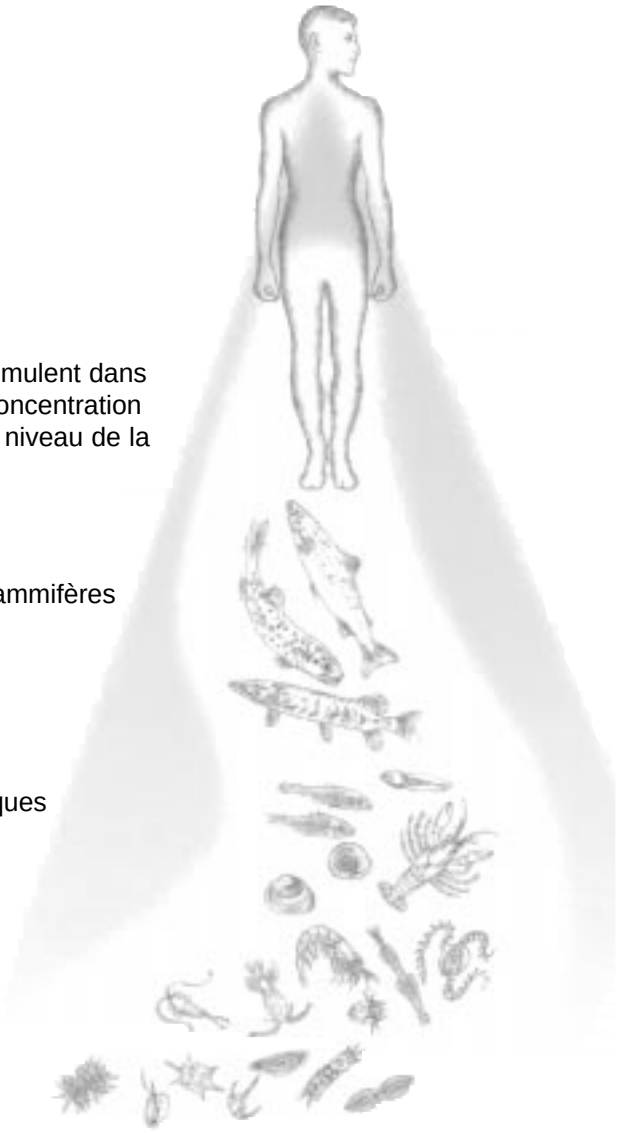
En Ontario, 300 emplacements industriels déversent leurs déchets directement dans les cours d'eau et dans les lacs et **12 000** autres les rejettent directement dans les réseaux d'égouts municipaux qui ne sont pas en mesure de traiter les produits chimiques toxiques de manière appropriée.

SOURCES NON PONCTUELLES DE CONTAMINANTS DANS L'ENVIRONNEMENT

Plus de 90 p. 100 des BPC, du **DDT** et du plomb qui s'introduisent dans le lac **Supérieur** chaque année proviennent de sources « non ponctuelles », à savoir de dépôts atmosphériques.

Figure 3.1

BIOAMPLIFICATION DES POLLUANTS DANS LA CHAÎNE ALIMENTAIRE



La bioamplification

Un contaminant présent à de très faibles concentrations dans l'eau peut se bioaccumuler dans le plancton ou dans les petits poissons. Lorsqu'un gros organisme, un poisson par exemple, consomme un grand nombre de ces petites créatures au cours de son existence, il bioaccumule, à son tour, les polluants déjà accumulés dans ses aliments et le contaminant est encore plus concentré. À chaque niveau de la chaîne alimentaire, la concentration augmente ou est bioamplifiée. Le niveau accumulé de produits chimiques persistants à l'état de traces dans les poissons ou dans d'autres animaux au sommet de la chaîne alimentaire peut constituer un risque important pour la santé.

Normes, critères, recommandations et niveaux — quelle est la différence?

Les différences entre ces termes sont importantes, particulièrement sur le plan juridique.

Une **norme** est une **limite ayant force exécutoire**, fixée pour la quantité ou la concentration d'une substance. Dépasser une norme pourrait entraîner des dommages inacceptables pour la santé humaine ou pour le milieu et peut donner lieu à des pénalités, telles que des amendes. Les normes, notamment celles qui sont établies pour les différents polluants atmosphériques, et les pénalités pour non-respect de ces normes, sont généralement fixées dans des **règlements** ayant force exécutoire.

Les **critères** et les **recommandations** sont des limites proposées à titre indicatif, mais elles n'ont **pas force de loi**. Il y a lieu de s'inquiéter lorsque la concentration d'une substance dépasse la limite fixée. Les critères et les recommandations fournissent des indications utiles pour la gestion des risques associés à l'exposition aux contaminants du milieu.

Les **niveaux** sont simplement l'expression des quantités ou des concentrations d'une substance dans divers milieux, comme l'air, l'eau et les tissus humains.

Les pesticides

La catégorie des **pesticides** englobe un grand nombre de classes de composés. Au cours des années, les pesticides ont suscité une grande attention. En raison de l'intérêt manifesté, un certain nombre de pesticides chimiques importants sont décrits dans la présente section. Ils incluent les composés organochlorés, les organophosphates, les carbamates, la triazine et les composés de type chlorophénoxy.

Origine

Un pesticide est un produit homologué (chimique ou non chimique) qui élimine les parasites tels que les insectes, les rongeurs, les mauvaises herbes, les bactéries, les virus, les algues et les champignons. Le terme **pesticides** décrit généralement plusieurs catégories de composés qui comprennent les herbicides, les fongicides, les insecticides, les rodenticides, les algicides, les désinfectants et plusieurs autres. Les composés pesticides peuvent être organiques (c.-à-d. contenant du carbone) ou inorganiques. Les pesticides biologiques comprennent les agents microbiens (p. ex. *Bacillus thuringiensis*) et les phéromones (hormones libérées par les animaux).

Tableau 3.1

UNITÉS DE BASE

kg (kilogramme) = 10^3 gramme	µg (microgramme) = 10^{-6} gramme
g (gramme)	ng (nanogramme) = 10^{-9} gramme
mg (milligramme) = 10^{-3} gramme	pg (picogramme) = 10^{-12} gramme

Tableau 3.2

SOL, ALIMENTS ET EAU

SI Units in Liquids	Equivalent in Parts Per Unit				SI Units in Solids
	ppm	ppb	ppt	ppq	
1 g/L	10^3	10^6	10^9	10^{12}	1 g/kg
1 mg/L	1	10^3	10^6	10^9	1 mg/kg
1 µg/L	10^{-3}	1	10^3	10^6	1 µg/kg
1 ng/L	10^{-6}	10^{-3}	1	10^3	1 ng/kg
1 pg/L	10^{-9}	10^{-6}	10^{-3}	1	1 pg/kg

Tableau 3.3

AIR

Conversion en unités SI métriques d'équivalents en parties par unité
$\mu g/^3$ = ppm x masse moléculaire du contaminant x 40,9

Les pesticides sont largement utilisés en agriculture et en foresterie, où ils sont devenus essentiels aux pratiques agricoles conventionnelles (non organiques) et à la protection des aliments après la récolte. Le genre de culture à rendement intensif pratiqué au Canada repose actuellement sur l'utilisation d'engrais et de pesticides. Une utilisation appropriée des pesticides peut aider à protéger les terres cultivées, menant à un approvisionnement abondant d'aliments à prix raisonnable exempts d'infections et de maladies, et elle peut éliminer des parasites qui transmettent des maladies aux personnes ou aux animaux.

Plus de 500 substances actives sont recensées pour être utilisées comme pesticides au Canada. Cherchant à maximiser les avantages des pesticides tout en réduisant les effets secondaires dangereux liés à leur utilisation, l'Ontario a mis en place un projet destiné à diminuer de moitié l'utilisation de tous les pesticides d'ici l'an 2000. Pour atteindre cet objectif, on aura recours à la Gestion intégrée des parasites (GIP).

La gestion durable des parasites

La Commission mondiale de l'environnement et du développement, mieux connue sous le nom de Commission Brundtland, a expliqué que le développement durable consistait à satisfaire aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire les leurs. Le développement durable aborde la question de l'interdépendance des systèmes social, environnemental et économique. Dans le cadre du développement durable, la Gestion intégrée des parasites (GIP) réunit toutes les techniques existantes nécessaires pour gérer efficacement les parasites, sur les plans économique et environnemental. Les programmes de GIP sont basés sur la connaissance et ils sont mis au point pour des cultures et des parasites particuliers. Pour être efficacement mis en oeuvre, les programmes de GIP nécessitent la participation active des agriculteurs et des experts-conseils. Divers établissements fédéraux, provinciaux et universitaires soutiennent la recherche et les besoins opérationnels de la GIP. Celle-ci comprend une vaste gamme de techniques agricoles, telles que l'utilisation stratégique de pesticides chimiques et naturels et de prédateurs naturels.

L'agriculture biologique est une autre technique de culture. Elle constitue un système de production global qui met en valeur la biodiversité, les cycles biologiques et l'activité biologique du sol afin d'éliminer les besoins de produits chimiques toxiques. Son objectif est de produire des aliments nutritifs, tout en gérant la terre de façon responsable. La fertilité du sol est maintenue par l'utilisation de compost, de cultures-pièges (cultures qui « piègent » les éléments nutritifs qui risqueraient d'être perdus après la récolte) et d'engrais verts (cultures qui apportent des éléments nutritifs au sol lorsqu'elles y sont enfouies). Pour la gestion des parasites et des maladies, on a recours à une approche préventive qui favorise les relations hôte-prédateur équilibrées et qui, lorsque c'est nécessaire, se tourne vers les méthodes de lutte biologiques ou mécaniques ayant les plus faibles répercussions écologiques. À l'occasion, et en dernier ressort, des pesticides végétaux, tels que la roténone, peuvent être employés.

En 1996, les aliments biologiques représentaient 0,5 p. 100 des ventes d'aliments au détail aux États-Unis. On ne dispose pas de chiffres pour le Canada, mais le secteur est en croissance constante car le public se préoccupe de plus en plus des effets de l'agriculture conventionnelle sur l'environnement. Certains consommateurs achètent des aliments biologiques pour des raisons de santé, particulièrement ceux qui souffrent d'allergies ou de maladies liées à l'environnement. La santé figure aussi au nombre des raisons données par les agriculteurs pour adopter des méthodes biologiques, car elles réduisent leur exposition aux toxines.

Les pesticides organochlorés sont des composés chlorés qui comprennent le DDT, l'aldrine, la dieldrine, l'endrine, le chlordane, l'heptachlore, le toxaphène, l'hexachlorobenzène et le lindane. Les composés organochlorés agissent sur les parasites en entravant la transmission des influx nerveux, perturbant ainsi principalement le fonctionnement du système nerveux. En raison de leur persistance dans le milieu, de nombreux composés organochlorés ont été interdits, retirés de la liste des produits homologués, ou leur utilisation a été fortement restreinte depuis le début des années soixante-dix. Ils sont encore utilisés dans de nombreux pays en développement pour éliminer les parasites des plantes et les insectes qui peuvent transmettre des maladies.

Les composés organophosphorés et les carbamates sont des neurotoxines utilisées comme insecticides. Ils ont été mis au point pour remplacer les composés organochlorés, plus persistants. Les composés organophosphorés composent maintenant le groupe de pesticides le plus largement utilisé dans le monde. Ils englobent le parathion, le malathion, le diazinon, le chlorpyrifos et de nombreux autres. Les carbamates comprennent des composés tels que l'aldicarbe, l'aminocarbe, le carbaryl, le carbofurane et le méthiocarbe. Les agriculteurs trouvent ces pesticides utiles parce qu'ils offrent un vaste choix pour lutter contre les divers parasites et qu'ils sont extrêmement efficaces. Les pesticides organophosphorés ne persistent pas dans l'environnement. Les carbamates, bien qu'ils soient un peu plus persistants, n'entraînent généralement pas non plus de bioaccumulation dans le milieu. Ces deux groupes agissent sur les parasites en entravant l'action de l'acétylcholinestérase, une enzyme essentielle à la fonction nerveuse, endommageant ainsi cette fonction. Ils sont extrêmement toxiques pour les insectes, les animaux et les humains.

Les triazines forment un groupe de composés qui comprend des herbicides tels que l'atrazine, la simazine, la propazine et la cyanine. Ils agissent comme inhibiteurs de la photosynthèse chez les plantes nuisibles. L'atrazine a été l'herbicide le plus utilisé dans le monde au cours des trente dernières années et elle s'est révélée particulièrement efficace pour traiter les cultures de maïs.

Les herbicides de type chlorophénoxy comprennent le 2,4-D et des composés apparentés tels que le MCPA. Le 2,4-D est largement utilisé comme herbicide en raison de son faible coût, de son efficacité sur les dicotylédones et parce qu'il ne persiste pas ou ne se bioaccumule pas dans l'environnement. Il est extrêmement toxique pour les plantes, les animaux et les humains. Les herbicides de type chlorophénoxy agissent en entravant la formation de l'adénosine triphosphate, empêchant ainsi l'alimentation des cellules en énergie. (Voir également *Profils des contaminants*)

Outre les ingrédients actifs décrits ci-dessus, la plupart des produits de contrôle des parasites contiennent des composants supplémentaires, appelés **formulants**. Ces composants présentent des propriétés physiques ou chimiques utiles dans un pesticide (p. ex. en agissant comme adhésifs, épandeurs, émulsifiants et solvants). Bien que l'activité pesticide ne relève pas directement des formulants, ces derniers peuvent représenter des dangers toxicologiques et environnementaux.

Persistance et mouvement dans l'environnement

Les pesticides peuvent s'introduire dans le milieu au cours de leur fabrication, de leur utilisation et de leur élimination. Ils peuvent parcourir de longues distances dans l'atmosphère et se déposer loin de leur lieu d'utilisation d'origine. On estime que les dépôts atmosphériques constituent une source importante de contamination par les pesticides dans les Grands Lacs et dans le Nord. Par exemple, on a constaté la présence de plusieurs pesticides organochlorés persistants dans les tissus d'ours polaires et de phoques de l'Arctique canadien, bien que ces substances n'aient pas été utilisées dans cette région. Ces pesticides y ont été déposés après transport atmosphérique sur de longues distances à partir des régions du sud où ils sont utilisés. De même, le toxaphène a contaminé des poissons du Yukon et des Territoires du Nord-Ouest, même s'il n'a jamais été utilisé dans ces régions. En Ontario, l'utilisation des

pesticides est particulièrement importante dans le sud et les résidus de plusieurs pesticides se retrouvent dans les bassins hydrographiques dans des régions où de grandes quantités de pesticides sont appliquées aux cultures.

Les pesticides peuvent s'introduire dans l'approvisionnement d'eau lorsqu'ils sont déversés accidentellement, siphonnés dans les puits au moment de leur mélange, éliminés de façon incorrecte, pulvérisés au-dessus de l'eau pour contrôler les moustiques et les mouches noires ou lixiviés du sol dans les eaux souterraines. De plus, ils peuvent être déviés de leur objectif durant un épandage aérien et contaminer l'eau s'écoulant des champs, des centrales d'énergie hydroélectrique, des autoroutes et des bords de voies ferrées. Les résidus de pesticides dans les aliments sont généralement très faibles, mais ils peuvent résulter d'une mauvaise application sur les cultures avant ou après la récolte ou d'un traitement inapproprié des aliments pour prévenir l'altération ou l'infestation par les insectes.

En raison de leur structure chimique très stable, les **composés organochlorés**, tels que le DDT et le toxaphène, ne se dégradent pas facilement et ils demeurent longtemps dans l'environnement. Certains de ces composés sont persistants et tendent à s'accumuler dans la chaîne alimentaire, les concentrations dans les tissus adipeux des animaux supérieurs et des humains pouvant ainsi atteindre des niveaux qui peuvent constituer un risque pour la santé. Bien que leur utilisation ait été en grande partie interdite au Canada depuis le début des années soixante-dix, bon nombre de ces composés persistent encore dans le milieu et on en tient compte lorsqu'on établit les directives de consommation de poisson dans les Grands Lacs.

La plupart des **pesticides organophosphorés** et **carbamates** se dégradent généralement facilement sous l'action des enzymes présents chez les organismes vivants ou d'autres procédés dans l'environnement. Leur demi-vie peut aller de quelques jours à plusieurs mois, quoiqu'ils persistent généralement plus longtemps dans les climats secs et à de basses températures. Comme ils sont moins persistants, ils sont moins susceptibles que les pesticides organochlorés de s'accumuler dans les tissus animaux et humains. Toutefois, ils sont plus solubles dans l'eau que les composés organochlorés et, dans certains cas, ils sont plus susceptibles d'atteindre les approvisionnements d'eau.

Les **herbicides à base de triazine** sont modérément persistants dans le milieu car ils sont assez insolubles dans l'eau, leur demi-vie se mesurant en mois. Le mouvement de l'atrazine dans l'environnement est un important sujet de préoccupation; on l'a détectée aussi bien dans des eaux de surface que dans des eaux souterraines, en raison de sa mobilité dans le sol. L'atrazine se dégrade par photolyse (exposition à la lumière) dans le sol et dans l'eau et par des processus microbiens dans le sol.

Exposition

Le public est exposé aux pesticides par les usages domestiques, les faibles résidus dans les aliments et, dans une moindre mesure, par de faibles quantités dans l'eau potable.

Dans le cas des pesticides actuellement homologués au Canada, le risque d'exposition est élevé pour les travailleurs d'usine, pour les travailleurs agricoles et pour ceux qui manipulent ces produits, bien que toutes les étapes de la fabrication, du transport, de la vente, de l'application et de l'élimination des pesticides soient sévèrement contrôlées par des normes et des cours d'accréditation en matière de sécurité. Les personnes qui travaillent dans les secteurs de la fabrication, du transport et de l'élimination des produits chimiques, ainsi que celles qui appliquent et vendent les pesticides, peuvent être

exposées à ces produits chimiques par inhalation ou par contact cutané. Le risque d'exposition est plus élevé lorsque les travailleurs ne respectent pas les codes de sécurité et les règles de bonne hygiène et en cas de déversement ou d'accident. L'utilisation inappropriée, par les travailleurs agricoles, de récipients ayant contenu des pesticides pour faire la cuisine ou pour boire, et la contamination de récipients d'eau ouverts pendant l'épandage aérien de pesticides ont entraîné des niveaux élevés d'exposition.

La formulation des pesticides aura des conséquences sur le taux d'exposition et de pénétration. Il existe diverses formulations : liquides, solides ou gazeuses. Certaines peuvent pénétrer dans la peau plus facilement que d'autres. Quelques-unes sont plus volatiles et peuvent présenter un plus grand danger d'inhalation. Par exemple, les formulations en aérosol sont difficiles à confiner dans la zone souhaitée et peuvent présenter un danger d'inhalation pour la personne qui les applique. Comprendre les mécanismes de l'exposition aidera les utilisateurs de pesticides à comprendre de quelle façon un pesticide est susceptible d'être absorbé. Ils pourront alors choisir les vêtements et le matériel de protection, ainsi que les méthodes de travail appropriés pour réduire l'exposition aux diverses formulations.

L'exposition aux pesticides organochlorés persistants est principalement due à la consommation d'aliments gras contenant de petites quantités de ces composés. Depuis l'interdiction d'un grand nombre de ces pesticides au milieu des années soixante-dix, leurs niveaux dans les cultures ont diminué et devraient continuer de baisser. Le Canada est l'un des pays où les niveaux de résidus dans les aliments sont les moins élevés dans le monde.

Les gros poissons situés au sommet de la chaîne alimentaire qui proviennent du bassin des Grands Lacs et des eaux intérieures peuvent constituer une source d'exposition aux composés organochlorés. Des directives de consommation de poisson ont été formulées pour le produit de la pêche sportive. Les captures de la pêche commerciale dans les Grands Lacs sont régulièrement contrôlées et présentent peu de risques pour le consommateur.

(Voir également le chapitre 8, « Qualité des aliments »)

Considérations d'ordre sanitaire

Les signes de toxicité des pesticides chez les travailleurs agricoles et chez les travailleurs de l'industrie de la fabrication des produits chimiques ayant été exposés à des niveaux élevés de ces produits sont bien documentés. Certains pesticides sont nocifs au contact direct avec les yeux et la peau, provoquant une irritation et une éruption cutanée. Ils peuvent également provoquer une irritation des voies respiratoires. Les autres effets dépendent du pesticide et du genre d'exposition. Il est important de lire l'étiquette et de suivre le mode d'emploi afin d'éviter l'exposition.

Dans le cas des **pesticides organochlorés** persistants (p. ex. le DDT), qui s'accumulent dans la chaîne alimentaire, les effets sur la santé dus à une exposition chronique (à long terme) sont plus inquiétants que les effets dus à une exposition aiguë. Chez les poissons et la faune, on a observé des effets sur le développement et sur la reproduction découlant d'une exposition chronique au niveau de ces pesticides dans le milieu. Au cours d'études menées sur des animaux en laboratoire, on a constaté une interruption des cycles de reproduction et des malformations congénitales. Bien qu'on redoute l'apparition d'effets similaires chez les humains exposés aux mêmes pesticides dans le milieu, on n'a pas obtenu à ce jour de preuves scientifiques manifestes. Une exposition aiguë à de grandes quantités de certains pesticides organochlorés peut provoquer nausées, vomissements, diarrhées, maux d'estomac, excitabilité, céphalées, étourdissements et désorientation. Il peut arriver, quoique rarement, que des convulsions et la mort s'ensuivent. Plusieurs pesticides organochlorés qui pourraient être cancérogènes pour les humains ont été retirés du marché canadien.

Contrairement aux pesticides organochlorés, les **pesticides organophosphorés** et les **pesticides carbamates** se dégradent rapidement dans le milieu et ils ne s'ac-

cumulent pas ou ne se concentrent pas aussi facilement dans la chaîne alimentaire. De ce fait, les effets sur la santé résultant d'une exposition chronique à ces pesticides sont nettement moins inquiétants qu'une exposition aux pesticides organochlorés. Toutefois, les composés organophosphorés et carbamates présentent un plus grand risque de toxicité aiguë chez les humains que les composés organochlorés.

Les pesticides organophosphorés et les pesticides carbamates s'absorbent facilement à la suite d'une inhalation, d'une ingestion ou d'un contact cutané. Étant donné que ces composés circulent rapidement dans tout le corps, ils sont associés à une apparition rapide de symptômes, quelques minutes ou quelques heures après l'exposition. Certains des pesticides organophosphorés les plus liposolubles peuvent tout d'abord être stockés dans les graisses du corps sans provoquer l'apparition de symptômes pendant plusieurs jours. Bon nombre de composés organophosphorés et carbamates sont jugés extrêmement toxiques à des doses relativement faibles. Les carbamates tendent à être moins toxiques que les pesticides organophosphorés, mais les symptômes liés à l'intoxication sont similaires. Cependant, le pesticide le plus toxique lorsqu'il est ingéré par voie orale est l'aldicarbe. Les pesticides organophosphorés et carbamates entravent les influx nerveux dans le corps en gênant l'action d'une enzyme, l'acétylcholinestérase. Les doses toxiques, résultant généralement d'une forte exposition professionnelle ou accidentelle, provoquent des symptômes tels que sudation, vomissements, faiblesses, paralysie et, dans les cas extrêmes, la mort, généralement causée par une défaillance respiratoire.

De nombreux composés organophosphorés et carbamates, seuls ou combinés à d'autres pesticides, sont responsables de la plupart des intoxications liées aux pesticides. Les incidents en cause comprennent des suicides, des homicides et des expositions accidentelles, particulièrement chez les enfants. Les pesticides contiennent généralement des véhiculants, tels que le toluène ou le xylène, qui peuvent également avoir des effets toxiques.

Les bébés de moins de six mois peuvent être particulièrement sensibles aux pesticides organophosphorés et aux carbamates car leur système de l'acétylcholinestérase n'est pas complètement développé et que leur foie immature est incapable de métaboliser et de détoxifier ces composés aussi facilement que les adultes. Une exposition aux pesticides organophosphorés présente un risque accru pour les personnes asthmatiques, car bon nombre de ces composés provoquent un rétrécissement des voies respiratoires, ce qui peut exacerber la difficulté à respirer.

Les **composés à base de triazine** présentent une toxicité aiguë peu élevée, mais ils ont été associés à la dermite de contact (irritation cutanée) et à l'eczéma chez des travailleurs qui avaient été en contact avec ces herbicides.

Réglementation

La principale loi fédérale qui régit l'utilisation des pesticides au Canada est la *Loi sur les produits antiparasitaires* qui, avec ses règlements d'application, est administrée par l'Agence de réglementation de la lutte antiparasitaire de Santé Canada. La procédure d'homologation inclut une évaluation approfondie des études scientifiques sur la toxicologie, les fréquences environnementales et la performance du produit. L'objectif de la loi est d'assurer la sécurité, le bien-fondé et la valeur des produits antiparasitaires utilisés au Canada.

Les fabricants doivent informer le gouvernement fédéral de la composition de leurs produits, c.-à-d. du nom et de la concentration de tous les formulants. Le produit formulé doit faire l'objet d'essais de toxicité aiguë qui servent à évaluer les risques aigus que présentent les formulants combinés aux substances actives, et qui peuvent souligner l'opportunité de soumettre ces formulants à des tests de toxicité supplémentaires.

En ce qui concerne les aliments, la *Loi sur les aliments et drogues* et ses règlements d'application interdisent la vente d'aliments canadiens ou importés contenant une substance nocive ou toxique. Les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au*

Canada établissent les niveaux acceptables de contaminants chimiques nombreux dans l'eau potable, tandis que le Programme de surveillance de l'eau potable de l'Ontario contrôle régulièrement les produits chimiques. La plupart des produits chimiques sont éliminés par les procédés de traitement des eaux municipales; les niveaux qui subsistent sont généralement minimes et ne sont pas considérés comme posant un risque pour la santé humaine.

D'autres lois fédérales réglementent différents aspects de l'utilisation des pesticides. La *Loi sur la convention concernant les oiseaux migrateurs* protège les oiseaux aquatiques et d'autres oiseaux migrateurs et la *Loi sur les pêches protège les poissons et leur habitat*. La *Loi sur le transport des marchandises dangereuses* et ses règlements d'application n'autorisent le transport des marchandises pouvant être dangereuses que s'il est effectué par des personnes convenablement formées et selon des marches à suivre.

Les lois provinciales et municipales peuvent restreindre encore davantage l'utilisation des pesticides en fonction des conditions provinciales et de la santé publique. La réglementation de la vente après homologation, de l'entreposage, de l'utilisation et de l'élimination des pesticides relève directement des gouvernements provinciaux. Cela comprend la formation et la délivrance de permis aux opérateurs antiparasitaires, aux marchands de pesticides et aux exterminateurs, l'imposition de mesures de réduction des risques, le contrôle des effets nocifs après homologation, l'observation de la réglementation et l'application de la loi. Les mesures de réduction des risques sont nombreuses, incluant la nécessité d'obtenir un permis pour des utilisations à risque élevé (c.-à-d. la fumigation d'immeubles, le traitement des mauvaises herbes en milieu aquatique), la pose d'avis après pulvérisation dans les zones urbaines et la prise de mesures concernant les déversements et l'assainissement (ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario, octobre 1995). (Pour de plus amples renseignements sur des pesticides donnés, voir *Profils des contaminants*)

Autres produits chimiques

Origine

Bon nombre des produits chimiques qui ont été utilisés et libérés dans le milieu sont maintenant des sujets de préoccupation pour la population et sa santé. Ce sont notamment les biphényles polychlorés (BPC) les dioxines et les furanes, les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) et les naphtalènes chlorés. Ces composés n'ont jamais été utilisés comme pesticides, mais ils posent actuellement un problème pour l'environnement en raison de leur persistance.

Les **BPC** forment un groupe de 209 produits chimiques similaires, appelés congénères, qui ont été largement employés dans les appareils électriques et hydrauliques, ainsi que comme lubrifiants en raison de leur stabilité chimique et de leur résistance à la chaleur. En 1980, l'usage des BPC au Canada a été limité aux appareils électriques et mécaniques existants. L'importation et la fabrication d'appareils contenant des BPC ont été interdites.

Les **dioxines et les furanes** constituent un groupe de produits chimiques (75 dioxines et 135 furanes) qui sont des sous-produits indésirables de procédés industriels, comme la fabrication de certains pesticides et le blanchiment au chlore de la pâte de bois. Ils sont également des sous-produits de la combustion de

Quelques catégrories de pesticides

Les herbicides

Ils contribuent à la lutte contre les mauvaises herbes. Les herbicides les plus répandus au Canada sont le 2,4-D et les composés apparentés comme le MCPA, qui servent à lutter contre les dicotylédones.

Les insecticides

Ils sont utilisés pour lutter contre les insectes indésirables. Les plus courants sont le parathion, le diazinon, le malathion et le fénitrothion. On trouve aussi les pyréthroïdes de synthèse, les régulateurs de croissance d'insectes de synthèse et les phéromones (tels que les attractifs sexuels).

Les fongicides

Ils servent à prévenir le pourrissement des fruits et des légumes. Le captan est un fongicide couramment utilisé sur les cultures au Canada. Cette catégorie est également utilisée pour la préservation du bois dans les secteurs du bois d'oeuvre, de la transformation du bois et de la construction.

Les rodenticides

Ils sont utiles pour combattre les rongeurs et autres petits mammifères. Les plus courants sont la strychnine, la scille et la warfarine.

carburants, notamment celle qui se produit dans les moteurs de véhicules et dans les chambres de combustion, ainsi que durant l'incinération de déchets.

Les **HAP** sont un groupe important de produits chimiques formés par la combustion incomplète de combustibles fossiles, de matières organiques et d'ordures ménagères. On les trouve dans la suie et dans de nombreux produits pétroliers, dont la créosote, le goudron et les gaz d'échappement des véhicules; ce sont des sous-produits de l'industrie de la fusion du métal. De plus, les HAP sont présents dans les aliments soumis à certaines méthodes de préparation, tels les aliments fumés, grillés, frits ou cuits au charbon de bois. Parmi les nombreux HAP présents dans l'environnement, le benzo[a]pyrène, ou B[a]P, est le produit le plus étudié à ce jour.

Les **naphtalènes chlorés** sont un groupe de produits chimiques composés de nombreux isomères. Ils sont utilisés dans l'isolation électrique et sont des sous-produits de procédés de fabrication industrielle au cours desquels ils sont libérés dans le milieu.

Persistance et mouvement dans l'environnement

Les BPC, les dioxines et les furanes et les naphtalènes chlorés se dégradent lentement dans le milieu. Ils sont également très solubles dans les graisses et, de ce fait, ont tendance à s'accumuler dans les organismes vivants, y compris dans les tissus humains. Les HAP se dégradent plus facilement, mais sont continuellement produits par diverses sources et libérés dans l'environnement. Ces contaminants peuvent être transportés dans l'atmosphère au gré des courants atmosphériques, dans l'eau ou par les organismes vivants.

Exposition

La plus importante forme d'exposition de la population aux BPC et aux dioxines et aux furanes est la consommation d'aliments contaminés par des quantités négligeables de ces substances. Ces contaminants sont présents à l'état de traces dans le corps de tous les Canadiens et Canadiennes. Étant donné que les BPC et les dioxines et les furanes s'accumulent dans les tissus adipeux, et notamment dans le lait maternel, les nourrissons pourraient y être très exposés. Cependant, les études révèlent que les avantages de l'allaitement maternel pour la santé dépassent les risques posés par ces contaminants. Les plus importantes sources d'exposition de la population aux HAP sont l'inhalation de la fumée de tabac, de la fumée de bois et d'air contaminé, ainsi que l'ingestion de HAP présents dans les aliments. L'inhalation et le contact cutané sont les deux plus importantes formes d'exposition aux naphtalènes chlorés en milieu de travail. La consommation d'aliments contaminés est vraisemblablement la plus importante forme d'exposition de la population.

Considérations d'ordre sanitaire

Les divers **congénères des BPC** présentent des structures chimiques légèrement différentes et ils se distinguent principalement par le nombre et la position de leurs atomes de chlore. Un nombre supérieur d'atomes de chlore entraîne généralement un niveau de toxicité plus élevé. Les effets observés au cours des études menées sur des animaux en laboratoire comprennent une baisse de la longévité, des fréquences sur le développement de la progéniture et sur la reproduction et des cancers. L'exposition professionnelle à des niveaux élevés de mélanges de BPC a quelquefois été associée à une irritation cutanée et à des effets sur le foie. La toxicité à long terme pour la reproduction n'est pas associée au nombre d'atomes de chlore, mais plutôt à la manière dont ils sont disposés dans le composé.

Une dioxine en particulier, connue sous le nom de **2,3,7,8-TCDD**, est extrêmement toxique. Des études menées sur des animaux en laboratoire ont montré qu'une

exposition prolongée entraînait une perte de poids et des dommages au foie, à l'appareil génital et au système immunitaire. Des expositions accidentelles d'humains à la 2,3,7,8-TCDD ont entraîné des lésions cutanées, mais elles n'ont pas été mortelles. D'après les études réalisées, on pourrait observer une augmentation des taux de cancer, résultant à long terme d'une forte exposition professionnelle ou accidentelle à la dioxine.

Les effets sur la santé attribués à l'exposition aux **HAP** sont la bronchite, la dermite et autres maladies de la peau. De plus, des cancers du poumon et de la peau ont été signalés chez des personnes exposées dans le milieu de travail.

Les effets les plus fréquents chez les personnes exposées aux **naphtalènes chlorés** sont une chloracné de la peau, résultant principalement d'un contact direct, et une atteinte hépatique provoquée par l'inhalation en milieu industriel. Le foie est le principal organe interne directement touché par les naphtalènes chlorés.

Les effets sur la santé des contaminants mentionnés ci-dessus ont été observés à la suite d'une forte exposition professionnelle ou accidentelle, ou chez des animaux de laboratoire soumis à de fortes doses de ces produits chimiques. En comparaison, la population est exposée à de très faibles niveaux présents dans l'environnement. Les effets sur la santé de la population d'une exposition prolongée aux faibles niveaux de l'environnement ne sont pas aussi apparents ou aussi bien compris.

Réglementation

Les BPC, les dioxines et les furanes et les autres composés organochlorés sont contrôlés par Santé Canada dans les aliments canadiens et importés, dans le cadre de divers programmes, et sont soumis à la *Loi sur les aliments et drogues* et à ses règlements d'application.

Les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* établissent les niveaux acceptables de contaminants chimiques nombreux dans l'eau potable, tandis que le Programme de surveillance de l'eau potable de l'Ontario contrôle régulièrement les produits chimiques. La plupart des produits chimiques sont éliminés par les procédés de traitement des eaux municipales; les niveaux qui subsistent sont généralement minimes et ne sont pas considérés comme posant un risque pour la santé humaine.

La *Loi sur les produits dangereux* régit également les concentrations de contaminants chimiques dans de nombreux produits de consommation.

En 1992, le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario a élaboré des règlements dans le cadre de sa Stratégie municipale et industrielle de dépollution (SMID), en vue de réduire ou d'éliminer la formation des dioxines et des furanes, en modifiant les pratiques industrielles, particulièrement dans les usines de pâtes et papiers. De même, les règlements adoptés en vertu de la *Loi canadienne sur la protection de l'environnement* ont réduit la quantité de dioxines et de furanes rejetées par les usines de pâtes et papiers utilisant le procédé de blanchiment au chlore.

Pour plus de renseignements sur des produits chimiques particuliers, voir *Profils des contaminants*.

Q. Où en sont les concentrations de contaminants dans le bassin des Grands Lacs?

R. Les concentrations de contaminants dans l'air, dans l'eau et dans la faune ont connu une baisse générale. Les métaux et les substances chlorées persistantes ont rapidement diminué entre le début des années soixante-dix et le début des années quatre-vingt. Depuis, la baisse est beaucoup plus lente. Les niveaux de contaminants dans le lait maternel humain ont aussi fléchi et ont continué de baisser lentement jusqu'aux dernières mesures effectuées en 1992. Les concentrations dans les aliments vendus sur le marché canadien sont extrêmement faibles et généralement nette-

ment inférieures aux niveaux d'intervention acceptés dans le monde. Les concentrations de certaines substances toxiques persistantes (p. ex. dioxines et BPC) sont suffisamment élevées dans certains poissons et gibiers pour constituer un risque pour la santé des personnes qui dépassent les recommandations de consommation basées sur des critères de santé.

Les métaux

Plusieurs métaux et leurs composés présents dans le milieu constituent une source de préoccupation pour la santé. Ils sont relativement abondants dans l'environnement et suscitent des inquiétudes sur le plan toxicologique.

L'**aluminium** est présent dans l'écorce terrestre, dans de nombreux produits de consommation et dans d'autres produits manufacturés.

L'**arsenic** est fortement répandu dans la nature et on le trouve principalement dans les eaux souterraines où le sous-sol rocheux en est riche.

Le **cadmium** présent dans l'environnement provient de nombreuses sources, dont les incinérateurs, les piles et le transport à grande distance. Le cadmium est utilisé dans de nombreux procédés industriels.

Le **chrome** est abondant dans l'écorce terrestre et on l'emploie dans l'industrie des métaux.

Le **plomb** présent dans l'environnement résulte de l'utilisation, dans le passé, d'essence au plomb; il provient aussi des incinérateurs et de certains procédés industriels actuels et anciens, ainsi que de l'élimination de vieille peinture au cours des rénovations.

Les résidus de **mercure** proviennent d'anciennes pratiques industrielles, de pesticides qui ne sont plus utilisés, des incinérateurs et du transport à grande distance.

Le **nickel** est surtout employé dans l'industrie sidérurgique et il est présent dans certains produits de consommation.

D'autres métaux, tels que l'antimoine, le béryllium, le fer, le manganèse, le sélénium et le zinc, sont présents dans le milieu et peuvent être des facteurs de préoccupation pour la santé.

Origine

Les métaux ont de multiples applications industrielles. Sous leur forme métallique, ils peuvent entrer dans la composition de structures, de conduites, de brasures et de fournitures électriques. Sous forme de composés organiques et inorganiques, on les trouve dans les pigments, dans les peintures, dans les médicaments, dans les additifs de carburants et dans les pesticides.

Persistance et mouvement dans l'environnement

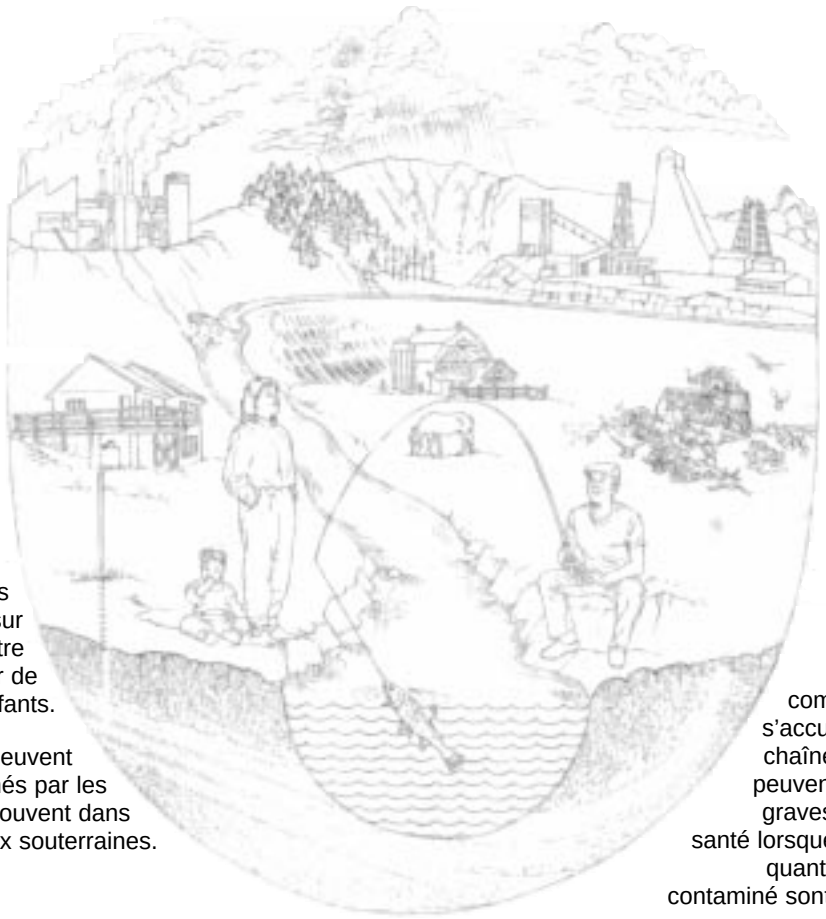
Les métaux ne sont ni créés, ni détruits, mais on peut les faire passer d'une forme à une autre, par exemple de la forme solide à la forme de sel métallique. En outre, leur utilisation par les humains influe sur les risques qu'il peuvent poser pour la santé de deux façons principales : 1) en les déplaçant dans le milieu et 2) en modifiant leur forme chimique. Les métaux se déplacent naturellement dans le milieu suivant des cycles géologiques et biologiques. Au cours du cycle géologique, les eaux de pluie dissolvent les roches et les minerais et transportent les matériaux dissous vers les cours d'eau, augmentant ou diminuant ainsi leur niveau dans les sols adjacents. Les métaux peuvent précipiter et se retrouver dans les sédiments au fond des rivières et des lacs ou ils peuvent être transportés par les eaux de pluie et redéposés ailleurs

sur la terre. Les cycles biologiques comprennent l'accumulation dans les plantes et les animaux et l'introduction dans les chaînes et cycles alimentaires.

Les activités humaines (telles que l'exploitation minière et la fusion, la combustion des combustibles fossiles et le rejet inconsidéré des déchets industriels) et l'usage par le public de produits contenant des métaux sont les principaux facteurs d'accroissement des niveaux des métaux dans l'environnement. L'exploitation minière peut causer la libération de métaux tels que le mercure, l'arsenic et le plomb dans les lacs et les cours d'eau. Les métaux provenant de produits de consommation mis au rebut (p. ex. le plomb et le cadmium des piles) peuvent être lixiviés dans les eaux souterraines ou dégagés dans l'atmosphère au cours de l'incinération. Les soudures au plomb dans les vieilles conduites peuvent entraîner le lessivage de plomb dans l'eau potable. L'inondation des terres pour la construction de barrages hydroélectriques et les pluies acides contribuent à dissoudre les métaux, comme le magnésium, le plomb, le nickel, le cadmium et surtout le mercure, qui sont naturellement présents dans le sol et les roches. Ces métaux peuvent s'accumuler à des niveaux importants dans les poissons et dans la faune.

Figure 3.2

LES MÉTAUX DANS LE MILIEU



Exposition

Dans certains milieux de travail, tels que les ateliers de soudage, les gens peuvent être directement exposés aux métaux dont ils inhalent les émanations. Les incinérateurs libèrent des quantités importantes de métaux dans les produits de combustion. Toutefois, leur concentration dans l'air est rarement assez élevée pour représenter un danger pour la santé. Les métaux provenant des incinérateurs finissent par se déposer sur le sol et la végétation. En raison de leur accumulation dans la chaîne alimentaire, la consommation de poisson et de gibier peut constituer une importante forme d'exposition à ces contaminants. Des directives de consommation sont en vigueur dans certaines parties du Canada en raison de niveaux élevés de mercure dans les poissons et de cadmium dans les abats comestibles des chevreuils, des orignaux et des caribous.

Chez les enfants, la principale forme d'exposition à de nombreux métaux est l'ingestion. Les enfants consomment plus de calories par rapport à leur poids corporel que les adultes; leur absorption gastro-intestinale de métaux est donc plus importante, particulièrement dans le cas du plomb. Les métaux présents dans les poussières et les saletés peuvent être ingérés par les jeunes enfants qui sucent leurs doigts et portent des jouets et autres objets à leur bouche. Le plomb présent dans les peintures a constitué une source d'exposition, mais sa présence est maintenant très limitée dans les peintures et les revêtements au Canada (les niveaux sont réglementés en vertu de la *Loi sur les produits dangereux*). Dans les bâtiments anciens, on peut trouver des éclats de peinture que les enfants peuvent porter à leur bouche. Ils peuvent également mordre dans des jouets et des meubles peints à la peinture au plomb. On a récemment découvert que les mini-stores horizontaux en PVC bon marché fabriqués dans divers pays contenaient du plomb. Pour plus de renseignements, voir également « Plomb » dans *Profils des contaminants*).

Les facteurs liés aux habitudes de vie contribuent de façon importante à l'exposition aux métaux. Par exemple, selon le genre de tabac, on trouve des niveaux élevés de cadmium chez les personnes qui fument.

Considérations d'ordre sanitaire

La plupart des métaux toxiques ont de multiples effets et ils entravent certains procédés biochimiques et cellulaires. La forme chimique d'un métal peut influer sur son absorption, sa répartition dans le corps et sa toxicité. Par exemple, le mercure peut être présent dans l'environnement sous ses formes élémentaire et inorganique ou il peut être méthylé et ainsi répandu sous forme de méthylmercure (une forme organique). Le mercure inorganique n'est pas facilement absorbé par les plantes ou les animaux. Cependant, le méthylmercure est facilement absorbé par les êtres vivants et il atteint le système nerveux humain. Différents facteurs, tels que l'alimentation, l'âge, la cigarette, l'alcool et l'interaction avec d'autres métaux influent sur la toxicité et sur les effets sur la santé observés.

Les connaissances scientifiques concernant les effets sur la santé des métaux ne cessent de s'élargir. Par le passé, les préoccupations d'ordre médical au sujet des métaux étaient axées sur l'exposition aiguë et sur leurs effets sur la santé tels que les coliques abdominales dues à la toxicité du plomb ou les diarrhées sanglantes et l'interruption de la formation d'urine provoquée par l'ingestion de mercure. Les préoccupations concernent maintenant davantage l'exposition à long terme à de faibles niveaux de métaux, qui peuvent provoquer des effets subcliniques légèrement perceptibles sur la santé. Le non-fonctionnement du système immunitaire, les modifications de comportement et les difficultés d'apprentissage dues à une perturbation du développement neurologique en sont quelques exemples.

On craint que les métaux ne contribuent au développement ou au déclenchement de certains cancers. D'après le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), le béryllium, le cadmium, le chrome et le nickel sont des agents cancérogènes connus pour les humains.

Réglementation

Les métaux dans les aliments canadiens et importés sont contrôlés par Santé Canada dans le cadre de divers programmes et sont soumis à la *Loi sur les aliments et drogues* et à ses règlements d'application.

Les *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada* établissent les niveaux acceptables de métaux nombreux dans l'eau potable et le Programme de surveillance de l'eau potable de l'Ontario contrôle régulièrement les métaux. La plupart des métaux sont éliminés par les procédés de traitement des eaux municipales; les niveaux qui subsistent sont généralement minimes et ne sont pas considérés comme posant un risque pour la santé humaine.

La *Loi sur les produits dangereux* régit également les niveaux de contaminants chimiques dans de nombreux produits de consommation. Par exemple, elle précise la teneur en plomb, en cadmium et en mercure des peintures, de manière à la ramener à des niveaux qui présentent peu de risques pour la santé humaine.

Pour de plus amples renseignements sur certains métaux, voir *Profils des contaminants*.

Les micro-organismes

Les micro-organismes comprennent les bactéries, les protozoaires, les virus et les champignons. Ces organismes microscopiques font partie intégrante du milieu naturel et ils sont présents dans l'air, dans l'eau, dans le sol, dans les aliments et dans notre organisme ou sur notre corps. Bien que la plupart de ces organismes ne présentent aucun danger et qu'ils soient jugés souhaitables, bon nombre d'entre eux peuvent provoquer des malaises et des maladies graves et même la mort chez les humains et les animaux. Par le passé, les maladies infectieuses étaient la cause de décès la plus fréquente jusqu'à ce que soient réalisés des progrès en matière d'hygiène et d'antibiotiques.

Bactéries, virus, champignons et protozoaires

Origine

Les **bactéries** sont de petits organismes unicellulaires vivants auxquels il manque un noyau pour contenir le matériel génétique. Leur mode de reproduction consiste à se diviser en deux et elles se multiplient le mieux lorsque les éléments nutritifs sont abondants et que les températures sont élevées. Les bactéries sont très répandues dans le milieu : on les trouve souvent dans les aliments crus, comme les viandes, la volaille et les oeufs, dans le lait non pasteurisé, dans l'eau, dans les humidificateurs, dans les climatiseurs et dans les systèmes de ventilation. Les plus communes sont *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* (*E. coli*), *Streptococcus*, *Staphylococcus* et *Clostridium*. Les propriétés innées de certaines bactéries ont également été exploitées à des fins commerciales diverses. Par exemple, certaines d'entre elles ont servi d'insecticides (*Bacillus thuringiensis*) et d'agent nettoyant pour les déversements de pétrole (*Pseudomonas spp.*).

Les **virus** sont des entités non cellulaires extrêmement petites, sans métabolisme intrinsèque. Ils se composent de matériel génétique (ADN ou ARN) qui peut être recouvert d'une enveloppe protéinique. Contrairement aux véritables organismes, les virus ne se reproduisent pas par division cellulaire, mais plutôt par réplication, envahissant une cellule hôte et détournant sa capacité de reproduction pour produire de nouveaux virus. Souvent, la reproduction d'un virus à l'intérieur d'une cellule

hôte entraînera la mort de cette cellule. Heureusement, les virus ont tendance à être spécifiques, de sorte que les virus des animaux et des plantes ont rarement des effets sur les humains. La spécificité de la relation virus-hôte a conduit à la formulation de virus destinés à contrôler les parasites. Les baculovirus ont été utilisés pour lutter contre les insectes nuisibles des cultures. D'autres virus ont servi à lutter contre les animaux nuisibles, comme le virus myxoma, utilisé pour restreindre les populations de lapins en Australie.

Les **champignons** constituent un groupe d'organismes unicellulaires et multicellulaires répandus dépourvus de chlorophylle, qui produisent généralement des spores et qui forment souvent des filaments. Pour croître, les champignons ont besoin d'humidité. Les moisissures, une sorte de champignons, peuvent se développer sur de nombreuses substances et surfaces selon les conditions. Bon nombre de moisissures sont utiles. Des variétés cultivées rehaussent le goût et l'apparence des fromages. L'une des moisissures les plus utiles est Penicillium. La découverte de sa capacité de tuer des bactéries nocives a conduit à la formulation de la pénicilline et à la découverte des antibiotiques. Les moisissures peuvent également produire des métabolites toxiques (sous-produits) connus sous le nom de mycotoxines, qui peuvent être nocifs s'ils sont ingérés ou inhalés.

Les **protozoaires** sont des organismes unicellulaires qui vivent le plus souvent librement dans l'eau ou dans le sol et qui se reproduisent par division cellulaire. Ils diffèrent des bactéries en ce sens que leur information génétique, sous forme de chromosomes, est contenue dans une membrane nucléaire. Les parasites les plus communs qui infectent l'eau potable sont *Giardia lamblia* et *Cryptosporidium spp*. D'autres parasites protozoaires importants transmis par les aliments sont *Entamoeba histolytica* et *Toxoplasma gondii*.

Les micro-organismes du milieu qui peuvent nuire à la santé humaine proviennent de plusieurs sources importantes, tels des aliments contaminés ou mal préparés, des eaux usées non traitées ou partiellement traitées et des déchets biologiques pourris ou en décomposition, comme les déchets et carcasses d'animaux.

Mesure

Les agents microbiologiques, incluant les bactéries et les virus, sont généralement exprimés en nombre d'organismes présents dans un volume donné, par exemple 100 organismes par litre d'eau ou 100 organismes par mètre cube d'air. Les bactéries sont généralement détectées ou mesurées par extraction de l'échantillon et par culture dans un milieu propice. Certains essais (techniques de mesure) consistent à détecter un élément constituant de bactérie, comme une protéine de la membrane cellulaire, ou un métabolite spécifique. Les virus sont très difficiles à détecter et à mesurer et il existe actuellement peu de méthodes à cet effet.

Persistance et mouvement dans l'environnement

Les bactéries, les protozoaires, les virus et les champignons peuvent être transportés sur de longues distances par d'autres organismes, par des courants d'eau ou par le vent. Par exemple, les oiseaux migrateurs peuvent transporter, sur leurs corps ou à l'intérieur, des bactéries et des virus sur des distances de plusieurs milliers de kilomètres. Contrairement à de nombreux produits chimiques, les micro-organismes sont rarement très persistants dans le milieu et disparaissent s'ils ne peuvent se reproduire. Toutefois, certains micro-organismes peuvent former des « spores » qui sont extrêmement résistantes aux changements du milieu et qui sont très persistantes. Les kystes formés par les protozoaires *Giardia lamblia*, *Entamoeba histolytica* et *Cryptosporidium spp*. peuvent persister longtemps dans les eaux naturelles. Les mycotoxines produites par les moisissures sont des substances persistantes qui peuvent rester dans un produit même après que les moisissures qui les ont produites aient été tuées.

Exposition

La population entre en contact avec des micro-organismes nocifs principalement en absorbant des aliments ou de l'eau contaminés, en respirant de l'air vicié et en utilisant de l'eau contaminée à des fins récréatives. La contamination fécale de l'eau ou des engrais, des insectes et des animaux et une manipulation non hygiénique des cultures et des aliments favorisent la propagation des micro-organismes. La ventilation insuffisante des bâtiments et des habitations et un mauvais entretien des humidificateurs, des climatiseurs et des systèmes de ventilation peuvent favoriser la croissance des bactéries, des moisissures et des champignons dans ces bâtiments. Les micro-organismes peuvent se retrouver dans les aliments crus tels que la viande, la volaille, les oeufs, les coquillages et crustacés et le lait non pasteurisé. Les fruits et légumes non traités sont rarement inquiétants pour ce qui est de l'exposition aux micro-organismes nocifs.

Giardia lamblia est un protozoaire qui infecte le tractus intestinal des humains. Il est l'agent pathogène le plus souvent décelé lors des poussées de maladies d'origine hydrique. Les kystes s'introduisent dans l'approvisionnement d'eau lorsque les fèces d'humains ou d'animaux contaminées sont déposées dans l'eau ou à proximité. De nombreux animaux comme le castor et le rat musqué sont des hôtes privilégiés de ce parasite. Les kystes de *Giardia* isolés chez les humains, les chiens, les chats, les rats musqués et les castors ne semblent pas spécifiques. Les poussées de *Giardia* sont rares, mais elles peuvent survenir quand des eaux potables contaminées ne sont pas traitées de manière appropriée. En mai 1996, une poussée de *Giardia* s'est produite dans la ville de Dauphin, au Manitoba, en raison de la contamination de l'approvisionnement d'eau de la ville. La *Giardia* peut également se propager par les aliments ou par contact personnel. Les garderies sont des endroits particulièrement privilégiés pour les poussées, car les kystes se propagent parmi les enfants et le personnel. Les individus infectés peuvent alors transmettre les parasites à leurs parents et à leurs frères et soeurs.

Cryptosporidium parvum est un autre parasite protozoaire qui peut infecter les humains par le biais de l'eau contaminée ou par voie oro-fécale d'humain à humain ou d'animal à humain. Le parasite a été isolé chez un certain nombre de sources qui comprennent les bovins et les porcs qui, à leur tour, sont à l'origine d'infections chez les humains. La Colombie-Britannique a connu deux poussées de cryptosporidiose d'origine hydrique au cours de l'été 1996. On pense que la présence de pâturages à bovins dans les bassins hydrographiques aurait été à l'origine des poussées de Cranbrook et Kelowna. Une poussée d'origine hydrique a également été signalée à Collingwood, en Ontario, en mars 1996.

La *Giardia* et le *Cryptosporidium* résistent à la plupart des désinfectants. Le seul moyen pratique pour les municipalités d'éliminer les agents pathogènes est la filtration.

Les **aflatoxines** constituent un groupe important de mycotoxines, des moisissures responsables de maladies humaines. Certaines cultures, ayant poussé ou ayant été stockées dans des climats humides, sont sujettes à la contamination par des moisissures pouvant produire des aflatoxines. Ce sont le maïs, les fruits à coque et les arachides. Le champignon *Aspergillus flavus* est l'organisme en grande partie responsable de la production d'aflatoxines sur les cultures. Les aflatoxines apparaissent rarement sur des cultures canadiennes en raison du climat froid et sec. Toutefois, les cultures importées de régions prédisposées et leurs produits transformés font l'objet de contrôles, afin de garantir qu'ils sont exempts d'aflatoxines.

Considérations d'ordre sanitaire

Chaque année, des milliers de Canadiens et Canadiennes sont victimes d'intoxications alimentaires provoquées par les bactéries, les virus, les parasites et les toxines des fruits de mer. Les symptômes les plus courants sont les crampes d'estomac, les nausées, les vomissements et les diarrhées. Les enfants et les personnes âgées sont les plus touchés et les cas graves peuvent être mortels. Les genres de bactéries les plus

fréquemment associées aux intoxications alimentaires sont *Salmonella*, *Campylobacter*, *Escherichia coli* (*E. coli*), *Staphylococcus* et *Clostridium*. *Salmonella* est la plus connue et on estime à 600 000 le nombre d'intoxications qu'elle provoque chaque année. La plupart des cas ne sont pas signalés, car les symptômes, qui apparaissent entre 8 et 24 heures après consommation des aliments contaminés, ressemblent à ceux de la grippe. On trouve *Salmonella* surtout dans le lait cru, dans les oeufs et dans la volaille et elle peut être transmise dans l'eau.

En cas de contamination par les aliments, les effets des bactéries peuvent se présenter sous forme d'intoxication ou d'infection.

- L'intoxication est provoquée par la production de toxines par les bactéries et elle peut se manifester de deux façons :
  - Certaines bactéries telles que *Staphylococcus aureus* et *Clostridium botulinum* produisent des toxines au cours de leur croissance et de leur multiplication dans les aliments. Or, les toxines bactériennes peuvent rester dans les aliments même lorsque la cuisson a tué les bactéries qui étaient à l'origine de leur production. Elles sont libérées par les bactéries dans les aliments et, lorsque ces aliments sont ingérés, elles peuvent agir très rapidement. Les principaux symptômes de l'intoxication alimentaire due à *Staphylococcus aureus* sont les vomissements aigus suivis de douleurs abdominales et de diarrhées.
  - D'autres bactéries, par exemple *Clostridium perfringens*, se développent et se multiplient dans les aliments, mais les toxines qu'elles produisent restent à l'intérieur des cellules bactériennes. Les toxines ne sont libérées des cellules que lorsque les bactéries produisent des spores ou meurent. Lorsque des aliments contaminés sont consommés, les bactéries s'établissent dans le tractus intestinal, mais aucun effet n'est ressenti avant qu'un nombre suffisamment important de bactéries n'aient libéré des toxines. Les symptômes de ce type d'intoxication due à *Clostridium perfringens* comprennent des douleurs abdominales, des diarrhées, des nausées et quelquefois des vomissements.
- Les infections liées à une intoxication alimentaire sont provoquées par l'ingestion d'aliments contaminés contenant des cellules bactériennes, des virus ou des parasites vivants. Les bactéries se développent et se multiplient dans les intestins, où elles produisent les toxines qui déclenchent la maladie. *Salmonella* et *E. coli* font partie des organismes bactériens qui sont à l'origine de ce genre d'intoxication alimentaire, et les principaux symptômes qu'ils provoquent sont des douleurs abdominales et des diarrhées, ainsi qu'un état fiévreux général, quelquefois accompagné de vomissements.

Bon nombre d'infections virales ne sont pas visibles, certaines ne déclenchant que des infections locales, comme des dermatoses, alors que d'autres se propagent rapidement dans tout le corps et provoquent des maladies systémiques, telles que le rhume, la rougeole, la poliomyélite et l'hépatite virale. Parmi les virus responsables de maladies d'origine alimentaire, on compte le poliovirus, le virus de l'hépatite A, le coxsackie du groupe A et l'échovirus. Certains virus peuvent contaminer l'eau potable si elle n'est pas correctement protégée ou traitée. Par exemple, la présence du virus Norwalk dans l'eau potable peut provoquer des diarrhées chez les humains. Dans le cas de l'hépatite A, on a pu établir un lien entre les poussées et la préparation d'aliments par des employés de l'alimentation ayant été infectés, des mollusques crus ou mal cuits provenant d'eaux contaminées par des eaux usées, ainsi que de l'eau potable contaminée. Le cours de l'infection virale dépend de facteurs tels que la virulence d'une souche donnée du virus, la dose absorbée et la résistance de l'hôte. L'immunité spécifique, l'âge, le stress ou l'état nutritionnel peuvent avoir un effet sur la résistance d'un hôte.

Bon nombre de produits des champignons (spores, mycotoxines et produits chimiques volatils) peuvent être nocifs pour la santé humaine. Les spores peuvent provoquer des allergies, des maladies pulmonaires ou, chez certaines personnes,

réduire la réaction du système immunitaire. Les mycotoxines et les composés volatils produits par les champignons peuvent provoquer des troubles pulmonaires et autres problèmes respiratoires. D'autres mycotoxines, telles que les aflatoxines et l'acide pénicilloïque, sont toxiques à des concentrations élevées et leur consommation à de faibles niveaux sur une longue période peut provoquer le cancer du foie. Certaines variétés de champignons sont toxiques lorsqu'elles sont consommées et elles peuvent entraîner des maladies graves (p. ex. intoxication liée aux amanites) ou la mort. Certains champignons peuvent se développer dans les poumons (*Aspergillus spp.* chez les personnes qui travaillent dans des entrepôts de céréales et dans des volières) ou sur la peau (la forme la plus répandue chez les humains est le pied d'athlète).

Lorsque le protozoaire parasite *Giardia lamblia* infecte l'eau potable, il provoque le développement de giardiase, également connue sous le nom de « fièvre de castor », car les animaux tels que le castor sont des hôtes privilégiés de cet agent pathogène. La giardiase se caractérise par des diarrhées, une perte d'appétit, une déshydratation, des crampes et, dans certains cas, des vomissements. Les protozoaires parasites *Entamoeba histolytica* et *Cryptosporidium spp.* provoquent également entérites et dysenterie.

Réglementation

Les *Recommandations pour l'eau potable au Canada* établissent des limites pour les niveaux de contamination biologique de l'eau potable, destinées à protéger la santé humaine. Les bactéries coliformes fécales telles que E. coli, un groupe normalement présent dans les intestins des animaux et des humains, servent d'indicateur général de la présence de micro-organismes nocifs dans l'eau. Étant donné que ce sont généralement les organismes contaminants les plus abondants, leur absence indique que les niveaux d'organismes qui provoquent des maladies sont aussi probablement peu élevés. Les recommandations établissent les limites des coliformes totaux dans l'eau potable à un maximum de 10 organismes par 100 millilitres, dont aucun ne doit être un coliforme fécal (tel qu'indiqué par la présence de *E. coli*). Selon l'édition de 1996 des *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada*, la présence confirmée de *E. coli* dans l'eau potable devrait donner lieu à une directive immédiate de faire bouillir l'eau.

Les Recommandations au sujet de la qualité des eaux utilisées à des fins récréatives au Canada établissent des limites de concentration de micro-organismes qui ne présentent aucun danger dans les eaux utilisées à des fins récréatives. L'objectif de ces recommandations est de garantir que ces eaux présentent un minimum de contamination fécale, de micro-organismes provoquant des maladies et d'autres dangers pouvant poser un risque pour la population. Les coliformes fécaux sont utilisés comme indicateur général de la présence de micro-organismes nocifs dans l'eau. Dans les eaux douces, la limite établie par les recommandations concernant les coliformes fécaux est de moins de 2 000 organismes par litre et on recommande la fermeture des plages lorsque ce niveau est fréquemment dépassé.

En vertu de la *Loi sur les aliments et drogues* et de son règlement d'application, Santé Canada s'occupe d'évaluer les dangers microbiens dans les aliments, d'établir des normes au sujet de la teneur microbienne acceptable et d'établir des règlements pour limiter les dangers microbiens dans les aliments canadiens et importés.

Pour plus de renseignements sur des micro-organismes particuliers, voir *Profils des contaminants*.

Le rayonnement

Tout le monde est exposé au rayonnement, en grande partie de sources naturelles. La lumière et la chaleur du soleil en sont deux exemples. Certains éléments naturellement présents dans le milieu, tels que le radium et l'uranium, émettent

également des rayonnements. Le reste du rayonnement auquel nous sommes exposés provient de diverses sources artificiellement produites par les humains, qui incluent les centrales nucléaires, la médecine nucléaire, les rayons X, les ondes radioélectriques et les micro-ondes.

Le rayonnement est une énergie qui se manifeste sous forme d'ondes ou de particules. Il faut distinguer le rayonnement ionisant, c.-à-d. le rayonnement émis par des substances radioactives, du rayonnement non ionisant, tel que les ondes radioélectriques, les micro-ondes et les ondes électromagnétiques à basse fréquence émises par les câbles distributeurs de courant. Bien que ces deux sortes de rayonnement puissent avoir des conséquences biologiques nocives, leur mécanisme d'action et leurs effets éventuels sur la santé sont très différents.

Le rayonnement ionisant

Origine

Le rayonnement ionisant est présent partout; il provient de sources naturelles et artificielles. Les sources de rayonnement naturelles ont toujours existé et tous les organismes vivants y sont continuellement exposés. Elles comprennent les rayonnements cosmiques et les rayonnements émis par les radionucléides naturellement présents dans l'écorce terrestre (p. ex. uranium, radium, potassium-40), dans l'air (c.-à-d. radon et ses produits de désintégration), de même que ceux qui sont produits dans l'atmosphère par l'interaction des rayonnements cosmiques et de certains composants de l'air.

En plus des sources naturelles, certaines des sources artificielles de rayonnement ionisant ont contribué aux doses totales de rayonnement au cours des 50 dernières années. Ces sources comprennent les retombées radioactives de détonations d'armes nucléaires, le rejet dans l'environnement de radionucléides provenant de techniques nucléaires utilisées dans l'industrie, dans les hôpitaux, dans les installations de recherche et dans les produits de consommation tels que les détecteurs de fumée, ainsi que l'utilisation médicale de rayons X et de matières radioactives.

La radioactivité artificielle libérée dans le milieu provient principalement des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère réalisés au cours des dix années qui ont précédé le Traité sur l'interdiction partielle des essais nucléaires de 1963 concernant les détonations dans l'atmosphère. Les non-signataires du Traité ont effectué un nombre limité d'essais dans l'atmosphère entre 1963 et 1980. Certains essais ont été faits sous terre et, bien que de petites quantités de matériel radioactif aient parfois été libérées dans l'atmosphère, l'augmentation des retombées dans l'environnement a été négligeable. Les retombées de radionucléides ont atteint leur niveau maximal peu de temps après la suspension des essais dans l'atmosphère en 1963; elles ont ensuite diminué à des niveaux proches des niveaux naturels. La dose résultant de la plus grande partie des radionucléides produits au cours des essais a été presque entièrement reçue et, actuellement, les moyennes sont de l'ordre de 0,005 m*Sv* par an, par rapport à environ 0,14 m*Sv* par an en 1963 (Commission de contrôle de l'énergie atomique, 1995).

L'utilisation courante de techniques nucléaires pour la production d'énergie, le diagnostic et les soins médicaux, ainsi que leurs applications dans le secteur de la consommation et dans l'industrie conduisent également à la libération de radioactivité dans le milieu. Cette radioactivité est restreinte et réglementée (pour de plus amples renseignements, voir « Réglementation »). Les composants du cycle du combustible nucléaire (extraction et traitement de l'uranium, fabrication de combustibles, production d'énergie nucléaire et gestion des déchets) constituent des sources possibles de radioactivité. En moyenne, l'exposition de la population au rayonnement provenant de ces activités représente une augmentation minime par rapport à l'exposition aux sources naturelles. Les grandes quantités de déchets fortement radioactifs générées

par la production d'énergie engendrent cependant un problème d'élimination important. Les rejets d'installations telles que les hôpitaux, les établissements de recherche et l'industrie ne contribuent que très légèrement à l'exposition totale au rayonnement de sources naturelles et artificielles.

Concepts

Les atomes sont composés de trois principaux constituants : les protons de charge positive, les électrons de charge négative et les neutrons qui sont neutres. Les protons et les neutrons forment un noyau relativement petit autour duquel tournent des électrons, et leur nombre caractérise le genre d'atome ou de nucléide.

Certains nucléides sont stables, mais beaucoup sont instables. Ce sont les **radionucléides**, qui se transforment en nucléides légers, plus stables, en libérant des particules subatomiques et des photons de haute énergie. Ce processus est connu sous le nom de **décroissance de la radioactivité** et l'énergie ainsi libérée est appelée **rayonnement ionisant**. L'ionisation s'explique de façon simple : le rayonnement détache les électrons des atomes du milieu qu'il traverse et laisse une trace de charge électrique de haute densité dans son sillage. Si ce milieu est une cellule vivante, la charge électrique peut provoquer des dommages biologiques. Les exemples de rayonnement ionisant comprennent les particules alpha, les particules bêta, les rayons gamma, les rayons X et les neutrons.

Les **particules alpha** sont des particules énergétiques de charge positive (noyau d'hélium) qui perdent rapidement de l'énergie en traversant la matière. Elles sont généralement émises au cours de la désintégration des éléments radioactifs les plus lourds, tels que l'uranium et le radium. Les particules alpha représentent le genre de rayonnement ionisant le moins pénétrant; elles peuvent à peine pénétrer dans la couche supérieure morte de la peau et elles constituent rarement un danger à l'extérieur du corps. Toutefois, lorsqu'une source de rayonnement alpha est ingérée ou inhalée, elle peut être retenue dans le corps et toucher divers tissus internes.

Les **particules bêta** sont des électrons de charge positive ou négative qui se déplacent rapidement et qui sont libérés par le noyau de certains radionucléides. Elles ont une capacité de pénétration plus importante que les particules alpha, mais elles provoquent moins de dommages sur une même distance. Les particules bêta énergétiques peuvent traverser environ un centimètre de tissu, bien que la plupart soient absorbées dès les premiers millimètres. Tout comme les émetteurs alpha, les émetteurs bêta sont généralement plus dangereux lorsqu'ils sont ingérés ou inhalés.

Le **rayonnement gamma** et les rayons X sont des quantités légèrement perceptibles d'énergie électromagnétique, sans masse ou charge. Les rayons gamma accompagnent souvent la libération par un noyau de particules alpha ou bêta. Les rayons X émanent de processus se produisant à l'extérieur du noyau de l'atome. Les rayons gamma ont une très grande capacité de pénétration et peuvent facilement traverser le corps et être absorbés par les tissus humains, constituant ainsi un danger de rayonnement pour le corps entier. Les rayons X possèdent généralement moins d'énergie, de sorte que leur capacité de pénétration est moins grande que celle des rayons gamma.

La puissance ou **activité** d'une source radioactive est la mesure de sa vitesse de désintégration. Le temps que prend une quantité de radionucléides pour perdre la moitié de sa valeur par

Tableau 3.4

COMPARAISON DE LA DOSE ABSORBÉE ET DE LA DOSE ÉQUIVALENTE

Sorte de rayonnement	Dose absorbée	Dose équivalente
Rayonnement gamma	1 *Gy*	1 *Sv*
Rayonnement bêta	1 *Gy*	1 *Sv*
Rayonnement alpha	1 *Gy*	20 *Sv*

Tableau 3.5

PÉRIODE RADIOACTIVE DE CERTAINS RADIONUCLÉIDES

Radio-nucléide	Période radioactive	Radio-nucléide	Période radioactive
Uranium-238	4,5 milliards d'années	Strontium-90	29 ans
Plutonium-239	24 390 ans	Tritium	12,5 ans
Radium-226	1 600 ans	Iodine-131	8,5 jours
Césium-137	30 ans	Radon-222	3,8 jours

désintégration est appelé *période radioactive* et elle est unique à chaque radionucléide. L'activité d'un radionucléide est exprimée en unités appelées **becquerels** (*Bq*). Un becquerel correspond à une transformation ou désintégration atomique à la seconde. L'activité était autrefois exprimée en **curie**.

Dose

Les dangers des substances radioactives viennent de ce qu'elles émettent un rayonnement ionisant. Lorsqu'un rayonnement ionisant traverse la matière, y compris un tissu vivant, une partie de l'énergie s'y dépose par suite d'interactions électriques. Cette charge électrique provoque des modifications chimiques dans les cellules irradiées qui peuvent entraîner des dommages biologiques. Or, les dommages occasionnés à la cellule dépendent de la quantité d'énergie absorbée par kilogramme de tissu vivant, ce qu'on appelle la dose **absorbée** dont l'unité SI est le **gray** (*Gy*) (un gray équivaut à un joule (J) d'énergie absorbée par kilogramme de tissu vivant). Autrefois, l'unité utilisée pour la dose absorbée était le **rad** (100 rad = 1 *Gy*).

Les doses absorbées de rayonnement n'ont pas toutes la même capacité d'endommager les cellules vivantes. Par exemple, un *Gy* de rayonnement alpha dans les tissus est plus nocif qu'un *Gy* de rayonnement bêta. Afin de mesurer sur une même base la capacité de tous les rayonnements ionisants de provoquer des dommages, la dose absorbée est multipliée par un facteur de pondération des rayonnements, ce qui fournit une *dose équivalente* pour l'organe exposé. Les facteurs de pondération tiennent compte de la manière dont un rayonnement donné distribue l'énergie dans les tissus; ils vont de 1 pour le rayonnement bêta à 20 pour le rayonnement alpha. L'unité SI pour la dose équivalente est le sievert (*Sv*) qui équivaut à un joule d'énergie absorbée par kilogramme de poids corporel. Le sievert est en fait une très grande unité. Plusieurs sieverts de rayonnement libérés pendant une courte période peuvent être mortels. Aux fins de la protection contre le rayonnement, les doses sont généralement mesurées en millisieverts, un sievert équivalant à 1000 millisieverts (m*Sv*).

On a constaté que la nature et l'ampleur des dommages provoqués par une exposition au rayonnement variaient d'un tissu ou d'un organe à un autre pour une même dose équivalente. En d'autres termes, certains tissus humains sont plus facilement endommagés par le rayonnement que d'autres. Ainsi, le risque de cancer mortel du poumon est supérieur au risque de cancer mortel des os pour la même dose équivalente. Il faut également tenir compte d'une autre catégorie de dommages, soit les dommages héréditaires graves pouvant apparaître si un spermatozoïde ou un ovule est irradié. On arrive à résoudre ce problème en multipliant la dose équivalente pour chacun des principaux organes et tissus par un facteur correspondant au risque associé à l'organe ou au tissu. La somme de ces doses équivalentes pondérées est alors appelée **dose effective** et elle se mesure aussi en sieverts. À de faibles niveaux de rayonnement, les dommages résultant d'une dose effective donnée seront à peu près les mêmes, quel que soit le genre de rayonnement ou les tissus irradiés.

Les radionucléides qui s'introduisent dans le corps par inhalation, ingestion ou absorption par la peau peuvent rester dans certains tissus et organes pendant très longtemps; dans certains cas, la dose qui en résulte dans les organes internes peut

Tableau 3.6

UNITÉS RADIOLOGIQUES

Quantité	Unité SI	Symbole	Ancienne	Symbole unité	Rapport
Activité	becquerel	*Bq*	curie	Ci	1 Ci = 3,7 x 10^{10} *Bq*
Dose absorbée	gray	*Gy*	rad	rad	1 rad = 0.01 *Gy*
Dose équivalente Dose effective	sievert	*Sv*	rem	rem	1 rem = 0.01 *Sv*

persister pendant plusieurs jours ou plusieurs années. La **dose effective engagée** est la dose effective totale d'une substance radioactive reçue dans le corps d'une personne jusqu'à la fin de ses jours, durée que l'on estime à 50 ans pour un adulte et à 70 ans pour un enfant. La dose engagée entre dans tous les calculs de dose effective. La dose effective sert donc d'indicateur général du risque pour la santé humaine de toutes les sortes de rayonnement et de toute répartition de dose dans le corps, qu'elle soit reçue par voie interne ou externe et qu'elle provienne de source naturelle ou artificielle.

Persistance et mouvement dans l'environnement

Les radionucléides libérés dans l'environnement peuvent l'être sous forme gazeuse, liquide ou particulaire. À quelques exceptions près, ils participent à une série complexe de processus physiques, chimiques et biologiques pouvant mener à l'irradiation des humains. Certains de ces processus conduisent à une dilution progressive, alors que d'autres mènent à une concentration physique ou biologique dans la chaîne alimentaire.

Le mouvement des radionucléides dans l'environnement se fait au gré des processus atmosphériques, aquatiques et terrestres. Les matières libérées dans l'atmosphère sont transportées et dispersées par agitation normale et peuvent ensuite quitter l'atmosphère par dépôt humide (c.-à-d. pluie) ou sec (c.-à-d. poussière). Les radionucléides déposés peuvent aussi s'accumuler dans le sol ou être lixiviés dans les eaux souterraines. Ceux qui sont libérés dans les systèmes aquatiques peuvent être transportés et dilués, adsorbés sur des particules en suspension ou ils peuvent s'accumuler dans les animaux aquatiques ou dans les plantes. Quant à ceux qui s'introduisent dans les eaux souterraines, ils sont transportés lentement, ce qui peut conduire à la contamination des eaux de pluie ou des eaux de surface. En raison de la longue période radioactive de la plupart des éléments radioactifs, la contamination par les radionucléides peut se poursuivre longtemps après qu'une source ait été éliminée.

Le rayonnement peut être produit sans interruption par les sources naturelles et artificielles. Dans certains cas, la période radioactive (le temps nécessaire pour qu'un matériau perde la moitié de son rayonnement) de certains radionucléides est très longue. Toutefois, la persistance d'un radionucléide dans un milieu est souvent nettement inférieure à sa période radioactive en raison d'autres processus environnementaux et biologiques.

Exposition

L'exposition humaine à la radioactivité peut être interne ou externe. Les doses internes peuvent provenir de l'inhalation de radionucléides dans l'air ou de la consommation d'aliments et d'eau contaminés. La durée d'exposition dépend de la période radioactive du matériau et de la persistance de la source dans le corps, ou période biologique. L'exposition externe peut provenir de rayonnements cosmiques ou de radionucléides présents dans l'air ou déposés sur le sol et elle dépend de la proximité de la source. La matière solide a souvent un effet d'écran parce qu'elle absorbe le rayonnement, prévenant ou réduisant ainsi l'exposition humaine au rayonnement externe. L'élimination d'une source externe entraîne généralement l'interruption de l'exposition.

De manière générale, le rayonnement naturel représente plus de 98 p. 100 du rayonnement ionisant total auquel sont exposées les personnes (Comité scientifique de Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants, 1993). La plus grande partie de cette exposition provient de la respiration du radon et de ses produits de désintégration radioactifs à courte durée de vie, ainsi que d'expositions internes et externes au potassium radioactif. Le niveau de fond moyen au Canada est d'environ 2 m*Sv* par an (CCEA, 1995), bien que cette valeur varie d'un endroit à l'autre au pays.

Les rayons X utilisés en médecine à des fins de diagnostic et les matériaux radioactifs utilisés pour le diagnostic ou les soins médicaux, tels que la radiothérapie des cancers, constituent une source de rayonnement qui peut être importante pour certaines personnes. Le niveau des doses de rayonnement médical varie largement selon les personnes et les actes médicaux, mais on s'efforce de limiter toute exposition superflue.

Le rayonnement provenant de tous les aspects des centrales nucléaires, incluant l'extraction de l'uranium, son traitement et l'élimination définitive du combustible, bien qu'il soit très faible, devient de plus en plus important en raison de la désintégration des radionucléides restants. Au cours des prochaines décennies, la gestion de quantités considérables de déchets nucléaires sera au nombre des priorités. D'après les modèles environnementaux et les données de contrôle actuelles, les estimations de doses annuelles reçues par des populations critiques fictives vivant près de centrales nucléaires de l'Ontario sont inférieures à la limite de 0,05 m*Sv* par groupe de radionucléides (environ 0,01 m*Sv* en 1994). Les doses reçues par les populations éloignées de ces installations sont encore plus faibles.

Considérations d'ordre sanitaire relatives au rayonnement ionisant

La fréquence radiologique d'un radionucléide donné, qu'il soit d'origine naturelle ou artificielle, dépend de ses propriétés écologiques, biologiques et radiologiques. Des paramètres physiques, chimiques et biologiques régissent les processus qui peuvent conduire à l'exposition humaine par inhalation, ingestion ou irradiation directe. Étant donné que ces processus tendent à déplacer les matériaux dans l'écosystème, la période effective d'un radionucléide dans un milieu donné est souvent inférieure à sa période radioactive.

L'impact sur la santé d'un radionucléide ingéré ou inhalé dépendra de son comportement dans l'organisme et, notamment, de sa capacité de s'accumuler dans des tissus donnés et de la rapidité de son élimination par le corps. Des radionucléides comparables, sur le plan chimique et métabolique, aux éléments nutritifs essentiels auront tendance à se comporter d'une manière similaire. Par exemple, le strontium-90,

le baryum-140 et le radium-226 se comportent comme le calcium et ils s'accumuleront dans les os; l'iode radioactif se comporte comme l'iode stable et il s'accumule dans la thyroïde. Les radionucléides qui se répartissent dans tout le corps comprennent le potassium-40 et le césium-137, qui suivent le mouvement général du potassium stable, et le tritium, qui ressemble à l'hydrogène stable et que l'on trouve généralement sous forme d'eau tritée.

Les effets sur la santé du rayonnement ionisant se divisent en deux catégories : les effets **de seui**l et les effets **sans seuil**. Les effets de seuil se caractérisent par un niveau de dose minimal (ou seuil) accepté de façon générale, sous lequel on ne s'attend pas à ce qu'ils se manifestent. En effet, ces effets n'apparaissent qu'à des taux d'exposition des milliers de fois supérieurs au rayonnement de fond normal et, à quelques exceptions près, peu de temps après l'exposition. Le syndrome du rayonnement aigu comprend nausées, fatigue, vomissements, modifications des cellules sanguines, diarrhées, stérilité temporaire et, à des niveaux d'exposition très élevés, la mort. Les brûlures constituent également un effet de seuil de l'exposition à un rayonnement intense. La **sévérité** de ces effets est liée à la quantité de rayonnements reçue. Le seuil des effets cliniquement observables, comme les nausées, ou des modifications temporaires des cellules sanguines, comme la diminution de la numération des globules blancs, est de l'ordre de 250-500 mSv reçus en quelques heures. Les doses reçues au cours d'un rayonnement de fond naturel ou d'expositions régulières dans le cadre de pratiques réglementées sont nettement inférieures au seuil fixé.

Les effets sans seuil peuvent n'apparaître que plusieurs années après l'exposition et, contrairement aux effets de seuil, leur niveau de dose minimal n'est pas bien défini. D'autre part, la **probabilité** de subir ces effets est liée à la quantité de rayonnement reçue. Les autorités présument généralement qu'il n'existe pas de niveau de rayonnement ne présentant aucun danger et que le risque des effets sans seuil est directement proportionnel à la dose reçue. Dans la documentation sur la protection contre le rayonnement, on appelle cela l'**hypothèse linéaire sans seuil**. L'effet sans seuil le plus significatif pour l'exposition humaine au rayonnement ionisant est une fréquence accrue de cancer chez les personnes exposées. Des caractéristiques génétiques ou héréditaires chez les générations futures sont également possibles.

Les effets sans seuil résultent de dommages causés à l'ADN des cellules irradiées. Lorsqu'une cellule est endommagée et qu'elle n'est pas correctement traitée, elle constitue une cellule modifiée pouvant produire un cancer après une période prolongée et variable. Les types de cancers observés chez les groupes exposés comprennent la leucémie et les cancers de la thyroïde, du poumon, du sein et des os. Les dommages causés aux spermatozoïdes ou aux ovules peuvent entraîner des effets qui se manifesteront chez la progéniture de la personne exposée. Quoique des effets héréditaires aient été observés chez les animaux de laboratoire, il n'existe aucune preuve directe de leur apparition chez les humains. Les effets de diverses doses de rayonnement sont indiqués ci-dessous :

Tableau 3.7

EFFETS DE DIVERSES DOSES DE RAYONNEMENT

Dose en millisieverts		Effets	
		Description	Risque de cancer*
10 000	en quelques heures	Survie improbable	—
5 000	en quelques heures	50 % de chances de survie chez les humains	un sur 4
1 000	en quelques heures	Apparition de maladies dues à une irradiation aiguë	un sur 20
20	par an	Limite de la dose professionnelle	un sur 1 000
2	par an	Dose de rayonnement de fond	un sur 10 000
1	par an	Limite de dose du public pour les installations nucléaires	un sur 20 000
0,1	par an	Base des recommandations de Santé Canada pour l'eau potable	un sur 200 000

* basé sur une extrapolation linéaire à partir des effets observés chez des populations exposées à des doses supérieures à 100 m*Sv*, comme les personnes ayant survécu à la bombe atomique

Le rayonnement est un agent cancérogène connu pour les humains. Les estimations du risque de cancer sont principalement basées sur des études épidémiologiques menées sur des populations humaines exposées à de fortes doses de rayonnement, notamment les Japonais et Japonaises ayant survécu aux bombes atomiques lancées sur Hiroshima et Nagasaki en 1945, des personnes exposées en milieu de travail et des patients traités à l'aide de rayonnement ionisant pour divers états pathologiques. Les personnes ayant survécu à la bombe atomique ont présenté un taux de décès accru dû à la leucémie, à des cancers de l'oesophage, de l'estomac, du colon, du poumon, du foie, du sein et de l'ovaire, ainsi qu'à divers myélomes. Il est également possible d'y associer des cancers de la vessie, de la vésicule biliaire, du pancréas, de l'utérus et de la prostate, ainsi que des lymphomes.

Les effets autres que le cancer, tels que les dommages neurologiques, immunologiques, ainsi que les répercussions néfastes sur le développement, ont été observés uniquement à des doses élevées de rayonnement. On présume en général qu'il s'agit d'effets de seuil. On a laissé entendre que le rayonnement affaiblissait le système immunitaire et que l'exposition, même à de faibles niveaux, pouvait diminuer la résistance aux maladies infectieuses. Cette théorie réside probablement dans l'observation d'une diminution de la numération des globules blancs à des niveaux élevés d'exposition au rayonnement, ce qui laisse la personne sujette aux infections. Toutefois, il n'existe aucun mécanisme manifeste associant l'exposition à un rayonnement faible à la détérioration du système immunitaire, pas plus qu'il n'existe de preuve empirique manifeste de l'existence d'un tel effet.

Des estimations de risque ont été dérivées de ces études par le Committee on the Biological Effects of Atomic Radiations (BEIR-V) des États-Unis, le Comité scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des rayonnements ionisants (UNSCEAR) et la Commission internationale de protection radiologique (CIPR). La CIPR a établi un risque à vie de cancer mortel de 0,05 par sievert et un coefficient de risque total de 0,073 par sievert pour les cancers mortels et non mortels et pour les effets héréditaires. Le coefficient de risque de cancer mortel a été utilisé pour prédire le nombre de cancers provoqués par le rayonnement présenté au tableau 10.

Q. Comment les recommandations pour le rayonnement sont-elles établies?

R. L'établissement de recommandations et de règlements concernant l'exposition au rayonnement destinés à protéger la santé publique fait l'objet

d'un grand débat scientifique. Les recommandations actuelles, qui ont été adoptées par la plupart des pays pour protéger le public contre les effets de l'exposition quotidienne au rayonnement de faible activité résultant de l'activité humaine, ont été élaborées principalement à partir d'études à long terme menées sur des Japonais et Japonaises ayant survécu à la bombe atomique et sur des cas de radiothérapie au Royaume-Uni utilisant le cancer comme principal événement cible. Les deux populations étudiées ont été exposées à des doses élevées de rayonnement émis pendant une courte période. L'extrapolation des résultats à de faibles doses étalées sur un certain nombre d'années a entraîné des débats considérables et la mise au point de modèles d'interprétation concurrents depuis les années soixante-dix. Un certain nombre d'études portent maintenant sur d'importantes populations de travailleurs de l'industrie nucléaire ayant été exposés à de faibles niveaux de rayonnement pendant de nombreuses années, afin d'obtenir des données plus directes concernant les effets de faibles doses sur la santé. Ces études à long terme viendront s'ajouter aux connaissances actuelles et aideront à formuler de meilleures recommandations pour protéger la santé.

D'autres se sont demandés s'il existait en fait un seuil pour le cancer provoqué par le rayonnement à des expositions allant jusqu'à 100 mSv. Ils font remarquer que les cellules possèdent des mécanismes de réparation de l'ADN et laissent entendre que ces mécanismes ne sont dépassés qu'à des doses de rayonnement supérieures, entraînant alors l'apparition de cancers.

Il est à peu près impossible de prouver ou de réfuter l'existence de ce seuil. Les cancers liés au rayonnement sont indifférenciables des cancers provoqués par d'autres facteurs. À une faible exposition, les cancers liés au rayonnement seraient si peu nombreux qu'ils se perdraient dans la masse des autres cancers.

Un certain nombre d'études portent maintenant sur d'importantes populations de travailleurs de l'industrie nucléaire ayant été exposés à de faibles niveaux de rayonnement pendant de nombreuses années, de façon à obtenir des données plus directes concernant les effets de faibles doses sur la santé. Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) a récemment mené une étude de cette nature touchant plusieurs centaines de milliers de travailleurs exposés au rayonnement au Canada, aux États-Unis et au Royaume-Uni. Dans la gamme des expositions à vie de 100 à 400 *mSv*, on a constaté une légère augmentation des cas de leucémie, qui était en accord avec le coefficient de risque du CIPR, y compris le coefficient de réduction du débit de dose.

En Ontario, trois études épidémiologiques distinctes ont été menées sur des populations vivant près de réacteurs nucléaires d'Hydro Ontario, afin d'examiner les leucémies infantiles, les malformations congénitales et les leucémies chez les enfants d'employés de centrales nucléaires. À la suite d'une étude réalisée sur la fréquence des leucémies infantiles à proximité de la centrale nucléaire Pickering, on n'a constaté aucun lien entre cette incidence et la dose de rayonnement (Clarke et al., 1989; Clarke et al., 1991). Des études sur l'incidence des malformations congénitales et de la mortalité infantile n'ont montré aucun effet sur les populations vivant près de la centrale Pickering qui soit statistiquement différent des moyennes en Ontario (Johnson et Rouleau, 1991). Enfin, une étude sur l'association entre la leucémie infantile et l'exposition professionnelle des pères à un rayonnement ionisant avant la conception de l'enfant n'a fourni aucun argument en faveur de cette hypothèse (McLaughlin et al., 1993).

Actuellement, Santé Canada juge que le principal effet associé à de faibles doses est le cancer, accompagné d'un faible risque d'effets héréditaires. On manque de preuves pour rejeter l'hypothèse linéaire sans seuil ou pour conclure que les risques véritables sont nettement supérieurs à ceux prédits par le CIPR. Santé Canada

applique les doses limites et les facteurs de risque du CIPR pour établir les recommandations concernant la radioactivité dans les aliments et dans l'eau potable. Il est admis que le risque véritable à de faibles doses pourrait ne pas dépasser zéro et il est probable que l'application de l'hypothèse linéaire sans seuil surestime le risque véritable plutôt qu'elle ne le sous-estime.

Radionucléides du milieu préoccupants

Le **césium-137** est l'un des radionucléides artificiels les plus importants en raison de son rendement relativement élevé comme produit de fission et de sa capacité de bioaccumulation dans certaines chaînes alimentaires. La fission nucléaire est un processus au cours duquel le noyau d'un atome se divise en deux noyaux ou plus et libère de l'énergie. Le césium-137 est produit lors de la fission des combustibles d'uranium et de plutonium et a une période radioactive d'environ 30 ans. Sa présence dans l'environnement résulte principalement des retombées, dans le monde entier, des essais d'armes nucléaires dans l'atmosphère effectués avant 1963. Le césium-137 est également libéré durant le fonctionnement normal des réacteurs nucléaires, principalement sous forme liquide. S'il est ingéré, il est facilement absorbé et se répartit uniformément dans les tissus mous et dans les muscles du corps.

L'**iode radioactif** a été largement étudié en raison de sa mobilité dans l'environnement et de son irradiation sélective de la thyroïde lorsqu'il s'introduit dans le corps. Sa présence dans le milieu résulte principalement d'essais d'armes nucléaires et du fonctionnement de réacteurs nucléaires, bien que l'iode-129 et l'iode-131 soient naturellement présents en raison de la fission spontanée de l'uranium naturel. Parmi les nombreux isotopes de l'iode produits par fission dans les réacteurs nucléaires, l'iode-129 et l'iode-131 sont les plus importants. Bien que l'iode-129 ne soit pas mentionné au nombre des émissions habituelles des réacteurs, il est encore présent dans l'environnement dans sa quasi-totalité en raison de sa longue période radioactive ($1{,}6 \times 10^7$ ans), alors que presque tout l'iode-131 à vie courte s'est désintégré (période radioactive d'environ huit jours).

Une fois l'iode radioactif libéré dans l'atmosphère, des précipitations peuvent le ramener sur des terres utilisées comme pâturage, où il se retrouvera dans la végétation, puis dans les aliments et dans le lait. S'il est ingéré, l'iode radioactif se concentre de façon sélective dans la glande thyroïde, dans laquelle il peut se retrouver à des doses 1 000 fois supérieures aux doses présentes dans les tissus des autres organes. Toutefois, en raison de sa courte période radioactive, l'iode-131 n'est préoccupant que tout de suite après une libération accidentelle importante dans le milieu.

Le **plutonium-239** est un élément anthropique utilisé comme combustible dans certains réacteurs nucléaires et comme explosif dans les armes nucléaires. Il a une période radioactive de 24 390 ans. Les programmes d'essais d'armes nucléaires ont envoyé dans la stratosphère plus de 5 000 kilogrammes de plutonium, principalement sous forme de particules d'oxyde insolubles ce qui a entraîné des dépôts dans le monde entier. Les concentrations réelles dans le milieu sont extrêmement faibles. Lorsqu'il est ingéré, le plutonium se concentre dans les ganglions lymphatiques thoraciques et dans les os.

Le **radium-226** fait partie de la famille radioactive de l'uranium-238. Il est présent à l'état de traces dans toutes les roches et dans tous les sols et il peut se retrouver en quantités importantes dans les roches stériles de mines d'uranium. Le radium-226 est un émetteur alpha qui a une période de radioactivité de 1 600 ans. Il s'agit d'un élément alcalino-terreux, similaire au calcium.

La principale forme d'exposition au radium-226 est l'eau ou les aliments, selon son lieu de résidence. La moyenne caractéristique des concentrations dans l'eau potable est de 0,001–0,013 *Bq*/L. En général, on peut s'attendre à rencontrer les niveaux supérieurs de cette échelle dans les zones où l'on procède à l'extraction et à la

concentration de l'uranium ou dans les zones où des roches contenant de fortes concentrations de radionucléides naturels sont en contact avec l'eau.

En cas d'ingestion de radium-226 présent dans les aliments ou dans l'eau, 20 p. 100 seront absorbés dans le tractus gastro-intestinal. Une fois ingéré, le radium-226 a tendance à s'accumuler dans les os où il peut subsister pendant de nombreuses années et provoquer un cancer des os. Au début du siècle, on a observé une fréquence accrue de cancers des os chez les peintres dans l'industrie des cadrans lumineux au radium. Il existe un seuil très net de cancer des os provoqué par le rayonnement, aucun cancer n'apparaissant à des doses dans les os inférieures à 20 sieverts (20 000 m*Sv*).

Le **radon-222** est un gaz inerte, inodore et incolore dont la présence dans l'environnement résulte de la désintégration radioactive du radium-226. Le radon, lui-même un émetteur alpha, se désintègre relativement rapidement (période radioactive = 3,82 jours) en une série de particules radioactives à vie courte qui émettent également un rayonnement alpha. Dans l'air, ce produit s'attache à la poussière, qui peut être inhalée et retenue dans les poumons et dans les voies respiratoires.

Des concentrations élevées de radon et de ses produits de désintégration peuvent s'accumuler dans l'air des bâtiments si le sol qui les entoure contient un excès de radium. Le principal effet sur la santé associé à l'exposition au radon est le cancer du poumon. Une fréquence excessive de cancers du poumon a été observée chez les travailleurs de mines d'uranium qui ont été, par le passé, exposés à des niveaux élevés de radon. Au cours d'une récente étude sur l'association possible entre le cancer du poumon et des niveaux élevés de radon dans les habitations à Winnipeg, aucun effet n'a été observé (Létourneau et al., 1994). Le tabac, qui est la principale cause du cancer du poumon, a toujours constitué un facteur confusionnel dans les études de cette nature.

Le **strontium-90** a été largement contrôlé dans l'environnement et dans diverses chaînes alimentaires. Sa période radioactive est de 29 ans et il est similaire au calcium sur le plan métabolique. La plus grande partie du strontium-90 présent dans l'environnement provient de retombées d'armes nucléaires. Il fait également partie des émissions normales des réacteurs nucléaires, bien que les quantités libérées soient très faibles et indifférenciables des retombées. La plus importante forme d'exposition passe par l'air, la végétation, les animaux d'élevage et, enfin, le lait. Lorsqu'il est ingéré, le strontium-90 est retenu en grande partie dans les os.

Le **tritium** (hydrogène-3) est l'une des principales substances radioactives libérées par les réacteurs canadiens CANDU. Il s'agit d'un atome d'hydrogène dont le noyau contient deux neutrons et dont la période radioactive est de 12,3 ans. Il est produit naturellement dans la haute atmosphère et artificiellement par les détonations et les réacteurs nucléaires. Les essais d'armes nucléaires ont produit des quantités de tritium dépassant très largement l'inventaire naturel. Le tritium généré lors de la production d'énergie nucléo-électrique est libéré dans les effluents gazeux et liquides sous forme d'eau tritée, qui est sa forme la plus courante. Des niveaux de tritium légèrement élevés ont été observés dans l'air et dans l'eau à proximité des réacteurs nucléaires CANDU, bien que ces niveaux restent faibles.

Le tritium dans l'air peut être inhalé ou absorbé par la peau. L'eau tritée ingérée est complètement absorbée par le tractus gastro-intestinal avant d'être rapidement répartie dans tout le corps par le sang. L'eau tritée ne se concentre dans certaines cellules que très rarement. La plus grande partie du tritium est éliminée par le corps, sa période biologique variant entre 2,4 et 8 jours, ce qui représente le temps nécessaire au renouvellement de l'eau dans le corps. Le reste est éliminé en une période radioactive d'un mois à un an, ce qui correspond au renouvellement du tritium contenu dans les composés organiques. Le tritium est excrété dans l'eau, dans l'haleine et dans l'urine.

L'**uranium** est naturellement présent dans les roches et le sol à des niveaux d'environ une à deux parties par million. Il consiste principalement d'uranium-238 (période radioactive de $4{,}47 (10^9$ ans), qui est le radionucléide parent de la famille radioactive

de l'uranium. Le radium-226 et le radon-222 font tous les deux partie de cette famille. L'uranium-234 et l'uranium-235 sont présents en quantités beaucoup plus faibles.

L'uranium peut s'introduire dans le corps par inhalation ou par ingestion. S'il est ingéré, il doit l'être sous forme soluble pour pouvoir être absorbé par le corps. Cependant, des études menées par Santé Canada ont montré que même sous forme soluble, seulement 1 p. 100 de l'uranium est absorbé par les intestins des humains. La plus grande partie de l'uranium absorbé est excrétée par les reins en l'espace de quelques jours. Une petite fraction de l'uranium se retrouve dans les os, où elle peut remplacer le calcium. Elle peut y demeurer pendant de nombreuses années.

Bien que l'uranium soit toxique sur les plans chimiques et radiologique, son principal danger vient de ses propriétés de métal lourd toxique, plutôt que de sa radioactivité. À cet égard, l'uranium est semblable à d'autres métaux lourds, tels que le plomb, le mercure ou le cadmium. On présume que ces métaux ne présentent aucun danger en faible quantité. Ils ne provoquent aucun dommage avant que leurs niveaux n'atteignent un certain seuil de toxicité. Des animaux de laboratoire auxquels on a administré de l'uranium ont présenté une atteinte rénale.

L'ingestion dans la nourriture constitue la principale forme d'exposition, bien que l'uranium soit l'un des principaux radionucléides naturels pouvant être présents dans les approvisionnements d'eau. En général, les concentrations d'uranium dans les eaux de surface et dans les eaux souterraines sont faibles, c.-à-d. inférieures à 1 g/L. Cependant, des concentrations de beaucoup supérieures ont été mesurées dans des sources d'eau souterraine privées et communautaires dans tout le Canada.

Réglementation du rayonnement ionisant

La radioprotection vise principalement à fournir une norme appropriée pour la protection des personnes contre les risques d'une exposition au rayonnement ionisant sans limiter indûment l'utilisation de produits nucléaires qui présentent des avantages pour la société. Au Canada, il existe des lois qui régissent l'utilisation des matériaux radioactifs et des dispositifs émettant des radiations, ainsi que l'exposition au rayonnement ionisant, aux niveaux fédéral et provincial.

La Commission de contrôle de l'énergie atomique (CCEA) est l'organisme fédéral chargé de réglementer les installations nucléaires et l'utilisation des matériaux nucléaires. Comme dans la plupart des pays du monde, son système de radioprotection est basé sur les recommandations de la CIPR. Des doses limites légales ont été fixées pour l'exposition au rayonnement professionnel et public résultant de toutes les pratiques réglementées. Ces limites ne s'appliquent pas à l'exposition au rayonnement provenant de sources naturelles ou à celle des patients exposés dans un contexte médical ou des personnes exécutant des opérations de sauvetage en cas d'urgence.

La CIPR (1991) a recommandé des doses limites de 20 millisieverts par an (m*Sv*/an) pour les expositions professionnelles et de 1 m*Sv*/an pour les expositions publiques, et ceci pour toutes les sources réglementées (c.-à-d. artificielles) combinées. La dose limite pour le public représente environ la moitié de l'exposition moyenne au rayonnement provenant des sources naturelles. Actuellement, les limites légales au Canada sont de 50 m*Sv*/an pour les expositions professionnelles et de 5 m*Sv*/an pour les expositions publiques. La CCEA adopte actuellement les plus récentes recommandations de doses limites de la CIPR.

Pour délivrer un permis, la CCEA exige que la dose totale aux limites des emplacements d'installations nucléaires ne dépasse pas 0,05 m*Sv* par an pour tous les radionucléides et leurs trajets d'exposition combinés. Mis à part le contrôle effectué par les installations nucléaires, divers organismes, notamment Santé Canada, le ministère de l'Environnement et de l'Énergie de l'Ontario et le ministère du Travail de l'Ontario, assurent un contrôle environnemental indépendant.

Bien que l'exposition au rayonnement de fond naturel ne soit pas véritablement réglementée au niveau fédéral ou provincial, il existe des normes et recommandations pour des modes d'exposition déterminés, par exemple pour le radon dans l'air ou pour les radionucléides dans l'eau potable. Les provinces peuvent également fixer des normes générales de qualité de l'environnement en matière de rayonnement. Par exemple, les Ontario Drinking Water Objectives pour les radionucléides sont utilisés pour évaluer l'acceptabilité des approvisionnements d'eau en Ontario et ils sont exécutoires pour les organismes qui approvisionnent les collectivités en eau.

Santé Canada administre la *Loi sur les dispositifs émettant des radiations* (fédérale) relative à des classes de dispositifs émettant des radiations, utilisés en milieu de travail (p. ex. appareils de radiographie, lasers et appareils à ultrasons à usage thérapeutique) et à la maison (p. ex. fours à micro-ondes, téléviseurs). Toutefois, la limitation de l'utilisation de ces dispositifs relève directement des provinces, qui réglementent et contrôlent les expositions pouvant provenir de ces dispositifs (mais pas des matériaux radioactifs), ainsi que des activités liées au cycle du combustible non nucléaire qui engendrent une exposition professionnelle aux radionucléides.

En 1996, Santé Canada a publié des recommandations pour les radionucléides dans l'eau potable. Les concentrations maximales acceptables (CMA) sont de 0,1 m*Sv* pour une consommation d'eau potable d'une année. Ce niveau de dose correspond à un risque théorique d'environ cinq décès par cancer supplémentaires par million de personnes exposées. La dose de référence de la recommandation est basée sur l'activité totale dans un échantillon d'eau, qu'il s'agisse de radionucléides purs ou combinés et elle comprend la dose attribuable aux radionucléides naturels et artificiels.

Tableau 3.8

RÉSUMÉ DES RECOMMANDATIONS POUR LES RADIONUCLÉIDES DANS L'EAU POTABLE

Radionucléides naturels	CMA (*Bq*/L)	Radionucléides artificiels	CMA (*Bq*/L)
Plomb-210	0.1	Antimoine-125	100
Radium-224	2	Crium-141	100
Radium-226	0.6	Cérium-144	20
Radium-228	0.5	Césium-134	7
Thorium-228	2	Césium-137	10
Thorium-230	0.4	Iode-125	10
Thorium-232	0.1	Iode-131	6
Thorium-234	20	Fer-59	40
Uranium-234	4[1]	Manganèse-54	200
Uranium-235	4[1]	Molybdène-99	70
Uranium-238	4[1]	Niobium-95	200
		Ruthénium-103	100
		Ruthénium-106	10
		Strontium-90	5
		Tritium[2]	7000
		Zinc-65	40
		Zirconium-95	100

1. L'activité volumique de l'uranium naturel correspondant à la recommandation chimique de 0,1 mg/L est d'environ 2,6 *Bq*/L.
2. Le tritium est également produit naturellement en quantités importantes dans l'atmosphère.

Source : *Recommandations pour la qualité de l'eau potable au Canada, Sixième édition.* Santé Canada, 1996.

Rayonnement non ionisant : le rayonnement ultraviolet

Origine

Le rayonnement ultraviolet (rayonnement UV) fait partie du spectre de la lumière solaire et reste invisible à l'oeil nu. Il est émis non seulement par les rayons naturels du soleil, mais aussi par les lampes ultraviolettes dans les salons de bronzage et les cuves thermales, les lampes germicides, les lasers aux ultraviolets, certaines sortes de lampes baladeuses industrielles et les arcs de soudage.

Le rayonnement ultraviolet du soleil se divise en trois catégories selon la longueur d'onde.

Les **UVC (longueur d'onde 200-280 nm)** possèdent la plus haute énergie et constituent probablement le rayonnement ultraviolet le plus destructeur. Toutefois, celui-ci est entièrement filtré par la couche d'ozone dans la haute atmosphère. Lorsqu'il est produit par une source artificielle, il traverse l'air et peut provoquer des blessures aux yeux et à la peau. La transmission du rayonnement ultraviolet dépend de la longueur d'onde ainsi que des différentes zones de la peau. Les ondes courtes, telles que les UVC, sont absorbées en grande partie par la couche protectrice de cellules mortes de la peau.

Les **UVB (longueur d'onde 280-315 nm)** sont les rayons sur lesquels la concentration de la couche d'ozone a le plus de conséquences. L'ozone absorbe les UVB entre 280 et 297 nm et il réduit la quantité de rayonnement atteignant la surface de la terre. En raison de leur longueur d'onde, les UVB sont principalement absorbés par l'épiderme. Ils sont cancérogènes et érythémogènes (ils provoquent des coups de soleil) et on pense qu'ils seraient responsables de la plupart des effets nocifs de l'exposition au soleil.

Les **UVA (longueur d'onde 315-400 nm)** sont ceux qui possèdent le moins d'énergie. Ils ne sont pas absorbés par la couche d'ozone, de sorte qu'ils atteignent facilement la surface de la terre où ils peuvent aggraver les effets des UVB. En effet, quoiqu'ils possèdent moins d'énergie, ils ont tendance à pénétrer plus profondément dans le derme et à atteindre les cellules les moins protégées, parce que les ondes les plus longues y pénètrent plus profondément. Il faut mille fois plus d'UVA que d'UVB pour provoquer un érythème chez des personnes sensibles. Les UVA détériorent le système immunitaire et déclenchent des photoallergies à certains produits chimiques et autres, ainsi que des phototoxicités de ces produits.

Persistance et mouvement dans le milieu

L'ozone (O_3) est une forme d'oxygène naturellement présente dans la stratosphère, qui se trouve à une distance de 15 à 35 kilomètres du niveau du sol. Celle-ci contient 90 p. 100 de tout l'ozone présent sur terre et sa répartition varie autour du globe en fonction des saisons, de la latitude et d'autres facteurs météorologiques. Bien que l'ozone soit assez rare dans l'atmosphère, il agit comme un écran protecteur contre le rayonnement ultraviolet du soleil. Si tout l'ozone présent dans l'atmosphère était ramené au niveau de la mer, il formerait une couche épaisse de quelques millimètres seulement. En absorbant le rayonnement ultraviolet, l'ozone protège les formes de vie terrestres des niveaux dangereux du rayonnement ultraviolet.

L'activité humaine a modifié la quantité totale et la répartition de l'ozone stratosphérique. Les « trous » d'ozone ou l'amincissement de la couche d'ozone se produisent lorsque les réactions chimiques dans la stratosphère auxquelles participent l'oxygène et l'ozone sont perturbées. Bon nombre de produits chimiques présents dans la stratosphère peuvent en effet perturber ces réactions et détruire la couche d'ozone; la dégradation des chlorofluorocarbures (CFC) et des halons en est le principal exemple.

Exposition

La quantité de rayonnement ultraviolet auquel est soumise la population à tout moment est extrêmement variable et dépend de nombreux facteurs. Les nuages abritent une grande proportion du rayonnement ultraviolet. Les saisons ont aussi leurs effets : le rayonnement ultraviolet est plus bas en hiver et plus élevé en été. Il augmente généralement avec l'altitude et diminue avec la latitude; il est donc plus élevé à l'équateur. L'épaisseur de la couche d'ozone joue également un rôle qui n'a pas encore été déterminé avec précision, car son épaisseur est naturellement variable. La présence de surfaces réfléchissantes, telles que la neige et l'eau, peut augmenter considérablement l'exposition au rayonnement ultraviolet.

Les lits de bronzage représentent une source supplémentaire d'exposition au rayonnement ultraviolet. L'intensité du rayonnement, particulièrement des UVA, peut être y considérablement supérieure à celle de la lumière solaire. Un bronzage en salon n'est pas plus sain et il présente les mêmes dangers qu'un bronzage à l'extérieur, à la lumière du soleil. En d'autres mots, une forme de bronzage ne présente pas moins de danger que l'autre.

Le rayonnement ultraviolet fait partie du spectre normal de la lumière solaire. Bien que la plus grande partie de l'exposition au soleil se produise avant l'âge de 20 ans, il n'est pas d'âge auquel on ne risque pas de subir des dommages supplémentaires. Les risques pour la santé associés à l'exposition peuvent être considérablement réduits par les mesures simples suivantes :

- Diminuer l'exposition au soleil entre 10 h et 16 h, lorsque le soleil est à son maximum.
- Porter des vêtements protecteurs non transparents et réduire la surface de peau exposée. Porter un chapeau à bords et des lunettes de soleil qui arrêtent les UVA et les UVB et qui réduisent la quantité de rayonnement ultraviolet qui atteint les yeux.
- Éviter les coups de soleil en diminuant le temps passé sous les rayons directs du soleil et en appliquant un écran solaire avec un indice de protection solaire (IPS) d'au moins 15. Appliquer une nouvelle couche d'écran solaire après deux heures d'exposition au soleil et après la baignade.
- Enseigner aux enfants à se protéger du soleil dès leur plus jeune âge, car les dommages causés par le soleil s'accumulent avec les années. Commencer à utiliser un écran solaire sur les enfants dès l'âge de six mois et leur apprendre à porter des vêtements appropriés et à se tenir à l'ombre pour se protéger du soleil.
- Utiliser un écran solaire même par temps nuageux. Ces jours-là, le rayonnement ultraviolet atteignant la terre est encore considérable.
- Éviter les salons de bronzage. Il n'existe pas de bronzage sans danger.
- Être conscient des surfaces réfléchissantes que constituent la neige et l'eau lorsqu'on est au soleil.

Ces précautions sont encore plus importantes pour les personnes qui font partie des catégories à risque, c.-à-d. les personnes ayant une peau sensible, celles qui prennent des médicaments qui ont des propriétés photosensibles ou photoallergiques et les très jeunes enfants.

CONSEILS D'ENVIRONNEMENT CANADA SUR LES UVB

Dans tout le Canada, les services de santé et les médias reçoivent des relevés quotidiens des UVB dans des villes données, émis par les Services atmosphériques d'Environnement Canada. Ils sont destinés à évaluer la quantité d'UVB que peut recevoir une personne un jour donné. La dose de rayonnement ultraviolet reçue par une personne varie en fonction du moment de la journée, de la saison, des cycles solaires, des conditions climatiques, de l'indice de pollution, de l'altitude, de la latitude, des vêtements portés et du temps passé au soleil sans protection. La réaction à l'exposition au rayonnement ultraviolet dépend du type de peau ou de sa sensibilité.

Environnement Canada exprime les valeurs de l'énergie en indice UVB mesuré de 0 à 10; plus l'indice est élevé, plus l'exposition aux UVB sera intense et plus le temps nécessaire à l'apparition de coups de soleil sera court. Ce calcul est basé sur la sensibilité des individus ayant un type de peau II (voir ci-dessous). Six types de peau ont été définis, comme il suit :

I. Peau qui brûle toujours facilement au soleil et qui ne bronze jamais;
II. Peau qui brûle facilement au soleil mais qui bronze légèrement;
III. Peau qui brûle modérément au soleil et qui bronze lentement et uniformément (marron clair);
IV. Peau qui brûle légèrement au soleil et qui bronze toujours bien (marron moyen);
V. Peau qui brûle rarement au soleil et qui bronze énormément (marron foncé) et
VI. Peau qui ne brûle jamais au soleil, fortement pigmentée (noire).

Tableau 3.9

L'INDICE UV ET LES PRINCIPALES CATÉGORIES D'UV

Indice UV	Catégorie	Mesures recommandées
Inférieur 4	Basse	Des précautions minimales sont nécessaires pour une activité normale. Une valeur faible peut être un sujet de préoccupation en cas d'exposition prolongée ou de réfléchissement important, particulièrement de la neige fraîche.
4 – 7	Modérée	Prendre des précautions pour limiter l'exposition aux UV, particulièrement si l'on passe une heure ou plus à l'extérieur : 1. Limiter le temps passé au soleil en réorganisant les activités et en trouvant de l'ombre. 2. Porter des vêtements appropriés, y compris un chapeau à larges bords, une chemise qui bloque les rayons du soleil et des lunettes de soleil. 3. Utiliser un écran solaire avec un IPS de 15 ou plus et une protection contre les UVA/UVB. Appliquer 15 à 20 minutes avant de sortir au soleil.
7+	Élevée	Provoque des coups de soleil et les dommages cutanés peuvent apparaître rapidement. Il est extrêmement important de réduire le temps passé au soleil. Suivez les précautions mentionnées ci-dessus, même si vous ne passez que peu de temps au soleil.

Source : *Sun Protection and the UV Index*, Gouvernement du Canada.

Considérations d'ordre sanitaire

Les UVA, qui peuvent pénétrer plus profondément dans la peau que les UVB, entraînent des modifications aux vaisseaux sanguins et un vieillissement prématuré de la peau. Les UVB provoquent des coups de soleil et rendent la peau plus sensible aux UVA. Une modification de l'ADN, qui résulte de dommages provoqués par le rayonnement UVB, peut conduire à diverses formes de cancer de la peau. Les personnes ayant un type de peau I ou II, particulièrement celles qui ont des taches de rousseur ou un grand nombre de grains de beauté, sont extrêmement exposées aux effets nocifs sur la santé.

Quant aux cancers non mélaniques de la peau, tels que le carcinome basocellulaire et le carcinome spinocellulaire, on estime que 90 p. 100 sont liés à une exposition au rayonnement ultraviolet. L'association entre le mélanome malin grave et une exposition au rayonnement ultraviolet est plus difficile à quantifier. Il tend à apparaître sur des parties du corps qui ne sont pas régulièrement exposées au soleil, quoique de graves coups de soleil, particulièrement durant l'enfance, semblent être un facteur de causalité. Le mélanome est lié à une prédisposition génétique et aux naevi dysplasiques (c.-à-d. grains de beauté), mais l'exposition au soleil est le principal facteur externe. La plupart des facteurs définis chez les personnes fortement exposées sont liés à la sensibilité de la peau aux effets aigus du rayonnement ultraviolet.

Les UVB peuvent également endommager l'oeil. Une exposition prolongée peut provoquer l'« ophtalmie des neiges » qui détériore la conjonctive et la cornée, la kératopathie chronique, qui détériore la cornée, et la cataracte, qui se développe dans le cristallin. La rétine peut également être endommagée par les UVA lorsque le cristallin a été chirurgicalement retiré. Toutes ces affections ont des répercussions sur la vision et ne peuvent pas toutes être traitées.

Une exposition au rayonnement ultraviolet peut également avoir des conséquences sur le système immunitaire. L'immunodépression peut être attribuable aux effets du rayonnement ultraviolet sur les cellules T de la peau, qui conduisent à une augmentation du risque d'infection et de cancer. Par exemple, on a montré que les personnes recevant des médicaments immunodépresseurs étaient particulièrement prédisposées à l'apparition d'un carcinome spinocellulaire. Le virus de l'herpès simplex peut être exacerbé par une exposition au rayonnement ultraviolet.

Même une brève exposition à la lumière solaire par temps chaud ou froid peut entraîner des réactions cutanées intenses chez les personnes ayant utilisé des agents photosensibilisants, comme différents médicaments (phénothiazines, thiazidiques et diurétiques sulfonamides apparentés) et des antibiotiques tels que la déméthylchlortétracycline. Certaines personnes peuvent rester sensibles à la lumière solaire longtemps après avoir cessé d'utiliser ces agents. Les réactions les plus fréquentes sont la phototoxicité, une blessure cutanée d'ordre chimique conduisant à un coup de soleil avec des rougeurs, un gonflement, des phlyctènes, une hyperpigmentation, ainsi qu'une peau qui pèle. Plus rarement, ces agents peuvent provoquer une photoallergie, qui ressemble à une allergie par contact avec papules ortiées immédiates (zones légèrement enflées qui sont plus rouges ou plus pâles que la peau tout autour) et cercles érythémateux (zones de rougeur cutanée qui s'étendent autour d'un point d'irritation) ou éruption papuleuse (boutonneuse), érythémateuse (rougissement de la peau) ou eczémateuse.

Rayonnement non ionisant : champs électromagnétiques (CEM)

Origine

L'électricité produite dans les centrales électriques est transmise aux domiciles, aux bureaux et aux usines au moyen de divers systèmes qui vont des lignes de haute tension aux lignes de distribution (les deux étant communément appelées lignes d'énergie électrique). La tension dans les lignes de haute tension peut varier entre 110 et 735 kilovolts (kV). Celle des lignes de distribution est plus faible. La production, la transmission et l'utilisation de l'électricité créent deux sortes de champs invisibles : électrique et magnétique. Un champ électrique est produit chaque fois que deux objets ont un potentiel (tension) différent. L'intensité d'un champ est exprimée en volt par mètre (V/m) ou en kilovolt par mètre (kV/m). Un champ magnétique est produit chaque fois qu'il y a passage d'un courant dans un conducteur, par exemple un conducteur haute tension, ou dans un cordon d'alimentation pour appareils électriques. Le champ magnétique est fréquemment exprimé en diverses unités telles que le tesla (T) ou le gauss (G), 1 tesla équivalant à 10 000 gauss. Les champs magnétiques et électriques combinés sont appelés « champs électromagnétiques » ou CEM.

Persistance et mouvement dans l'environnement

Les champs électromagnétiques sont plus élevés lorsqu'ils se rapprochent de la source et leur puissance diminue rapidement lorsque la distance par rapport à la source augmente. Ces champs ne sont pas persistants, mais ils sont produits continuellement, aussi longtemps que l'électricité circule dans la ligne.

Exposition

La plupart des Canadiens et Canadiennes sont quotidiennement exposés à des champs électromagnétiques causés par l'utilisation d'appareils électriques, comme les séchoirs à cheveux, les ouvre-boîtes, les aspirateurs, les rasoirs électriques, les couvertures électriques, les cuisinières et autres dispositifs électriques (p. ex. les outils à commande mécanique), ainsi que par la proximité des lignes de courant électrique. Les terminaux vidéo constituent une autre source d'exposition. Il s'agit des moniteurs utilisés comme terminaux vidéo pour les ordinateurs.

Au Canada, le champ électrique le plus élevé normalement rencontré par la population est d'environ 10 kilovolts par mètre et on le trouve sous les lignes de haute tension. Comparativement, les champs électriques créés par les couvertures électriques ont généralement une puissance d'environ 0,2 à 2 kilovolts par mètre. Les travailleurs dans certains domaines liés à l'électricité, comme l'entretien des lignes d'énergie électrique, peuvent être exposés à des champs électriques plus puissants. Au cours de la dernière décennie, Santé Canada a mené des essais sur des terminaux vidéo et n'a constaté aucune émission de champs électromagnétiques qui dépasse les limites d'exposition recommandées. Les écrans antirayonnement (un écran transparent placé devant un terminal vidéo) diminuent les champs électriques émis, mais n'ont aucun effet sur les champs magnétiques.

Contrairement aux champs électriques, les champs magnétiques les plus élevés ne sont généralement pas associés aux lignes de haute tension, mais ils existent en milieu professionnel où des courants de haute intensité sont utilisés, tels que le soudage à l'arc, le chauffage par induction, certains moteurs électriques et les transformateurs d'alimentation. Ces procédés exposent habituellement les travailleurs à des champs magnétiques d'une intensité allant de 1 à 1 000 microtesla. Au domicile, on trouve les champs magnétiques les plus élevés près de certains appareils électroménagers.

Figure 3.3

CHAMPS ÉLECTRIQUES DANS LA MAISON PRÈS DE QUELQUES APPAREILS ÉLECTRIQUES ET DES LIGNES À HAUTE TENSION

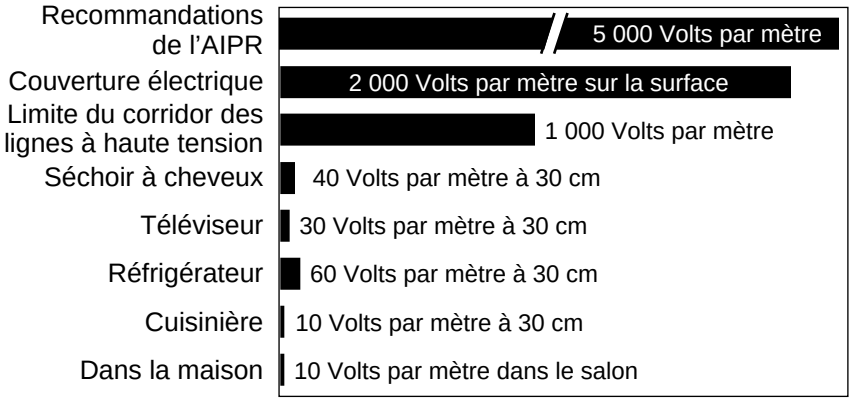
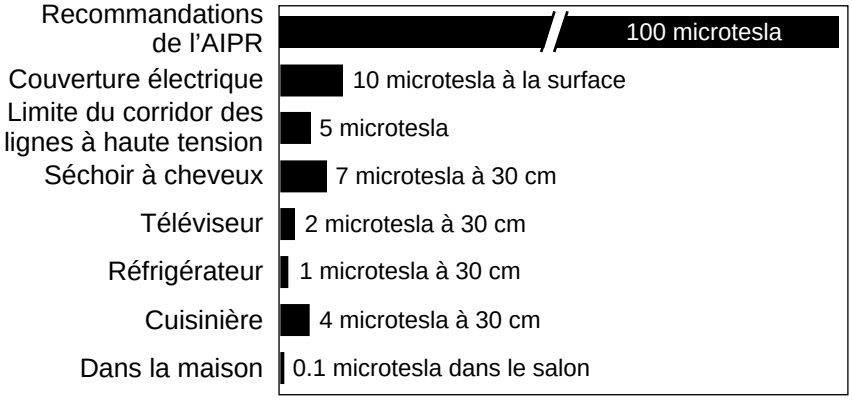


Figure 3.4

CHAMPS MAGNÉTIQUES DANS LA MAISON PRÈS DE QUELQUES APPAREILS ÉLECTRIQUES ET DES LIGNES À HAUTE TENSION



1 microtesla = 10 milligauss

Considérations d'ordre sanitaire

La fréquence des champs électromagnétiques sur la santé fait maintenant l'objet d'un grand débat scientifique. On réalise depuis plus de 20 ans des études destinées à examiner les effets sur la santé des champs électromagnétiques. Les recherches ont été principalement limitées à des études en laboratoire au sujet des effets sur les cellules, les tissus et les animaux, ainsi qu'à des études sur l'exposition humaine et en épidémiologie. Les résultats obtenus à ce jour n'ont pas clairement établi de lien entre une mauvaise santé et une exposition à des champs électromagnétiques. Des recherches approfondies sont actuellement menées dans le monde entier pour trouver des réponses aux questions non résolues.

Lorsqu'un corps humain est en présence de champs électriques ou magnétiques, des courants magnétiques sont produits par induction dans le corps. Des champs électriques supérieurs à 10 kV/m peuvent aussi provoquer une vibration du système pileux et une sensation de picotement sur la peau, qui peuvent être perçus par la plupart des gens.

Un certain nombre d'études épidémiologiques semblent indiquer une association possible entre l'exposition aux champs électromagnétiques et l'augmentation des taux de cancer, particulièrement de la leucémie infantile et du cancer du cerveau. Ainsi, une étude menée sur plus de 30 000 hommes à l'emploi de Hydro Ontario a mis en évidence un risque accru de leucémie due à l'exposition aux champs électromagnétiques (Miller, 1996). Il faut noter que les études liées aux champs électromagnétiques soulèvent des controverses. À ce jour, les études épidémiologiques n'ont pas été très concluantes.

Les préoccupations du public au sujet de l'exposition aux champs électromagnétiques provenant des terminaux vidéo se sont intensifiées. Les preuves scientifiques, obtenues chez les humains et chez les animaux, n'appuient pas l'hypothèse d'effets nocifs sur la santé. La plupart des études épidémiologiques ne révèlent aucune augmentation du risque d'avortement spontané ou de malformations du foetus. Des résultats similaires ont été constatés au cours d'études expérimentales avec les animaux.

Certaines études réalisées en laboratoire ont montré que les champs magnétiques pouvaient avoir des conséquences sur le fonctionnement des cellules, sans avoir nécessairement d'effets sur la santé. Quelques études expérimentales sur les animaux semblent indiquer que les champs magnétiques peuvent activer l'apparition de tumeurs chez les animaux exposés à des produits chimiques cancérogènes. Toutefois, ces résultats restent à confirmer. La façon dont ces effets biologiques se produisent et les répercussions de ces résultats sur la santé humaine sont actuellement mal comprises.

Normes

Il n'existe pas au Canada de normes de santé gouvernementales pour l'exposition aux champs électromagnétiques d'une fréquence de 60 Hz. En effet, on ne dispose pas actuellement de données scientifiques suffisantes pour établir des normes. L'exposition des Canadiens et Canadiennes aux champs de 60 Hz provenant de lignes de haute tension est généralement limitée en raison des critères de choix des sites et de conception adoptés par les compagnies de services publics au Canada. Les normes d'exposition recommandées par certains organismes tels que l'Association internationale pour la protection contre les radiations sont nettement supérieures aux niveaux auxquels sont exposés les Canadiens et Canadiennes.

Il existe des normes pour la mise en place de clôtures métalliques et d'autres structures destinées à prévenir l'exposition à des décharges dangereuses provenant de champs électromagnétiques puissants au-dessous des lignes de haute tension.

Rayonnement non ionisant : le rayonnement acoustique ou bruit

Origine

On considère que le bruit (ou son) est une forme de rayonnement acoustique non ionisant, car il s'agit d'une énergie émanant d'une source. Le bruit est défini comme un son indésirable et désagréable. Le bruit d'origine industrielle est un danger pour la santé réglementé depuis environ 25 ans. Le bruit ambiant devient une préoccupation de plus en plus grande pour la santé en raison de l'augmentation, depuis trente ans, de sources de bruit touchant un plus grand nombre de personnes. Une source de bruit est définie comme un émetteur qui crée un bruit suffisamment élevé pour importuner les gens et pour toucher une proportion importante de la population. Trois sources de bruit ambiant distinctes peuvent être définies au sein des collectivités :

- Les sources fixes, telles que les conditionneurs d'air et l'équipement industriel, peuvent être un sujet de préoccupation pour l'aménagement des terrains à des fins résidentielles et d'autres fins délicates.
- Les sources mobiles sont principalement liées aux transports. Ceux-ci sont de loin la plus importante source de bruit, la circulation routière étant la principale coupable. Lors d'une étude nationale menée par Transports Canada, 19 p. 100 des personnes interrogées ont déclaré que le bruit de la circulation routière était ce qu'ils aimaient le moins dans leur voisinage. Les principales sources en sont les véhicules, tels les automobiles, les camions, les autobus et les motocyclettes. Les avions et les trains peuvent également constituer des sources importantes dans certaines zones.
- Le bruit produit par les gens et les animaux, y compris les enfants qui jouent, les fêtes en plein air, la musique intense et les aboiements des chiens.

Le bruit d'origine industrielle et des travaux de construction et de démolition peut également déranger considérablement. De ce fait, de nombreuses municipalités ne permettent les travaux de construction qu'entre 7 heures et 19 heures.

Mesure

Le son est une onde de pression progressive produite par de faibles compressions et détentes de l'air à proximité d'un objet en vibration. La **fréquence** (ou hauteur de son) et l'**intensité** sont deux de ses caractéristiques fondamentales. La fréquence correspond au nombre d'ondes irradiées par seconde. Ainsi, la fréquence des sons quotidiens communs est généralement de 40 hertz (Hz) à 10 000 Hz, un hertz équivalant à un cycle par seconde. La plupart des gens peuvent percevoir les sons dont la fréquence se situe entre 20 et 20 000 hertz. La capacité de percevoir des sons de fréquence très faible ou très élevée varie énormément d'une personne à l'autre.

L'intensité d'un son se mesure en fonction du niveau de pression acoustique (NPA), qui se mesure en décibels (dB). Pour la mesure, on utilise un sonomètre, petit microphone raccordé à des circuits électroniques spéciaux. Le seuil de l'audition normale se situe à un niveau de pression acoustique d'environ 0 dB. Toute augmentation du niveau de pression acoustique de 10 dB correspond à une intensité 10 fois supérieure, qui est perçue par les personnes comme étant deux fois plus élevée. La sonie d'un son varie également avec sa fréquence. La sensibilité maximale au son se situe entre 1 000 et 3 000 Hz. Les sons à fréquence très faible ou très élevée semblent plus faibles à l'oreille humaine que les sons à fréquence moyenne, même à une intensité égale.

L'OUÏE

L'oreille est constituée de trois parties distinctes : l'oreille externe, l'oreille moyenne et l'oreille interne. Lorsqu'un son pénètre dans l'oreille, les ondes traversent un canal qui se termine à la membrane du tympan. Chaque onde fait vibrer cette membrane qui conduit alors le son jusqu'aux osselets de l'oreille moyenne, les trois plus petits os du corps. Les osselets transmettent à leur tour les vibrations à un liquide qui remplit la cochlée de l'oreille interne, un petit segment en forme de limaçon. Les terminaisons nerveuses d'une grosseur microscopique, appelées cellules auditives ciliées, qui se trouvent dans la cochlée, captent les vibrations puis envoient des impulsions électriques au cerveau qui les interprètent comme des sons.

Tableau 3.10

NIVEAUX DE BRUIT EN DÉCIBELS (dB)

Niveau de bruit (dB)	Description	Exemples
140 dB	Seuil d'audition intolérable	Détonation d'un fusil de chasse, avion à réaction au décollage
120 dB	Seuil d'audition inconfortable	Sortie amplifiée de musique rock, foule en délire au cours d'une partie de hockey, tonnerre, bruit d'un marteau piqueur
100 dB	Extrêmement fort	Tondeuse à gazon motorisée, tracteur de ferme, métro (à l'intérieur), motocyclette, motoneige
80 dB	Moyennement fort	Climatiseur de fenêtre, restaurant bondé, camion/tracteur alimenté au diesel
60 dB	Tranquille	Gazouillis d'oiseaux, conversation sur un ton normal
40 dB	Très tranquille	Bruissement des feuilles, pluie fine, robinet qui goutte
10 dB	À peine audible	Murmure

Exposition

Le bruit peut varier considérablement d'une région à une autre, d'une ville à une autre et même d'un quartier à un autre d'une même ville. Des facteurs tels que la densité de la population peuvent aussi avoir une importance. Les niveaux de bruit sont généralement supérieurs dans les zones urbaines qui sont fortement peuplées, où la densité de la circulation est plus forte. C'est la circulation routière qui dérange le plus de gens, suivie du trafic aérien. Le bruit autour des aéroports atteint son maximum au décollage et à l'atterrissage et il est plus gênant dans les parties les plus peuplées du pays. Le bruit des chemins de fer et des sources fixes telles que les établissements industriels touche généralement une proportion plus limitée de la population.

Bon nombre des bruits provoqués par les outils électriques, les appareils électroménagers, les rames de métro et les trains pourraient réduire l'acuité auditive d'une personne qui y serait constamment exposée. Heureusement, le nombre de personnes massivement exposées à une intensité aussi élevée est limité. Certains groupes professionnels, notamment ceux qui travaillent avec des machines bruyantes, peuvent être exposés à des niveaux excessifs, particulièrement s'ils ne portent pas d'équipement de protection. Certaines personnes participant à des activités de loisir et de sport sont parfois exposées à des bruits nuisibles. Ce sont les tireurs sur cible, les chasseurs, les personnes qui écoutent de la musique forte pendant de longues périodes et celles qui utilisent des motoneiges, des motocyclettes et des embarcations à moteur.

Considérations d'ordre sanitaire

Le degré de tolérance au bruit est relatif. Le bruit excessif est néfaste pour la santé et pour le bien-être des personnes. Il peut d'ailleurs entraîner une perte permanente de l'acuité auditive. Cependant, même à des niveaux trop faibles pour entraîner une perte permanente de l'ouïe, le bruit peut nuire à la santé et au bien-être des personnes en diminuant leur capacité de concentration, en causant des réactions de sursaut, en perturbant leur sommeil et leur repos et en augmentant l'inconfort et le stress.

Perte de l'acuité auditive : Le bruit peut avoir des répercussions variées sur les personnes. Certaines sont en effet fortement prédisposées à subir une perte auditive due au bruit, tandis que d'autres y sont très résistantes. La perte auditive attribuable au bruit est habituellement provoquée par une trop grande exposition, qui entraîne des dommages physiques directs aux cellules épithéliales de l'oreille interne. Il existe deux catégories de déficits auditifs : le déficit temporaire et le déficit permanent.

La **perte temporaire de l'ouïe** peut se produire lorsqu'une personne exposée à une période de bruit intense subit une perte auditive pendant un certain temps. L'ouïe normale revient après quelques minutes ou quelques jours, selon la personne et selon la durée et l'intensité de l'exposition.

La **perte permanente de l'ouïe**, provoquée par l'exposition à un bruit intense, se produit habituellement de façon très progressive. Cet effet cumulatif dépend de l'énergie acoustique totale à laquelle l'oreille est exposée, sans égard pour la cause du bruit. Toutefois, le bruit dépasse quelquefois un niveau critique, de sorte qu'une exposition unique peut provoquer une perte permanente de l'ouïe.

Les normes actuelles concernant les bruits industriels ne protègent pas tous les travailleurs et travailleuses d'une perte auditive. Par exemple, dans le milieu industriel, une exposition à 90 dB 40 heures par semaine pendant 30 ans provoque une déficience auditive chez 10 p. 100 des travailleurs et travailleuses. Les données favorisent la réduction des limites sonores au travail et, récemment, Travail Canada a réduit la limite du bruit au travail à 87 décibels.

Sommeil : Le bruit peut empêcher une personne de dormir profondément et la réveiller lorsqu'elle dort, déréglant ainsi la structure cyclique du sommeil. Ces effets diminuent la qualité du sommeil, ce qui augmente la fatigue et réduit le rendement du lendemain. Il peut s'ensuivre avec le temps des effets plus graves pour la santé et pour le bien-être en général. Les personnes âgées sont particulièrement susceptibles de perdre le sommeil en raison du bruit.

Inconfort et stress : Le bruit excessif peut créer un grand inconfort et engendrer un stress. L'inconfort compromet à lui seul la santé et le bien-être des personnes dans les collectivités exposées. Bien que les études n'aient pas encore fourni de résultats concluants, on craint que le bruit excessif n'ait une fréquence indirecte sur le système cardio-vasculaire.

Atténuation : Le bruit peut presque toujours être atténué. Les mesures d'atténuation du bruit doivent chercher à réduire le bruit en premier lieu à la source et, en second lieu, au niveau de la personne qui le perçoit ou de la voie de transmission, soit entre la source et le récepteur.

Les problèmes d'atténuation du bruit devraient être prévus dès la conception d'un immeuble ou d'une usine. Les ingénieurs et les architectes devraient tenir compte de l'aspect acoustique et prévoir des mesures d'atténuation du bruit à la conception, afin de s'assurer que les problèmes de bruit sont réglés dès le départ. On peut réduire le niveau de bruit par un traitement acoustique spécial de la toiture et des doubles parois murales. Les pièces d'équipement très bruyantes devraient être gardées à bonne distance des aires de bureau et des salles de conférence. Elles doivent de préférence être placées au niveau du sol, de façon à minimiser les vibrations et la transmission du bruit à d'autres parties du bâtiment. On peut également réduire le bruit en installant des enceintes spéciales et des murs antibruit autoportants.

Les murs antibruit et les enceintes sont des techniques efficaces pour abaisser les niveaux de bruit. Pour qu'un mur antibruit puisse être efficace, il doit être suffisamment élevé pour intercepter la ligne de vue entre la source du bruit et son récepteur. Les murs antibruit autoportants exigent un minimum d'espace, ils sont faciles à

entretenir et séparent physiquement une personne de la source du bruit. Les caractéristiques topographiques d'une région, telles que les collines et les ravins, peuvent servir de barrière naturelle au bruit.

Il est généralement moins coûteux d'acheter du matériel silencieux que d'isoler du matériel bruyant. En fournissant des données sur le niveau sonore de leur matériel, les fabricants peuvent favoriser l'utilisation d'équipements plus silencieux et la conception de milieux de travail moins bruyants. Les silencieux peuvent atténuer les bruits à basse fréquence. Les bruits à moyenne et à haute fréquence dans les conduits et dans les ouvertures peuvent être atténués en recouvrant les murs d'un matériau absorbant phonique.

Les dispositifs de protection personnels sont des barrières physiques qui permettent de réduire le volume d'énergie sonore transmise au récepteur de l'oreille interne. Ces dispositifs peuvent prendre la forme de bouchons d'oreille externe ou de cache-oreilles antibruit qui protègent l'oreille des bruits indésirables.

Réglementation

Gouvernement fédéral : Les principales fonctions de l'administration fédérale en matière de limitation du bruit consistent à établir des normes d'étiquetage relatives à l'émission du bruit, ainsi que des normes relatives à l'émission maximale de bruit pour une variété de produits, d'appareils et de véhicules et de s'assurer qu'elles sont respectées. Cependant, de tels règlements ne s'appliquent pas aux situations « d'après-vente » lorsqu'un produit peut être détérioré et ne plus satisfaire aux normes d'émission établies avant sa sortie d'usine. Le gouvernement fédéral formule également des recommandations pour la limitation du bruit associé aux moyens de transport interprovinciaux, qui comprennent les aéronefs, les trains et les embarcations à moteur. De plus, il incombe à Santé Canada de donner des conseils spécialisés sur les effets du bruit sur la santé au cours d'évaluations environnementales auxquelles participent d'autres ministères fédéraux.

Gouvernement provincial : Les gouvernements provinciaux établissent des recommandations en matière de limitation du bruit dans le cadre de la planification de l'utilisation des terres. Ils autorisent et aident les municipalités à établir des plans d'action et à promulguer des règlements visant à diminuer le nombre de sources de bruit distinctes. Il incombe également aux administrations provinciales, en vertu de diverses lois provinciales, de limiter le niveau de bruit engendré par l'utilisation de certains produits, appareils et véhicules.

Administration municipale : C'est surtout au niveau municipal qu'on légifère sur la réduction du bruit. Les municipalités réglementent le bruit par l'adoption de règlements municipaux relatifs à la limitation du bruit, de plans municipaux d'aménagement foncier et de zonage, d'une gestion de la circulation et de programmes de réaménagement routier visant à réduire le bruit ambiant.