

# 30

Rédacteur  
*Robert F. Herrick*

### Table des matières

Objectifs, définitions et informations d'ordre général . . . . .	<i>Berenice I. Ferrari Goelzer</i>	30.2
L'identification des risques . . . . .	<i>Linnéa Lillienberg</i>	30.11
L'évaluation du milieu de travail . . . . .	<i>Lori A. Todd</i>	30.15
L'hygiène du travail et la surveillance active des risques pour la santé . . . . .	<i>James Stewart</i>	30.25
Les principes biologiques de l'évaluation de l'exposition . . . . .	<i>Dick Heederik</i>	30.27
Les valeurs limites d'exposition professionnelle . . . . .	<i>Dennis J. Paustenbach</i>	30.30

## ● OBJECTIFS, DÉFINITIONS ET INFORMATIONS D'ORDRE GÉNÉRAL

*Berenice I. Ferrari Goelzer*

Le travail est essentiel à la vie, au développement et à l'épanouissement personnel. Malheureusement, des activités indispensables telles que la production alimentaire, l'extraction de matières premières, la fabrication de biens, la production d'énergie et les services mettent en œuvre des processus, des opérations et des matériaux qui peuvent, dans une plus ou moins grande mesure, être dangereux pour la santé des travailleurs et des membres des collectivités avoisinantes, ainsi que pour l'environnement dans son ensemble.

Toutefois, il est possible de prévenir la formation et la propagation d'agents nocifs en milieu de travail, grâce à des mesures de maîtrise des risques destinées non seulement à protéger la santé des travailleurs, mais également à limiter les dommages causés à l'environnement qui vont souvent de pair avec l'industrialisation. Si un produit chimique nocif est éliminé d'un processus de production, il ne touchera pas les travailleurs et ne polluera pas non plus l'environnement.

Le rôle de l'hygiène du travail est précisément de prévenir et de maîtriser les risques liés aux activités professionnelles. L'hygiène du travail a notamment pour objectif de protéger et de promouvoir la santé des travailleurs, de protéger l'environnement et de favoriser un développement sûr et durable.

On ne saurait trop insister sur l'importance de l'hygiène du travail dans la protection de la santé des travailleurs. En effet, le fait qu'une maladie soit diagnostiquée et soignée ne prévient pas la survenue d'autres cas si l'exposition à l'agent étiologique persiste. Tant que l'environnement de travail reste malsain, les risques potentiels pour la santé subsistent. Seule la maîtrise de ces risques pour la santé peut rompre le cercle vicieux illustré à la figure 30.1.

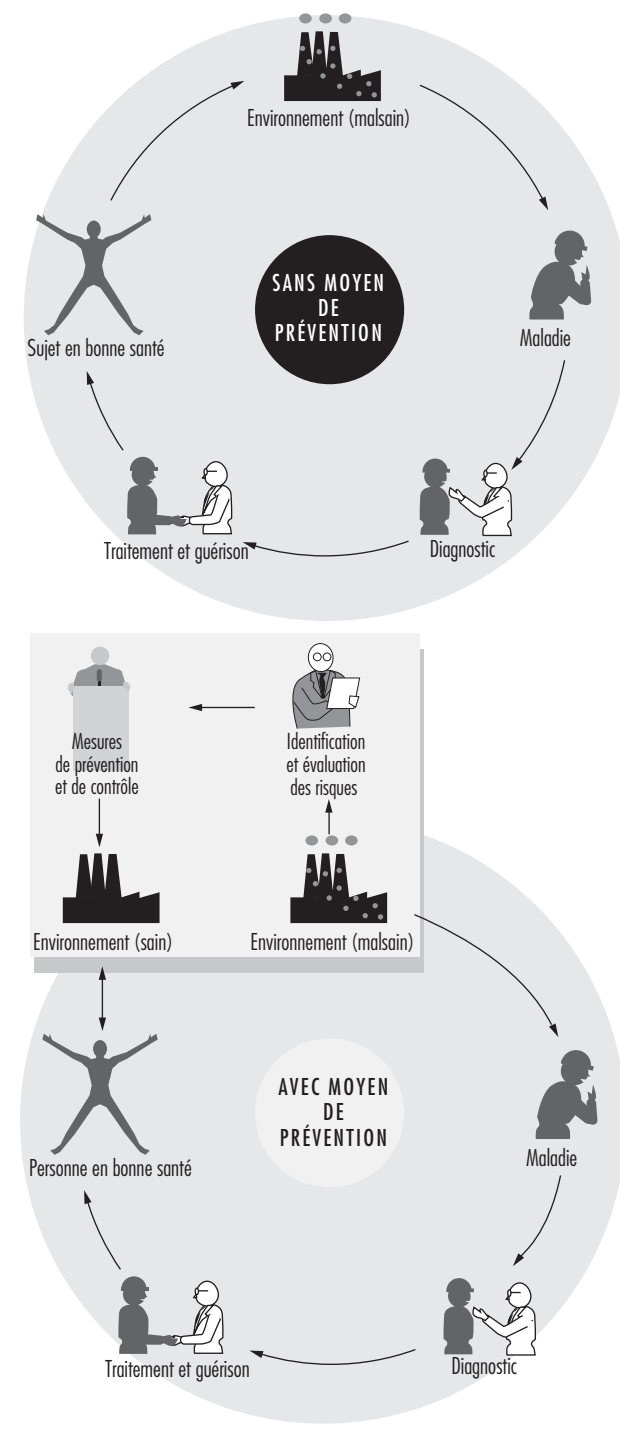
Cependant, la prévention doit commencer bien plus tôt, non seulement avant la manifestation d'une dégradation de l'état de santé, mais avant toute exposition effective. Le milieu de travail devrait faire l'objet d'une surveillance permanente afin d'y détecter et d'en faire disparaître les agents et les facteurs dangereux ou de les maîtriser avant qu'ils n'aient des effets négatifs; tel est le rôle de l'hygiène du travail.

En outre, l'hygiène du travail peut également contribuer à un développement sûr et durable en «garantissant les besoins présents sans compromettre la capacité des générations futures de satisfaire les leurs» (World Commission on Environment and Development, 1987). Afin de satisfaire les besoins de la population mondiale actuelle sans épuiser ou altérer les ressources de la planète ni causer d'effets nuisibles à la santé et à l'environnement, il est nécessaire d'avoir une bonne connaissance des problèmes et de pouvoir influencer concrètement sur la situation (OMS, 1992a); en ce qui concerne les processus de production, ces aspects sont étroitement liés à l'hygiène du travail.

La prévention des risques pour la santé au travail suppose une approche multidisciplinaire dont l'hygiène du travail est une composante essentielle, aux côtés notamment de la médecine et des soins infirmiers du travail, de l'ergonomie et de la psychologie du travail. La figure 30.2 illustre schématiquement les champs d'action respectifs des médecins et des hygiénistes du travail.

Il est important que les responsables politiques, les dirigeants d'entreprise et les travailleurs eux-mêmes, ainsi que les professionnels de la santé au travail, comprennent le rôle essentiel joué par l'hygiène du travail dans la protection de la santé des travailleurs et de l'environnement et la nécessité de faire appel à des spécialis-

Figure 30.1 • Interactions entre l'individu et l'environnement



tes dans ce domaine. Il faut également garder présent à l'esprit le lien étroit qui existe entre la santé au travail et l'hygiène du milieu. En effet, la prévention de la pollution d'origine industrielle doit commencer sur le lieu de travail par le traitement et l'élimination appropriée des rejets et déchets dangereux (voir ci-après l'article intitulé «L'évaluation du milieu de travail»).

## Les concepts et les définitions

### L'hygiène du travail

L'hygiène du travail est la science de l'anticipation, de l'identification, de l'évaluation et de la maîtrise des risques professionnels qui pourraient nuire à la santé et au bien-être des travailleurs. Elle prend également en compte l'impact éventuel de ces risques sur les collectivités avoisinantes et sur l'environnement en général.

L'hygiène du travail peut être définie de différentes façons, mais sa signification et son objectif sont, au fond, toujours les mêmes: protéger et promouvoir la santé et le bien-être des travailleurs et préserver l'environnement dans son ensemble grâce à des actions de prévention sur le lieu de travail.

L'hygiène du travail n'est pas encore universellement reconnue en tant que profession; cependant, dans de nombreux pays, une législation se met progressivement en place pour aboutir à cette reconnaissance.

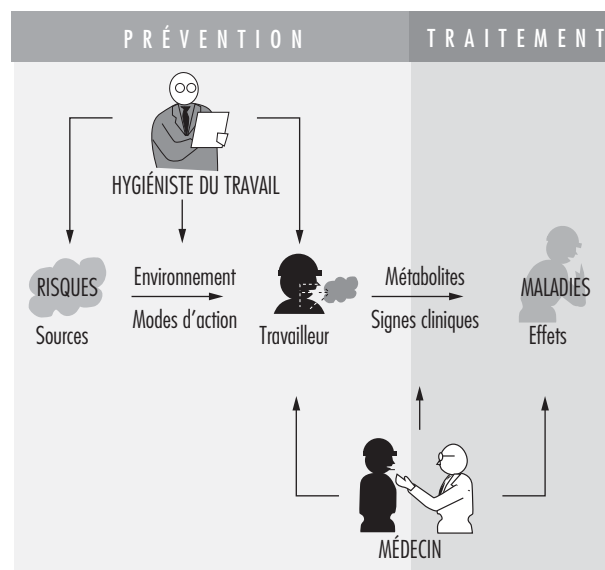
### L'hygiéniste du travail

L'hygiéniste du travail est un professionnel qui dispose des capacités requises pour:

- anticiper les risques pour la santé que peuvent comporter les processus, opérations et équipements d'exploitation et, par conséquent, contribuer à la planification et à la conception de ces derniers;
- identifier et comprendre, dans un environnement professionnel, l'apparition (réelle ou éventuelle) d'agents chimiques, physiques ou biologiques et d'autres types d'agression et leurs interactions avec d'autres facteurs susceptibles d'influer sur la santé et le bien-être des travailleurs;
- connaître les voies de pénétration éventuelles des agents dans le corps humain et les effets que ces agents et d'autres facteurs peuvent avoir sur la santé;
- évaluer l'exposition des travailleurs à des agents et autres facteurs potentiellement dangereux et étudier les résultats obtenus;
- évaluer les processus et les méthodes de travail du point de vue des possibilités de formation et de libération ou de propagation d'agents et autres facteurs potentiellement dangereux, dans le but d'éliminer l'exposition ou de la réduire à des niveaux acceptables;
- concevoir, recommander et tester des stratégies de prévention des risques, seul ou en collaboration avec d'autres professionnels, pour garantir une action efficace et économique;
- participer à l'analyse et à la gestion globale des risques liés à un agent, à un processus ou à un lieu de travail et contribuer à la définition des priorités aux fins de la gestion des risques;
- connaître le cadre légal de l'exercice de l'hygiène du travail dans son propre pays;
- éduquer, former, informer et conseiller le personnel à tous les niveaux et sur tous les aspects de l'information relative aux risques;
- travailler efficacement au sein d'une équipe multidisciplinaire comprenant d'autres professionnels;
- reconnaître les agents et autres facteurs qui peuvent avoir un impact sur le milieu et comprendre la nécessité d'intégrer l'exercice de l'hygiène du travail et la protection de l'environnement.

Il faut garder à l'esprit qu'une profession se définit non seulement par un ensemble de connaissances, mais aussi par des règles déontologiques; les associations nationales d'hygiène du travail ainsi que l'Association internationale d'hygiène du travail (IOHA) ont leur propre code de déontologie (OMS, 1992b).

Figure 30.2 • Champs d'action respectifs du médecin et de l'hygiéniste du travail



Source: avec l'aimable autorisation du professeur M. Guillemin, Institut universitaire romand de santé au travail, Lausanne, Suisse (sous réserve de quelques modifications).

### Le technicien en hygiène du travail

Un technicien en hygiène du travail est «une personne compétente pour effectuer des mesurages relatifs au milieu de travail», mais non pas «pour faire des interprétations, porter des jugements et formuler des recommandations, tâches qui incombent à l'hygiéniste du travail». Le niveau de compétence demandé peut être obtenu dans un domaine étendu ou limité (OMS, 1992b).

### L'Association internationale d'hygiène du travail (International Occupational Hygiene Association (IOHA))

L'Association internationale d'hygiène du travail (IOHA) a été officiellement fondée au cours d'une assemblée qui s'est tenue à Montréal le 2 juin 1987. Elle regroupe aujourd'hui 19 associations nationales d'hygiène du travail représentant plus de 19 000 membres dans 17 pays.

L'objectif premier de l'IOHA est de promouvoir et de développer l'hygiène du travail dans le monde, à un niveau élevé de compétence professionnelle, grâce notamment à l'échange d'informations entre organisations et individus, au développement des ressources humaines et à la généralisation de pratiques rigoureuses d'un point de vue déontologique. L'IOHA organise des rencontres scientifiques et publie un bulletin d'information. Les membres des associations affiliées à l'IOHA en sont membres d'office; les habitants des pays ne comptant pas encore d'association nationale d'hygiène du travail peuvent en faire partie à titre individuel.

### La certification ou l'agrément des hygiénistes du travail

Après s'être entendu sur une définition de l'hygiène du travail et du rôle de l'hygiéniste du travail, il est nécessaire de prévoir des systèmes de certification pour garantir un niveau de compétence et de pratique acceptable en la matière. On entend par certification ou agrément l'élaboration d'un système officiel basé sur des procédures visant à établir et entretenir le niveau de connaissances et de compétence des professionnels (Burdorf, 1995).

L'IOHA a fait réaliser une enquête sur les systèmes nationaux de certification existants en la matière (Burdorf, 1995) et a émis des recommandations dans le but de favoriser la coopération internationale pour garantir la compétence des professionnels de l'hygiène du travail. Elle préconise notamment :

- «d'harmoniser les niveaux de compétence et les conditions d'exercice des professionnels en hygiène du travail»;
- «de créer un organisme international de pairs chargés d'examiner la qualité des systèmes de certification existants».

Sont également recommandées «la réciprocité» et «l'acceptation mutuelle des définitions nationales dans le but ultime d'établir un cadre général et d'adopter une définition internationalement reconnue».

### La pratique de l'hygiène du travail

Les étapes classiques de la pratique de l'hygiène du travail sont les suivantes :

- l'identification des risques éventuels pour la santé liés au milieu de travail;
- l'évaluation des risques qui consiste à estimer le degré d'exposition et, partant, le niveau de risque pour la santé des personnes;
- la prévention et la maîtrise des risques par l'élaboration et la mise en œuvre de stratégies visant à éliminer, ou à réduire à des niveaux acceptables, l'apparition d'agents et de facteurs nocifs sur le lieu de travail, tout en tenant compte de la nécessaire protection de l'environnement.

«Une action préventive anticipée et intégrée» constitue l'approche idéale de la prévention des risques. Elle devrait comprendre :

- l'évaluation de l'impact sur la santé des travailleurs et sur l'environnement avant la conception et l'installation d'un nouveau lieu de travail;
- le choix de la technologie la plus sûre et la moins polluante («production plus propre»);
- une localisation adaptée du point de vue de l'environnement;
- une bonne conception et une implantation adéquate des installations, avec des moyens de prévention appropriés, y compris sur le plan de la sécurité du traitement et de l'élimination des rejets et déchets générés;
- l'élaboration de règles et de directives en matière de formation, afin d'assurer la bonne exécution des opérations, y compris la sécurité des pratiques de travail et les procédures de maintenance et d'urgence.

On ne soulignera jamais assez combien il est important d'anticiper et de prévenir tous les types de pollution de l'environnement. Fort heureusement, on a de plus en plus tendance à considérer les nouvelles technologies par rapport aux conséquences négatives qu'elles pourraient avoir et de leur prévention, depuis le stade de la conception et de l'installation du processus jusqu'au traitement des effluents et déchets produits. Les catastrophes écologiques survenues dans les pays développés comme dans les pays en développement auraient pu être évitées si l'on avait adopté des stratégies de maîtrise des risques et des procédures d'urgence appropriées en milieu de travail.

Les aspects économiques ne doivent pas être envisagés uniquement du point de vue du coût initial, comme c'est le cas habituellement; des options plus coûteuses, mais aussi mieux à même d'assurer la protection de la santé et de l'environnement peuvent s'avérer plus économiques à long terme. La protection de la santé des travailleurs et de l'environnement doit débiter beaucoup plus tôt qu'on ne le prévoit généralement. Les concepteurs de nouvelles activités, de nouvelles machines, de nouveaux équipements et lieux de travail devraient toujours disposer d'informations et de

conseils techniques sur l'hygiène du travail et du milieu. Malheureusement, ces informations arrivent souvent bien trop tard, lorsque la seule solution à adopter consiste à opérer des changements difficiles et coûteux ou, pire encore, lorsque des conséquences désastreuses se sont déjà produites.

### L'identification des risques

L'identification des risques est une étape fondamentale dans la pratique de l'hygiène du travail. Elle est indispensable à la planification des stratégies d'évaluation et de maîtrise des risques, ainsi qu'à la définition des priorités d'action. En ce qui concerne l'élaboration des mesures de prévention, il est également nécessaire de caractériser physiquement les sources de contamination et les voies de propagation de la contamination.

L'identification des risques conduit à définir :

- les agents susceptibles d'être présents et les circonstances dans lesquelles ils peuvent se manifester;
- la nature et l'étendue éventuelle de leurs effets nuisibles sur la santé et le bien-être des personnes exposées.

L'identification des agents dangereux, de leurs sources et des conditions d'exposition nécessite une connaissance approfondie et une étude minutieuse des processus de travail et des opérations effectuées par les travailleurs, des matières premières et des produits chimiques utilisés ou générés, des produits finis et des éventuels sous-produits, ainsi que des possibilités de formation accidentelle de produits chimiques, de décomposition des matières, de consommation de combustibles ou de présence d'impuretés. Pour comprendre la nature et l'ampleur éventuelle des effets biologiques que ces agents pourraient avoir en cas de surexposition, il est nécessaire d'avoir des connaissances et de pouvoir se procurer des données en matière de toxicologie. Les sources d'information internationales dans ce domaine sont notamment les suivantes : Programme international sur la sécurité des substances chimiques (PISSC), Centre international de recherche sur le cancer (CIRC), Registre international des substances chimiques potentiellement toxiques du Programme des Nations Unies pour l'environnement (PNUE-RISCPT) et Centre international d'informations de sécurité et de santé au travail (CIS) du Bureau international du Travail (BIT).

Les agents qui comportent des risques pour la santé en milieu de travail sont les polluants dispersés dans l'air; les produits chimiques qui ne sont pas en suspension dans l'air; les agents physiques, comme la chaleur et le bruit; les agents biologiques; les facteurs ergonomiques tels que des techniques de levage et des postures de travail inadéquates et les contraintes psychosociales.

### Les évaluations d'hygiène du travail

Il s'agit ici d'évaluer l'exposition des travailleurs et de recueillir des données en vue de concevoir ou de tester les mesures de prévention des risques.

L'évaluation de l'exposition des travailleurs aux risques professionnels que représentent notamment les contaminants en suspension dans l'air et les agents physiques et biologiques est abordée plus loin dans ce chapitre. Toutefois, quelques considérations d'ordre général sont fournies ici pour permettre une meilleure compréhension de la mission de l'hygiène du travail.

Il est important de garder à l'esprit le fait que l'évaluation des risques n'est pas une fin en soi, mais doit être considérée comme faisant partie d'une démarche beaucoup plus vaste. Elle débute par la prise de conscience qu'un agent déterminé, potentiellement dangereux pour la santé, peut être présent dans le milieu de travail, et s'achève par la maîtrise de cet agent pour l'empêcher de nuire. L'évaluation des risques prépare le terrain pour la prévention des risques sans toutefois la remplacer.

### L'évaluation de l'exposition

Cette étape a pour but de déterminer la quantité d'agent à laquelle les travailleurs ont été exposés, ainsi que la fréquence et la durée des expositions. Des directives ont été élaborées à ce sujet tant au niveau national qu'international. C'est le cas, par exemple, de la norme EN 689 du Comité européen de normalisation (CEN, 1994).

Pour les polluants dispersés dans l'air, on commence généralement par évaluer l'exposition par inhalation, c'est-à-dire la concentration dans l'air de l'agent indésirable (ou, dans le cas de particules, la concentration atmosphérique de la fraction pertinente, par exemple la fraction «respirable»), ainsi que la durée de l'exposition. Toutefois, si l'absorption d'un produit chimique se fait par d'autres voies, on risque de commettre une erreur en se limitant à l'exposition par inhalation. Il convient alors d'évaluer l'exposition totale, et la surveillance biologique constitue pour cela un outil très utile.

Les objectifs de l'hygiène du travail sont de trois types:

- études initiales d'évaluation de l'exposition des travailleurs;
- suivi/surveillance;
- évaluation de l'exposition aux fins d'études épidémiologiques.

Il est essentiel de déterminer si les travailleurs sont surexposés à un agent dangereux, surtout parce qu'on peut alors décider si oui ou non une intervention est nécessaire. Cette tâche conduit souvent, mais pas nécessairement, à définir s'il y a conformité avec une norme acceptée, laquelle s'exprime habituellement en termes de valeur limite d'exposition professionnelle (VLE). Il peut suffire dans certains cas de mesurer l'exposition la plus défavorable. En effet, si l'on s'attend à ce que le degré d'exposition soit très élevé ou très faible par rapport aux valeurs limites acceptées, il n'est pas nécessaire que l'évaluation quantitative soit aussi exacte et précise que lorsqu'on prévoit un niveau plus proche des valeurs limites. En fait, quand les risques sont évidents, il est peut-être plus sage de se donner dès le départ les moyens de réduire l'exposition et d'effectuer ensuite des mesurages précis dans l'environnement une fois les moyens de prévention en place.

Il est souvent nécessaire d'assurer un suivi de l'évaluation, en particulier lorsque des dispositifs de prévention ont été installés ou améliorés, ou encore lorsque des changements de procédé ou de matière ont été introduits. Les évaluations quantitatives remplissent alors une fonction de surveillance importante pour:

- évaluer l'efficacité des systèmes de prévention des risques ou révéler leurs éventuelles défaillances;
- déterminer si les changements apportés aux procédés (réglage de la température de fonctionnement, par exemple) ou au choix des matières premières ont contribué à modifier l'exposition.

Chaque fois qu'une enquête d'hygiène du travail est effectuée en liaison avec une étude épidémiologique pour obtenir des données quantitatives sur les rapports entre exposition et effets sur la santé, l'exposition doit être déterminée avec un degré d'exactitude et de précision très élevé. Cette exigence vaut pour tous les niveaux d'exposition, car on ne peut pas se contenter, par exemple, de connaître la situation la plus défavorable. L'idéal serait d'avoir réalisé des évaluations pour toutes les situations d'exposition au cas où l'on aurait besoin ultérieurement de données rétrospectives, mais cela peut s'avérer difficile dans la pratique.

Enfin, pour être certain que les données d'évaluation sont bien représentatives de l'exposition des travailleurs et que les ressources n'ont pas été gaspillées, il est nécessaire de concevoir et d'appliquer une stratégie d'échantillonnage adéquate, tenant compte de toutes les sources de variation possibles. Les stratégies d'échantillonnage, ainsi que les techniques de mesurage sont traitées ci-après dans l'article «L'évaluation du milieu de travail».

### L'interprétation des résultats

Le degré d'incertitude lié à l'estimation d'un paramètre d'exposition (par exemple, la véritable concentration moyenne d'un contaminant dans l'air) est déterminé par un traitement statistique des résultats des mesurages (échantillonnage et analyse). Le niveau de confiance des résultats dépendra du coefficient de variation du «système de mesurage» et du nombre de mesurages effectués. Une fois atteint un niveau de confiance acceptable, l'étape suivante consiste à s'interroger sur les conséquences pour la santé des travailleurs exposés: ceux-ci ont-ils quelque chose à craindre aujourd'hui? Dans un avenir proche? D'ici à la fin de leur vie professionnelle? Les générations futures seront-elles affectées?

Le processus d'évaluation ne s'achève qu'avec l'interprétation des résultats des mesurages à la lumière des données fournies par les études de toxicologie expérimentale, les études épidémiologiques et cliniques et, dans certains cas, les essais cliniques. Il convient de préciser que l'expression «évaluation des risques» recouvre deux notions: l'évaluation de la nature et de l'étendue des risques dus à une exposition à des produits chimiques ou autres agents, d'une façon générale, et l'évaluation des risques pour un travailleur ou un groupe de travailleurs dans une situation professionnelle particulière.

Dans la pratique de l'hygiène du travail, les résultats des évaluations d'exposition sont souvent comparés aux valeurs limites d'exposition professionnelle en vigueur, lesquelles servent de point de repère pour l'évaluation des risques et l'établissement de niveaux cibles pour leur maîtrise. Toute exposition supérieure à ces limites doit déclencher en principe une action corrective immédiate à travers l'amélioration des mesures de prévention existantes ou la mise en œuvre de nouvelles mesures. En fait, il faudrait prendre des mesures «à un niveau d'action» préétabli, lequel varie selon les pays (par exemple, la moitié ou un cinquième de la valeur limite d'exposition professionnelle), étant entendu que le meilleur moyen d'éviter tout problème à l'avenir serait de fixer ce niveau aussi bas que possible.

Cela dit, la comparaison des résultats des mesures d'exposition avec les valeurs limites d'exposition professionnelle est une procédure simplificatrice, puisqu'elle ne tient pas compte, entre autres problèmes, des nombreux facteurs qui influent sur l'absorption des produits chimiques (sensibilité individuelle, activité et constitution physique, etc.). De plus, sur la plupart des lieux de travail, les travailleurs sont exposés simultanément à plusieurs agents, d'où l'importance primordiale des expositions combinées et des interactions entre agents, l'exposition à un agent en particulier pouvant avoir pour la santé des conséquences extrêmement différentes de l'exposition à ce même agent associé avec d'autres, surtout s'il existe une synergie ou une potentialisation des effets.

### Les mesurages aux fins de la prévention

Les mesurages effectués pour rechercher la présence d'agents et analyser les conditions d'exposition dans l'environnement de travail peuvent être très utiles à la planification et à la conception des moyens de prévention technique et des pratiques de travail. Ils ont plusieurs objectifs parmi lesquels:

- identifier et caractériser la source de contamination;
- repérer les points critiques des systèmes fermés ou des enceintes (fuites, par exemple);
- définir les voies de propagation dans le milieu de travail;
- comparer les différentes actions de prévention;
- vérifier que la poussière respirable s'est déposée avec la grosse poussière visible, en cas d'utilisation de pulvérisateurs à eau;
- vérifier que l'air contaminé ne provient pas d'une zone adjacente.

Les appareils à lecture directe sont très utiles dans l'optique de la prévention des risques, notamment ceux qui permettent un



échantillonnage continu et reflètent la situation en temps réel, révélant ainsi des situations d'exposition qui risqueraient autrement de passer inaperçues et qui nécessitent d'être maîtrisées. Les détecteurs à photo-ionisation, spectromètres infrarouges, compteurs de particules et tubes colorimétriques en sont quelques exemples. Pour le prélèvement d'échantillons visant à définir le comportement des contaminants à la source et dans tout l'environnement de travail, l'exactitude et la précision ne sont pas aussi cruciales que pour l'évaluation de l'exposition.

Dans le domaine des mesurages, des progrès récents ont notamment permis la mise au point de diverses techniques de visualisation, dont la Picture Mix Exposure — PIMEX (Rosen, 1993) qui associe une image vidéo du travailleur à une échelle montrant les concentrations de contaminants en suspension dans l'air. Ces concentrations sont mesurées en permanence dans la zone respiratoire à l'aide d'un appareil de surveillance en temps réel permettant ainsi de visualiser les variations pendant que le travailleur vaque à ses occupations. La PIMEX est un excellent outil de comparaison de l'efficacité relative de différents moyens de prévention, tels que ventilation et bonnes pratiques de travail, et contribue ainsi à en améliorer la conception.

Des mesurages sont également nécessaires pour évaluer l'efficacité des moyens de prévention. Dans ce cas, il convient de prélever des échantillons à la source ou dans une zone déterminée et éventuellement des échantillons individuels pour évaluer le niveau d'exposition des travailleurs. Dans un souci de fiabilité, les emplacements choisis «avant» et «après» l'échantillonnage (ou le mesurage), et les techniques utilisées devraient être les mêmes, ou équivalents, en termes de sensibilité, d'exactitude et de précision.

### **La prévention et la maîtrise des risques**

L'hygiène du travail a pour premier objectif de prévenir et de maîtriser les risques par des mesures appropriées dans l'environnement de travail. Lorsqu'elles ne sont pas appliquées, les normes et réglementations ne sont d'aucune utilité pour la protection de la santé des travailleurs. Leur mise en œuvre implique habituellement des stratégies de surveillance et de maîtrise de l'exposition. L'absence de normes légales ne devrait pas constituer un obstacle à l'introduction des mesures requises pour prévenir des expositions dangereuses ou pour les réduire au niveau le plus bas possible. Lorsque, de toute évidence, les risques sont sérieux, il est recommandé d'opter pour un dispositif de prévention avant même que des évaluations quantitatives ne soient effectuées. Il peut parfois s'avérer nécessaire de passer du concept classique d'«identification-évaluation-maîtrise» à celui d'«identification-maîtrise-évaluation», voire d'«identification-maîtrise», lorsque les moyens d'évaluation font défaut. Une opération de galvanoplastie effectuée dans une petite pièce non aérée ou l'utilisation d'un marteau piqueur ou d'un appareil de décapage au jet de sable sans mesures de prévention technique ni équipements de protection, par exemple, présentent à l'évidence des risques qui exigent une intervention sans qu'il soit nécessaire de procéder préalablement à des prélèvements d'échantillons. Dans les cas avérés de risques pour la santé, il convient de corriger immédiatement la situation sans attendre les résultats d'une évaluation quantitative.

L'action préventive devrait, d'une façon ou d'une autre, interrompre la chaîne de transmission de l'agent dangereux (produit chimique, poussière, source d'énergie) depuis la source jusqu'au travailleur. Il existe trois grands types de maîtrise de l'exposition: les moyens de prévention technique, les méthodes de travail et les mesures individuelles.

L'approche la plus efficace consiste à mettre en œuvre des moyens de prévention technique qui empêchent l'exposition grâce

à l'aménagement du milieu de travail, réduisant ainsi le besoin d'initiatives de la part des travailleurs ou autres personnes potentiellement en danger. Il s'agit généralement de modifier des processus ou de mettre en place des structures mécaniques, ainsi que de supprimer ou de réduire l'utilisation, la formation ou la libération d'agents dangereux à la source. Lorsqu'il n'est pas possible d'éliminer la source, il faut alors empêcher ou freiner la propagation des agents dangereux dans l'environnement de travail de la façon suivante:

- en les confinant;
- en les éliminant aussitôt formés;
- en prévenant leur propagation;
- en réduisant leur concentration ou leur intensité.

Les mesures de maîtrise des risques qui agissent directement sur la source constituent la meilleure technique parce qu'elles permettent d'éliminer l'agent dangereux ou d'en réduire la concentration ou l'intensité. Les mesures de réduction à la source comprennent la substitution de matériaux, la substitution/modification des processus ou des équipements et l'amélioration de la maintenance.

Lorsqu'il est impossible de modifier la source d'émission ou de la modifier suffisamment pour parvenir au niveau de maîtrise souhaité, il faut empêcher la libération et la dissémination des agents dangereux dans le milieu de travail en bloquant leur voie de transmission grâce au confinement des procédés (systèmes fermés, enceintes), à l'aspiration, à l'isolation des travailleurs ou à l'installation de barrières et de boucliers.

Parmi les autres mesures visant à réduire l'exposition professionnelle, on peut citer: une conception adaptée du lieu de travail, la ventilation des lieux par dilution ou déplacement, un nettoyage systématique et de bonnes conditions de stockage. Les étiquettes et les panneaux d'avertissement peuvent aider les travailleurs à appliquer les règles de sécurité dans leur travail. Des systèmes de surveillance et d'alarme s'avèrent aussi parfois nécessaires. Il peut s'agir, par exemple, de dispositifs de surveillance du monoxyde de carbone autour des fours, du sulfure d'hydrogène dans les stations d'épuration et d'appareils de détection du manque d'oxygène dans les espaces confinés.

Les pratiques de travail jouent un rôle important dans la prévention des risques, par exemple lorsque l'exposition du travailleur dépend de sa posture: selon qu'il sera penché ou non sur sa tâche, la zone où il respire ne sera pas la même par rapport à la source de contamination et les possibilités d'absorption par la peau varieront également.

Enfin, l'exposition professionnelle peut être évitée ou réduite en équipant le travailleur d'une protection au point d'entrée critique de l'agent dangereux (bouche, nez, peau, oreille). Soulignons que toutes les autres possibilités de prévention des risques devraient être envisagées avant de recourir aux équipements de protection individuelle, car ces derniers constituent le moyen de prévention le moins satisfaisant, notamment pour se prémunir contre les polluants dispersés.

L'éducation et la formation, l'hygiène personnelle et la limitation de la durée d'exposition sont autant d'autres mesures de prévention individuelle.

Les évaluations en continu par les contrôles d'ambiance et la surveillance médicale devraient faire partie intégrante de toute stratégie de maîtrise et de prévention des risques.

Les mesures de prévention de la pollution de l'environnement (air, eau, sol), y compris une gestion adaptée des déchets dangereux, doivent également aller de pair avec les techniques de maîtrise des risques sur le lieu de travail.

Bien que la plupart des principes énoncés ici s'appliquent à des contaminants en suspension dans l'air, nombre d'entre eux valent également pour d'autres types de risques. Ainsi, un processus peut être modifié de façon à produire moins d'aérocontaminants, mais

aussi moins de bruit ou de chaleur. De même, une barrière peut permettre d'isoler les travailleurs d'une source de bruit, de chaleur ou de rayonnement.

La prévention s'appuie bien trop souvent sur les mesures les plus répandues, telles qu'un dispositif d'aspiration localisée et des équipements de protection individuelle, sans prendre sérieusement en considération d'autres options valables, comme l'adoption de technologies plus propres, le remplacement de certains matériaux, la modification des processus et de bonnes pratiques de travail. Il arrive souvent que les méthodes et procédés d'exploitation soient considérés comme immuables, alors qu'en réalité des changements peuvent fort bien leur être apportés pour prévenir ou au moins réduire les risques.

La prévention et la maîtrise des risques dans l'environnement de travail font appel à la connaissance et à l'ingéniosité. Il n'est pas toujours nécessaire de mettre en œuvre des mesures très coûteuses et compliquées pour limiter efficacement les risques. Dans de nombreux cas, des solutions simples suffisent, comme celle qui consiste à placer un morceau de tissu étanche entre l'épaule nue d'un docker et le sac de matières toxiques qu'il transporte, pour prévenir toute contamination par la peau, à dresser une barrière mobile entre une source d'ultraviolet et un travailleur, ou encore à former les travailleurs à des pratiques de travail sûres.

Les éléments à prendre en compte pour décider des stratégies et des techniques de maîtrise des risques à employer sont les suivants: le type d'agent dangereux (nature, état physique, effets sur la santé, voies de pénétration dans l'organisme), le ou les types de sources, l'ampleur et les conditions d'exposition, les caractéristiques du lieu de travail et l'emplacement relatif des postes de travail.

Les compétences et les ressources nécessaires à la conception, la mise en œuvre, l'exploitation, l'évaluation et la maintenance des systèmes de prévention des risques doivent être assurées. Les systèmes de ventilation localisée, par exemple, doivent être évalués après installation et vérifiés périodiquement par la suite. Seuls un contrôle et une maintenance périodiques sont à même de garantir une efficacité constante, étant donné que même les systèmes bien conçus peuvent voir leurs performances diminuer faute d'être correctement entretenus.

La prévention et la maîtrise des risques devraient faire l'objet de programmes intégrés, assortis d'objectifs clairs et gérés de façon efficace par des équipes multidisciplinaires composées d'hygiénistes du travail et d'autres personnels de sécurité et de santé au travail, d'ingénieurs de production, de membres de la direction et de représentants des travailleurs. Il faudrait en outre ne pas négliger des aspects tels que l'information sur les risques, l'éducation et la formation en matière de sécurité, de pratiques de travail et de procédures d'urgence.

Enfin, la promotion de la santé devrait également trouver sa place dans ce cadre, car le lieu de travail est un endroit idéal pour encourager d'une manière générale des modes de vie sains et pour mettre en garde contre les risques encourus en dehors du milieu professionnel du fait d'activités dangereuses, comme pratiquer le tir sans protection appropriée ou fumer.

## L'hygiène du travail, l'évaluation et la gestion des risques

### L'évaluation des risques

L'évaluation des risques a pour but de déterminer les types d'effets sur la santé à attendre d'une certaine exposition à un agent donné et de fournir des estimations quant à la probabilité d'apparition de ces effets à différents niveaux d'exposition. On l'utilise également pour préciser les caractéristiques de certaines situations à risque. Elle consiste à identifier les agents dangereux, puis à

établir la relation exposition-effet et à évaluer l'exposition pour définir les risques.

La première étape concerne l'identification d'un agent, tel qu'un produit chimique, ayant des effets nocifs (cancer ou intoxication systémique). La deuxième étape consiste à établir la relation entre l'ampleur de l'exposition, l'intensité de l'effet produit et le nombre de personnes atteintes parmi celles qui ont été exposées. Elle est essentielle pour l'interprétation des données d'évaluation de l'exposition.

L'évaluation de l'exposition fait partie de l'évaluation des risques, qu'il s'agisse d'obtenir des données pour individualiser une situation à risque ou pour définir la relation exposition-effet à partir d'études épidémiologiques. Dans ce dernier cas, il convient de déterminer avec précision le niveau d'exposition auquel s'est manifesté un effet lié à l'environnement ou à l'activité professionnelle pour garantir la validité de la corrélation.

Bien que l'évaluation des risques soit cruciale pour la prise de bien des décisions relatives à la pratique de l'hygiène du travail, elle a des répercussions limitées sur la protection de la santé des travailleurs, à moins qu'elle ne se traduise par une véritable action préventive sur le lieu de travail.

L'évaluation des risques est un processus dynamique, car les nouvelles connaissances révèlent souvent les effets nocifs de substances jusqu'alors considérées comme relativement inoffensives. C'est pourquoi l'hygiéniste du travail devrait avoir accès aux informations les plus récentes en matière de toxicologie; en outre, les expositions devraient toujours être réduites au niveau le plus bas possible.

La figure 30.3 illustre les différents éléments intervenant dans l'évaluation des risques.

### La gestion des risques en milieu de travail

Il n'est pas toujours possible d'éliminer tous les agents présentant des risques pour la santé au travail, car certains sont inhérents à des processus d'exploitation indispensables ou souhaitables. En revanche, il peut et il doit exister une gestion des risques.

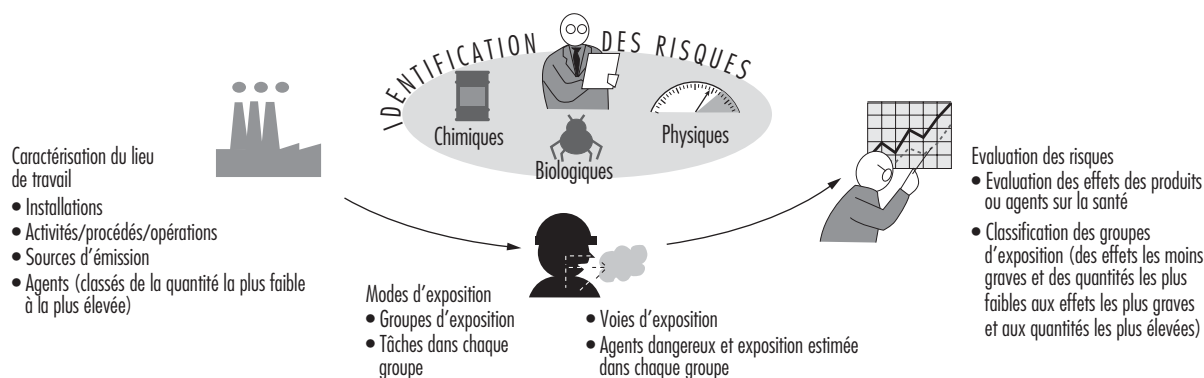
L'évaluation des risques est à la base de la gestion des risques. Toutefois, alors que l'évaluation des risques est une procédure scientifique, la gestion des risques est plus pragmatique et implique des décisions et des actions dont le but est de prévenir ou de réduire à des niveaux acceptables l'apparition d'agents susceptibles de représenter un danger pour la santé des travailleurs, les collectivités avoisinantes et l'environnement, en tenant également compte du contexte socio-économique et de santé publique.

La gestion des risques intervient à différents niveaux; les décisions et les mesures prises au niveau national ouvrent la voie à la gestion des risques sur le lieu de travail.

Pour gérer les risques sur le lieu de travail, il est nécessaire d'avoir des connaissances et de détenir des informations sur:

- les risques pour la santé et leur ampleur, identifiés et classés en fonction des résultats de l'évaluation;
- les normes et les obligations légales;
- les techniques de maîtrise des risques disponibles et leurs possibilités d'application;
- les aspects économiques, tels que les coûts de conception, de mise en œuvre, d'exploitation et de maintenance des moyens de prévention, et le rapport coûts/avantages (coûts de maîtrise contre avantages financiers liés à la maîtrise des risques professionnels et de ceux causés par le milieu);
- les ressources humaines (disponibles et nécessaires);
- le contexte socio-économique et de santé publique, afin de prendre les décisions suivantes:
- fixation d'un objectif de maîtrise des risques;
- choix des stratégies et technologies appropriées;

Figure 30.3 • Éléments de l'évaluation des risques



- définition des actions prioritaires au vu des risques et du contexte socio-économique et de santé publique existant (particulièrement important dans les pays en développement), en vue d'aboutir à :
- la recherche des ressources financières et humaines (si non encore disponibles);
- la conception de moyens de prévention spécifiques adaptés à la protection de la santé des travailleurs et de l'environnement et, autant que faire se peut, à la sauvegarde des ressources naturelles;
- la mise en œuvre des moyens de prévention, y compris les dispositions relatives aux procédures d'exploitation, de maintenance et d'urgence;
- l'établissement d'un programme de prévention et de maîtrise des risques assorti de moyens de gestion adaptés et prévoyant une surveillance permanente.

C'est à l'hygiène du travail qu'incombent traditionnellement la plupart de ces décisions et mesures concernant le lieu de travail.

Le fait de décider si un risque est acceptable ou non constitue un élément clé de la gestion des risques (quel effet peut-on accepter et éventuellement pour quel pourcentage de la population active?). En règle générale, mais il y a des exceptions, cette décision se prend au niveau national et elle donne lieu à l'adoption de valeurs limites d'exposition professionnelle, ainsi que de réglementations et de normes en matière de santé au travail. C'est sur cette base que l'hygiéniste du travail, qui doit se tenir au courant des dispositions légales, définit ensuite des objectifs de maîtrise des risques sur le lieu de travail. Mais il arrive aussi parfois que l'hygiéniste du travail ait à décider au cas par cas du niveau de risque acceptable, par exemple lorsqu'il n'existe pas de normes ou bien lorsque les normes existantes ne couvrent pas toutes les situations d'exposition.

Toutes ces décisions et mesures doivent faire partie d'un plan réaliste nécessitant une coordination et une collaboration entre plusieurs disciplines et plusieurs secteurs. Bien que la gestion des risques ait un caractère pragmatique, son efficacité devrait être évaluée de manière scientifique. Dans la plupart des cas, malheureusement, la gestion des risques est un compromis entre ce qui devrait être fait pour éviter tout risque et ce qui peut être fait de manière optimale dans la pratique, compte tenu des contraintes financières et autres.

La gestion des risques inhérents à l'environnement de travail et à l'environnement en général exige une bonne coordination, non seulement parce qu'il existe des zones de chevauchement, mais aussi parce que, dans la plupart des situations, les succès remportés sur un front sont directement liés aux succès remportés sur l'autre.

### Les programmes et services d'hygiène du travail

La volonté politique et la prise de décisions au niveau national ont une influence directe ou indirecte sur l'établissement des programmes et des services d'hygiène du travail, qu'ils soient publics ou privés. L'objectif de cet article n'est pas de fournir un modèle détaillé de tous les types de programmes et de services d'hygiène du travail, mais d'exposer les principes généraux qui s'appliquent à de nombreuses situations et qui peuvent efficacement contribuer à la mise en œuvre et au bon fonctionnement des programmes et services en question.

Un service intégré d'hygiène du travail devrait être capable, d'une part, de réaliser des enquêtes préliminaires, des prélèvements d'échantillons, des mesurages et des analyses à des fins d'évaluation et de maîtrise des risques et, d'autre part, de recommander des mesures de prévention, voire de les concevoir.

Les éléments clés d'un programme ou d'un service intégré d'hygiène du travail sont : les ressources humaines et financières, les installations, les équipements et les moyens d'information, le tout bien organisé et coordonné grâce à une planification minutieuse, une gestion efficace et un système d'assurance de la qualité et d'évaluation permanente. Le succès des programmes d'hygiène du travail dépend de la politique mise en place par la direction et de la détermination avec laquelle elle est appliquée. Cet article n'a pas pour objet de traiter du financement de ces programmes.

### Les ressources humaines

Les ressources humaines constituent l'atout principal de tout programme et devraient donc recevoir la priorité. Tous les personnels concernés devraient savoir clairement et en détail quelles sont leurs attributions et leurs responsabilités. Si besoin est, ils devraient pouvoir suivre un enseignement ou une formation. Les principales catégories de personnel auxquelles font appel les programmes d'hygiène du travail sont les suivantes :

- des hygiénistes du travail qui doivent avoir des connaissances générales sur l'identification, l'évaluation et la maîtrise des risques professionnels et qui peuvent aussi être spécialisés dans des domaines spécifiques tels que la chimie analytique ou la ventilation industrielle, l'idéal étant de disposer d'une équipe de professionnels formés à l'exercice de l'hygiène du travail en général et compétents dans tous les domaines requis;
- des techniciens de laboratoire, des chimistes (en fonction de l'étendue du travail analytique);
- des techniciens et des assistants pour les visites des lieux de travail et pour les laboratoires, ainsi que pour la maintenance et la réparation des instruments de mesure;
- des spécialistes de l'information et des assistants administratifs.



La compétence professionnelle est primordiale. Elle doit être non seulement acquise, mais entretenue. La formation continue, dans le cadre du programme ou du service d'hygiène du travail ou en dehors de celui-ci, devrait couvrir, par exemple, les points suivants: mises à jour de la législation, avancées technologiques et techniques nouvelles, lacunes dans les connaissances. La participation à des conférences, symposiums et ateliers contribue également à l'entretien des compétences.

### **La sécurité et la santé des travailleurs**

La sécurité et la santé du personnel devraient être assurées lors des visites sur les lieux de travail, dans les laboratoires et les bureaux. Les hygiénistes du travail peuvent être exposés à des risques sérieux et doivent donc porter les équipements de protection individuelle nécessaires. Selon le cas, une immunisation pourra également être requise; de même il faudra prévoir, dans certaines régions rurales, un antidote contre les morsures de serpent. La sécurité des laboratoires est un domaine à part qui est traité dans un autre chapitre de la présente *Encyclopédie*.

Les risques professionnels dans les bureaux ne devraient pas être négligés, par exemple en présence d'écrans de visualisation ou de sources de pollution à l'intérieur des bâtiments, telles que les imprimantes laser, les photocopieurs et les systèmes de climatisation. Les facteurs psychosociaux et ergonomiques devraient également être pris en compte.

### **Les installations**

On entend par installations les bureaux et les salles de réunion, les laboratoires et équipements divers, les systèmes d'information et les bibliothèques. Les installations devraient être bien conçues et tenir compte des besoins à venir, attendu que les changements et adaptations de dernière minute sont souvent plus coûteux en temps et en argent.

### **Les laboratoires et équipements d'hygiène du travail**

Les laboratoires d'hygiène du travail devraient en principe pouvoir réaliser des évaluations qualitatives et quantitatives de l'exposition à des aérocontaminants (produits chimiques et poussières), à des agents physiques (bruit, contrainte thermique, rayonnements, éclairage) et à des agents biologiques. Pour la plupart des agents biologiques, les évaluations qualitatives suffisent à formuler des recommandations de maîtrise des risques, éliminant ainsi le besoin d'effectuer des évaluations quantitatives souvent difficiles.

Bien que certains appareils à lecture directe employés pour les contaminants en suspension dans l'air puissent laisser à désirer en ce qui concerne l'évaluation de l'exposition, ils sont extrêmement utiles pour détecter les risques et identifier leurs sources, définir les pics de concentration, collecter des informations pour les besoins de maîtrise et vérifier les dispositifs mis en place tels que les systèmes de ventilation. A ce propos, il est également nécessaire de disposer d'instruments permettant de vérifier la vitesse de l'air et la pression statique.

On peut imaginer une structure comprenant les unités suivantes:

- équipement de terrain (échantillonnage, lecture directe);
- laboratoire d'analyse;
- laboratoire pour les particules;
- agents physiques (bruit, ambiance thermique, éclairage et rayonnements);
- atelier de maintenance et de réparation des instruments.

Chaque fois qu'il s'agit de choisir un instrument de mesure en hygiène du travail, il faut tenir compte, outre ses performances, des aspects pratiques liés aux conditions d'utilisation envisagées (par exemple, infrastructure disponible, climat, emplacement).

Ces aspects sont notamment les suivants: portabilité, source d'énergie requise, exigences d'étalonnage et de maintenance et disponibilité des fournitures non réutilisables nécessaires.

Un instrument de mesure devrait être acheté si et seulement si:

- il répond à un besoin réel;
- le personnel est capable de le faire fonctionner correctement et d'en assurer la maintenance et les réparations;
- toutes les conditions sont réunies pour son utilisation, étant donné qu'il est inutile d'acheter, par exemple, des pompes d'échantillonnage s'il n'existe pas de laboratoire pour analyser les échantillons (ou d'accord avec un laboratoire extérieur).

L'étalonnage de tous les types d'instruments de mesure, d'échantillonnage et d'analyse utilisés en hygiène du travail devrait faire partie intégrante de toute procédure, et le matériel nécessaire à cette fin devrait être disponible.

La maintenance et les réparations sont essentielles pour empêcher que le matériel ne reste inactif pendant de longues périodes. Elles devraient être assurées par les fabricants, soit au travers d'une assistance directe, soit par la formation du personnel.

Si un programme entièrement nouveau est en cours d'élaboration, seul le matériel de base devrait être acheté dans un premier temps. D'autres éléments pourront être ajoutés au fur et à mesure de l'apparition des besoins et de l'acquisition des compétences nécessaires. Toutefois, avant même qu'équipements et laboratoires ne soient disponibles et opérationnels, on peut faire beaucoup en inspectant les lieux de travail pour procéder à une évaluation qualitative des risques pour la santé et recommander des mesures de prévention appropriées. L'impossibilité d'effectuer des évaluations quantitatives ne doit en aucun cas justifier l'inaction lors d'expositions manifestement dangereuses. C'est vrai en particulier lorsque les risques professionnels ne font l'objet d'aucune mesure de prévention, alors que les niveaux d'exposition sont généralement élevés.

### **L'information**

Les moyens d'information sont les bibliothèques (livres, périodiques et autres publications), les bases de données (par exemple sur CD-ROM) et les systèmes de télécommunication.

Chaque fois que cela est possible, il convient de s'équiper d'ordinateurs et de lecteurs de CD-ROM, ainsi que de connexions à Internet. Les serveurs publics d'informations en ligne et en réseau sont de plus en plus nombreux (Web et sites GOPHER). Ils permettent d'avoir accès à de multiples sources d'information dans le domaine de la santé des travailleurs, ce qui justifie pleinement l'achat d'ordinateurs et de systèmes de communication. Parmi ces derniers, le courrier électronique ouvre de nouveaux horizons à la communication individuelle et en groupe, facilitant ainsi les échanges d'informations dans le monde entier.

### **La planification**

Une bonne planification de la mise en œuvre, de la gestion et de l'évaluation périodique d'un programme est essentielle pour atteindre les objectifs fixés tout en faisant le meilleur usage des ressources disponibles.

Dans un premier temps, les informations suivantes devraient être réunies et analysées:

- nature et ampleur des risques existants, afin de fixer des priorités;
- dispositions légales (réglementations, normes);
- ressources disponibles;
- infrastructure et services d'assistance.

Les processus de planification et d'organisation se décomposent comme suit:

- définition de l'objectif du programme ou du service, définition des objectifs et de l'étendue des activités au vu de la demande supposée et des ressources disponibles;
- attribution des ressources;
- définition de la structure organisationnelle;
- évaluation des besoins en personnel et plans de mise en valeur des ressources humaines (si nécessaire);
- attribution des responsabilités aux unités, équipes et individus;
- conception/adaptation des installations;
- choix du matériel;
- définition des impératifs d'exploitation;
- établissement des mécanismes de communication à l'intérieur et à l'extérieur du service;
- préparation du calendrier.

Les coûts d'exploitation ne devraient pas être sous-estimés étant donné qu'un manque de ressources peut entraver sérieusement le déroulement d'un programme. Les besoins à ne pas négliger sont les suivants:

- achats de fournitures non réutilisables (telles que filtres, tubes détecteurs colorimétriques, tubes à charbon actif, réactifs), de pièces détachées pour les équipements, etc.;
- maintenance et réparation des équipements;
- transport (véhicules, carburant, maintenance) et déplacements;
- actualisation de l'information.

Les ressources doivent être optimisées grâce à une étude approfondie de tous les éléments qui doivent être considérés comme faisant partie intégrante d'un service général d'hygiène du travail. Une répartition équilibrée des ressources entre les différentes unités (mesurages sur le terrain, échantillonnage, laboratoires d'analyses, etc.) et leurs composantes (installations et équipements, personnel, aspects opérationnels) est essentielle au succès du programme. De plus, l'attribution des ressources devrait permettre une certaine souplesse, car les services d'hygiène du travail peuvent avoir à s'adapter à des besoins constamment réévalués.

Communication, partage et collaboration sont les mots-clés du succès du travail en équipe et de l'optimisation des capacités de chacun. Des mécanismes de communication efficaces sont donc nécessaires, tant dans le cadre du programme qu'en dehors de celui-ci, pour garantir l'approche multidisciplinaire qu'exigent la protection et la promotion de la santé des travailleurs. Il devrait exister une étroite interaction avec d'autres professionnels de la santé au travail: médecins du travail, personnel infirmier d'entreprise, ergonomes, psychologues du travail, spécialistes de la sécurité. Sans oublier, sur le lieu de travail, les travailleurs, le personnel de production et les dirigeants.

La mise en œuvre des programmes est un processus graduel. C'est pourquoi il convient, au stade de la planification, de préparer un calendrier réaliste en fonction de priorités bien établies et compte tenu des ressources disponibles.

### La gestion

On entend par gestion la prise de décisions quant aux objectifs à atteindre et aux actions à entreprendre en conséquence, avec la participation de toutes les personnes concernées et en prévoyant ou en recherchant, de manière à les éviter ou à les résoudre, les problèmes qui pourraient constituer des obstacles au bon déroulement des tâches à effectuer. Il faut garder présent à l'esprit que la connaissance scientifique ne constitue pas une garantie de compétence en matière de gestion, compétence nécessaire pour mener à bien un programme.

On ne soulignera jamais assez à quel point il importe d'appliquer et de faire respecter les procédures qui conviennent et de veiller tout particulièrement à l'assurance de la qualité. Il existe en effet une grande différence entre un travail fait et un travail bien

fait. De plus, ce sont les objectifs ultimes qui doivent servir de points de repère, et non les étapes intermédiaires; on ne mesure pas l'efficacité d'un programme d'hygiène du travail par le nombre d'enquêtes effectuées, mais plutôt par le nombre d'enquêtes qui ont effectivement abouti à une action bénéfique pour la santé des travailleurs.

Bien gérer, c'est faire la différence entre ce qui paraît important et ce qui l'est vraiment; les enquêtes très détaillées, avec des échantillonnages et des analyses d'une très grande précision, peuvent certes impressionner, mais ce qui compte réellement ce sont les décisions et les mesures sur lesquelles elles débouchent.

### L'assurance de la qualité

Le concept d'assurance de la qualité, avec les contrôles et les tests qu'il implique, concerne essentiellement les opérations de mesurage. Bien qu'il soit associé le plus souvent aux activités des laboratoires d'analyses, son champ d'application a été étendu pour englober également l'échantillonnage et les mesurages.

Chaque fois qu'il faut procéder à un échantillonnage ou à une analyse, la procédure à suivre devrait être considérée comme indissociable de l'aspect qualité. Comme la solidité de toute chaîne se mesure à celle du plus faible de ses maillons, il est inutile d'utiliser, pour les différentes étapes d'une même procédure d'évaluation, des instruments et des techniques d'inégale qualité. L'exactitude et la précision d'une très bonne balance chimique ne peuvent en aucun cas compenser le débit erroné d'une pompe d'échantillonnage mal réglée.

Les résultats des laboratoires doivent être vérifiés afin de détecter et de corriger les sources d'erreur; il faut adopter une approche systématique à cet égard si l'on veut maîtriser tous les détails de la question. Il est important d'établir des programmes d'assurance de la qualité pour les laboratoires d'hygiène du travail, et ce, aussi bien pour les contrôles internes que pour les évaluations extérieures (souvent appelées «tests de compétence»).

En ce qui concerne le prélèvement d'échantillons ou les mesurages faits à l'aide d'appareils à lecture directe (y compris pour les agents physiques), la qualité implique:

- des études préliminaires permettant de recenser les risques éventuels et les éléments nécessaires à la conception de la stratégie;
- une conception adaptée de la stratégie d'échantillonnage (ou de mesurage);
- un choix et une utilisation appropriés des méthodes et des appareils de prélèvement d'échantillons et de mesure, tenant compte à la fois du but de l'investigation et des exigences de qualité;
- des procédures performantes, y compris aux fins de la surveillance dans le temps;
- de bonnes conditions de manipulation, de transport et de stockage des échantillons (le cas échéant).

En ce qui concerne les laboratoires d'analyses, la qualité porte sur les points suivants:

- conception et aménagement des installations;
- choix et utilisation de méthodes d'analyse validées (ou, si nécessaire, validation des méthodes);
- choix et installation des instruments;
- choix des fournitures (réactifs, échantillons de référence, etc.).

Dans les deux cas, il est indispensable de pouvoir compter sur:

- des protocoles, des procédures et des instructions écrites clairement formulés;
- un étalonnage et un entretien périodiques des instruments;
- un personnel bien formé et motivé afin qu'il applique correctement les procédures demandées;

- une bonne gestion;
- des contrôles internes de la qualité;
- des évaluations ou des tests de compétence externes (le cas échéant).

En outre, les données obtenues doivent être correctement traitées, les résultats bien interprétés, communiqués avec exactitude aux personnes intéressées et archivés.

L'accréditation des laboratoires, définie par la norme CEN EN 45001 comme étant «une reconnaissance formelle de la compétence d'un laboratoire pour réaliser des tests spécifiques ou des types de test spécifiques», est un outil de contrôle très important dont l'utilisation devrait être encouragée. Elle devrait concerner à la fois les procédures d'échantillonnage et d'analyse.

### **L'évaluation des programmes**

Le concept de qualité doit s'appliquer à tous les stades de la pratique de l'hygiène du travail, depuis l'identification des risques jusqu'à la mise en œuvre des programmes de prévention et de maîtrise des risques. Dans cette optique, les programmes et les services d'hygiène du travail doivent être régulièrement évalués d'un œil critique afin d'être sans cesse améliorés.

### **Conclusion**

L'hygiène du travail est essentielle à la protection de la santé des travailleurs et de l'environnement. Elle comporte plusieurs aspects interdépendants qui ne peuvent être pris en compte séparément, mais doivent être intégrés dans une démarche globale.

## ● L'IDENTIFICATION DES RISQUES

*Linnéa Lillienberg*

Un risque professionnel peut être défini comme une situation susceptible d'avoir des effets néfastes sur le bien-être et la santé des personnes exposées. Quelle que soit l'activité considérée, la prise en compte de cette situation suppose que l'on connaisse les caractéristiques du lieu de travail et, partant, les agents dangereux qui s'y trouvent et les groupes de travailleurs potentiellement menacés. Ces agents peuvent être chimiques, biologiques ou physiques (voir tableau 30.1). Certains facteurs de risque sont faciles à mettre en évidence (par exemple, les irritants qui ont un effet immédiat au contact avec la peau ou après inhalation). D'autres le sont moins, tels les produits chimiques qui se forment accidentellement sans signes précurseurs. Certains agents, comme les métaux (notamment le plomb, le mercure, le cadmium et le manganèse), susceptibles de causer des lésions après plusieurs années d'exposition, peuvent être faciles à repérer quand on est conscient du risque. Mais un agent toxique peut aussi être inoffensif à faible concentration ou si personne n'y est exposé. L'identification des agents qui peuvent se trouver sur le lieu de travail, la compréhension des risques que ces agents peuvent représenter pour la santé et la prise de conscience des situations d'exposition possibles sont les éléments essentiels de leur mise en évidence.

### **L'identification et la classification des risques**

Avant toute enquête d'hygiène du travail, l'objectif à atteindre doit être clairement défini. Il peut s'agir d'identifier les risques éventuels, d'évaluer les risques existants, de vérifier la conformité du lieu de travail avec la réglementation, de jauger les moyens de prévention ou encore de mesurer l'exposition aux fins d'une étude épidémiologique. Cet article concerne uniquement les programmes ayant pour but l'identification et la classification des risques sur le lieu de travail. De nombreux modèles et de nombreuses

techniques ont été mis au point pour identifier et évaluer les risques en milieu professionnel. Ils varient en complexité, allant de simples listes de contrôle jusqu'à des profils d'exposition et des programmes de surveillance du travail, en passant par des enquêtes préliminaires d'hygiène du travail, des matrices emploi-exposition et des études du risque et de la sûreté de fonctionnement des équipements (Renes, 1978; Gressel et Gideon, 1991; Holzner, Hirsh et Perper, 1993; Goldberg et coll., 1993; Bouyer et Hémon, 1993; Panett, Coggon et Acheson, 1985; Tait, 1992). Aucune technique particulière ne s'impose comme étant la seule valable et toutes présentent des aspects utiles à l'investigation. L'utilité des modèles dépend en outre de l'objectif de la recherche, de la taille du lieu de travail, du type de production et d'activité, ainsi que de la complexité des opérations.

L'identification et la classification des risques peuvent se diviser en trois grands éléments: la caractérisation du lieu de travail, le mode d'exposition et l'évaluation qualitative des risques.

### **La caractérisation du lieu de travail**

Un lieu de travail peut rassembler aussi bien quelques personnes que plusieurs milliers de travailleurs ainsi que des activités différentes (usines, chantiers, bureaux, hôpitaux, exploitations agricoles, etc.). Sur un lieu de travail, des tâches spécifiques peuvent être localisées dans des zones distinctes, telles que des divisions ou des sections. Dans un processus industriel, la production se déroule en différentes étapes et opérations, à mesure que les matières premières se transforment en produits finis.

Il convient d'obtenir des informations détaillées sur les processus, opérations et autres activités pertinentes afin d'identifier les agents utilisés, y compris les matières premières, les matériaux manipulés ou ajoutés au cours de la fabrication, les produits primaires, intermédiaires, finis, réactionnels et les sous-produits. Il peut également être intéressant d'identifier les additifs et les catalyseurs intervenant dans un processus. Les matières premières et les matériaux d'apport qui sont uniquement connus sous leur nom commercial doivent être évalués d'après leur composition chimique et les fiches de renseignement ou de sécurité normalement disponibles auprès du fabricant ou du fournisseur.

Certaines étapes du processus se déroulent parfois dans un système clos sans que personne ne soit exposé, sauf pendant les travaux de maintenance ou en cas de défaillance. Il faut donc tenir compte de ces situations et prendre des précautions pour empêcher toute exposition à des agents dangereux. D'autres processus ont lieu dans des systèmes ouverts, équipés ou non de dispositifs d'aspiration localisée. Dans ce cas, une description générale du système de ventilation devrait être fournie, avec toutes ses composantes.

Lorsque cela est possible, il est préférable d'identifier les risques lors de la planification ou de la conception de nouvelles installations ou de nouveaux processus, à un stade où des changements peuvent encore être apportés et où les risques peuvent être anticipés et évités. Les conditions et procédures qui s'écartent de la conception initiale devront être identifiées et évaluées en cours de processus. Les risques à détecter concernent également les émissions dans l'environnement extérieur et les matériaux de rebut. L'emplacement des installations, les opérations, les sources d'émission et les agents devraient être regroupés de façon systématique pour former des unités reconnaissables lors des analyses ultérieures de l'exposition potentielle. Dans chaque unité, les opérations et les agents seront classés selon leurs effets sur la santé et l'estimation des quantités émises dans l'environnement de travail.

### **Le mode d'exposition**

Les principales voies d'exposition aux agents chimiques et biologiques sont l'inhalation et l'absorption par la peau ou, accidentellement, l'ingestion. Le mode d'exposition dépend de la fréquence

Tableau 30.1 • Risques liés aux agents chimiques, biologiques et physiques

Type de risque	Description	Exemples
<b>RISQUES CHIMIQUES</b>	Les produits chimiques entrent dans l'organisme principalement par inhalation, absorption cutanée et ingestion. L'effet toxique provoqué peut être aigu, chronique, voire les deux.	
Corrosion	Les produits chimiques corrosifs provoquent la destruction des tissus au point de contact. Les parties du corps les plus fréquemment touchées sont la peau, les yeux et le tube digestif.	Bases et acides concentrés, phosphore.
Irritation	Les irritants provoquent l'inflammation des tissus sur lesquels ils se déposent. Les irritants cutanés peuvent causer des réactions telles qu'eczéma ou dermatose. Les irritants respiratoires puissants peuvent provoquer des troubles respiratoires, des inflammations ou de l'œdème.	<i>Cutanée:</i> acides, bases, solvants, huiles. <i>Respiratoire:</i> aldéhydes, poussières alcalines, ammoniac, dioxyde d'azote, phosgène, chlore, brome, ozone.
Réactions allergiques	Les allergènes ou sensibilisants chimiques peuvent causer des réactions allergiques cutanées ou respiratoires.	<i>Cutanées:</i> colophane, formaldéhyde, métaux (chrome et nickel), certains colorants organiques, durcisseurs époxy, térébenthine. <i>Respiratoires:</i> isocyanates, colorants réactifs sur les fibres, formaldéhyde, poussières de nombreux bois tropicaux, nickel.
Asphyxie	Les asphyxiants agissent en perturbant l'oxygénation des tissus. Les asphyxiants simples sont des gaz inertes qui diluent l'oxygène de l'air et le réduisent à un niveau rendant la vie impossible. On peut trouver des atmosphères présentant une carence en oxygène dans les citernes, cales de navire, silos ou mines. La concentration en oxygène ne doit jamais être inférieure à 19,5% par volume d'air. Les asphyxiants chimiques empêchent le transport de l'oxygène et la bonne oxygénation du sang ou encore l'oxygénation des tissus.	<i>Asphyxiants simples:</i> méthane, éthane, hydrogène, hélium. <i>Asphyxiants chimiques:</i> monoxyde de carbone, nitrobenzène, cyanure d'hydrogène, sulfure d'hydrogène.
Cancer	Les cancérigènes humains connus sont des produits chimiques dont on a démontré de manière probante qu'ils induisent le cancer chez l'humain. Les cancérigènes humains probables sont des produits chimiques pour lesquels on a pu prouver qu'ils provoquent le cancer chez l'animal, alors qu'on ne dispose pas encore de preuve définitive du même effet chez l'humain. La suie et le goudron de houille ont été les premiers produits chimiques soupçonnés d'induire le cancer.	<i>Connus:</i> benzène (leucémie); chlorure de vinyle (angiosarcome du foie); 2-naphthylamine, benzidine (cancer de la vessie); amiante (cancer du poumon, mésothéliome); poussières de bois dur (adénocarcinome des sinus de la face). <i>Probables:</i> formaldéhyde, tétrachlorure de carbone, bichromates, béryllium.
Effets sur la reproduction	Les toxiques pour la reproduction compromettent les fonctions reproductrices et sexuelles d'un individu.  Les toxiques du développement sont des agents susceptibles d'avoir des effets nocifs dans la descendance des personnes exposées: par exemple, des malformations congénitales. Les produits chimiques embryotoxiques ou fœtotoxiques peuvent provoquer des avortements spontanés ou des fausses couches.	Manganèse, sulfure de carbone, éthers monoéthyliques et éthyliques d'éthylène glycol, mercure.  Composés organiques du mercure, monoxyde de carbone, plomb, thalidomide, solvants.
Poisons systémiques	Les poisons systémiques sont des agents qui induisent des lésions d'organes ou de systèmes physiologiques particuliers.	<i>Cerveau:</i> solvants, plomb, mercure, manganèse. <i>Système nerveux périphérique:</i> n-hexane, plomb, arsenic, sulfure de carbone. <i>Sang et moelle:</i> benzène, éthers d'éthylène glycol. <i>Reins:</i> cadmium, plomb, mercure, hydrocarbures chlorés. <i>Poumon:</i> silice, amiante, poussière de charbon (pneumoconioses).
<b>RISQUES BIOLOGIQUES</b>	Les risques biologiques sont les risques dus aux poussières organiques provenant de sources biologiques (virus, bactéries, champignons, protéines animales ou substances végétales telles que les produits de décomposition de fibres naturelles). L'agent étiologique peut être issu d'un organisme vivant ou de contaminants, ou être un composant spécifique de la poussière. Les risques biologiques sont regroupés en deux catégories: les agents infectieux et non infectieux. Les agents non infectieux se subdivisent eux-mêmes en trois catégories: les organismes vivants, les substances toxiques d'origine biologique et les allergènes, d'origine biologique également.	
Risques d'infection	Les maladies professionnelles occasionnées par des agents infectieux sont relativement rares. Les travailleurs exposés sont notamment le personnel des établissements hospitaliers, des laboratoires et des abattoirs, les agriculteurs, les vétérinaires, les gardiens de zoo et les cuisiniers. La prédisposition varie considérablement d'un individu à l'autre (les personnes qui prennent des médicaments immunodépresseurs sont particulièrement sensibles).	Hépatite B, tuberculose, charbon, brucellose, tétanos, <i>Chlamydia psittaci</i> , salmonellose.

Tableau 30.1 • Risques liés aux agents chimiques, biologiques et physiques

Type de risque	Description	Exemples
Organismes vivants et substances toxiques d'origine biologique	Les organismes vivants sont les champignons, les spores et les mycotoxines, les substances toxiques d'origine biologique étant les endotoxines, les aflatoxines et les bactéries. Les produits du métabolisme bactérien et fongique sont complexes, nombreux et sensibles à la température, à l'humidité et au type de substrat sur lequel ils se développent. Du point de vue chimique, ils peuvent se composer de protéines, de lipoprotéines ou de mucopolysaccharides. Les bactéries Gram négatif, les bactéries Gram positif et les moisissures en sont quelques exemples. Les personnes exposées sont notamment celles qui travaillent au contact du coton, du chanvre et du lin, dans les installations de traitement des eaux usées et des boues, ainsi que dans les silos à grain.	Byssinose, asthme dû aux poussières de céréales, maladie des légionnaires.
Allergènes d'origine biologique	Parmi les allergènes d'origine biologique, on trouve les champignons, les protéines d'origine animale, les terpènes, les acariens et les enzymes. Une très grande partie des allergènes d'origine biologique de l'agriculture proviennent des protéines de la peau animale, des poils des fourrures et des protéines des matières fécales et de l'urine. On peut trouver des allergènes dans de nombreux procédés industriels: fermentation, production de médicaments, boulangerie, fabrication de papier, transformation du bois (scieries, etc.), biotechnologies (production d'enzymes et de vaccins, cultures tissulaires) et production d'épices. Chez les personnes sensibles, l'exposition à des allergènes peut provoquer des symptômes allergiques: rhinites, conjonctivites ou asthme. L'alvéolite allergique se caractérise par des symptômes respiratoires aigus tels que la toux, par des frissons, de la fièvre, des céphalées et des douleurs musculaires et peut évoluer vers une fibrose pulmonaire chronique.	<i>Asthme professionnel</i> : laine, fourrures, grains de froment, farine, cèdre rouge, poudre d'ail. <i>Alvéolite allergique</i> : poumon du fermier ou de l'oiseleur, bagassose, fièvre des humidificateurs, séquoïose.
<b>RISQUES PHYSIQUES</b>		
Bruit	On entend par bruit tout son indésirable susceptible d'avoir des effets néfastes sur la santé et le bien-être d'individus ou de groupes d'individus. Différents paramètres sont à considérer en la matière: l'intensité du son, la fréquence, la durée de l'exposition et le type de bruit (impulsionnel ou non). L'acuité auditive est généralement touchée en premier à la fréquence de 4 000 Hz, puis on constate de nouvelles pertes entre 2 000 et 6 000 Hz. Le bruit peut avoir des conséquences graves: problèmes de communication, baisse de la concentration, somnolence et, de ce fait, nuire au rendement des travailleurs. Une exposition à des niveaux sonores très élevés (habituellement supérieurs à 85 dBA) ou à des bruits impulsionnels (environ 140 dBC) pendant une période prolongée peut provoquer un déficit auditif temporaire ou chronique. La surdité est à l'origine du plus grand nombre de demandes de réparation pour maladie professionnelle.	Fonderies, travail du bois, usines textiles, métallurgie.
Vibrations	Les vibrations ont plusieurs paramètres en commun avec le bruit: la fréquence, l'amplitude, la durée d'exposition et le caractère continu ou intermittent. L'habileté de celui qui manipule l'outil et la façon dont il l'utilise semblent jouer un rôle important dans la nocivité des vibrations. Un travail manuel faisant appel à des outils mécaniques est associé à des troubles circulatoires périphériques connus sous le nom de «phénomène de Raynaud» ou «maladie des doigts blancs». Les outils vibratoires peuvent également toucher le système nerveux périphérique et le système musculo-squelettique, ce qui se traduit par une diminution de la force de préhension, des lombalgies basses et des troubles lombaires dégénératifs.	Machines diverses, chargeuses-pelleteuses, chariots élévateurs à fourche, outils pneumatiques, scies à chaîne.
Rayonnements ionisants	L'effet chronique le plus important des rayonnements ionisants est le cancer, en particulier la leucémie. Une surexposition causée par des niveaux relativement bas a été associée à des dermatoses de la main et à des troubles du système sanguin. Les processus ou activités pouvant entraîner une surexposition aux rayonnements ionisants font l'objet de nombreuses restrictions et sont très réglementés.	Réacteurs nucléaires, tubes radiologiques à usage médical ou dentaire, accélérateurs de particules, radio-isotopes.
Rayonnements non ionisants	On entend par rayonnements non ionisants le rayonnement ultraviolet, visible, ou infrarouge, celui des lasers, des champs électromagnétiques (micro-ondes et fréquences radio) et les rayonnements de très basse fréquence. Le rayonnement infrarouge peut provoquer des cataractes, les faisceaux lasers de grande puissance pouvant causer des lésions oculaires et cutanées. On se demande de plus en plus si l'exposition à de faibles niveaux de champs électromagnétiques est susceptible d'induire le cancer et de nuire à la reproduction chez la femme, notamment chez celles qui travaillent sur écran de visualisation. La question de savoir s'il existe un lien de cause à effet n'a pas encore trouvé de réponse. Une synthèse récente des connaissances scientifiques en la matière a toutefois permis de conclure que, d'une façon générale, il n'était pas possible d'établir un lien entre le travail sur écran de visualisation et les troubles de la reproduction.	<i>Rayonnement ultraviolet</i> : découpage et soudage à l'arc; durcissement des encres, colles, peintures, etc. aux rayons ultraviolets; désinfection; contrôle de produits. <i>Rayonnement infrarouge</i> : fours, soufflage du verre. <i>Lasers</i> : communications, chirurgie, construction.



de contact avec l'agent dangereux, de l'intensité et de la durée de l'exposition. Les tâches que le travailleur effectue doivent être soumises à un examen systématique. Il est important non seulement d'étudier les manuels, mais aussi d'observer ce qui se passe réellement dans la pratique. Il se peut que les travailleurs soient directement exposés du fait des tâches qu'ils accomplissent, ou indirectement parce qu'ils se trouvent dans la même zone que la source d'émission. Il faudra peut-être se concentrer tout d'abord sur les tâches les plus susceptibles de nuire, même si l'exposition est de courte durée. Les opérations non routinières et intermittentes (maintenance, nettoyage et modification des cycles de production, par exemple) doivent également être prises en compte. Les tâches et les situations peuvent varier tout au long de l'année.

Pour un même poste, l'exposition et l'absorption d'agents nocifs peuvent varier parce que certains travailleurs portent des équipements de protection et d'autres non. Dans les grandes entreprises, il est rarement possible de procéder à l'identification des risques ou à une évaluation qualitative pour chaque travailleur. Par conséquent, les travailleurs effectuant des tâches analogues seront classés dans le même groupe d'exposition. Les différences de tâches, de techniques de travail et de temps de travail se traduisent par des expositions qui peuvent varier considérablement et dont il faut tenir compte. Il a été montré que pour les personnes qui travaillaient à l'extérieur et pour celles qui travaillaient à l'intérieur sans dispositif d'aspiration localisée, les variations quotidiennes étaient plus grandes que pour les groupes travaillant à l'intérieur avec un tel système de ventilation (Kromhout, Symanski et Rappaport, 1993). Les méthodes de travail, les agents utilisés dans le cadre d'un processus ou d'une fonction donnée, ou encore les différentes tâches correspondant à une même fonction peuvent être utilisés en lieu et place de cette fonction pour caractériser les groupes ayant la même exposition. À l'intérieur des groupes, les travailleurs potentiellement exposés doivent être identifiés et classés suivant les agents dangereux, les voies d'exposition, les effets des agents en question sur la santé, la fréquence de contact, l'intensité et la durée de l'exposition. Les différents groupes d'exposition devraient être classés en fonction des agents dangereux considérés et de l'exposition supposée afin de déterminer quels sont les travailleurs les plus exposés.

### L'évaluation qualitative des risques

Les effets éventuels sur la santé des agents chimiques, biologiques et physiques présents sur le lieu de travail devraient être définis en fonction des résultats disponibles de la recherche dans les domaines épidémiologique, toxicologique, clinique et environnemental. On trouvera les données les plus récentes quant aux risques que représentent pour la santé les produits ou agents utilisés sur le lieu de travail dans les revues de prévention, les bases de données spécialisées et les publications techniques et scientifiques en rapport avec ce domaine.

Si nécessaire, on mettra à jour les fiches de données de sécurité qui précisent les pourcentages de composants dangereux ainsi que le numéro d'identification attribué par le Chemical Abstracts Service (CAS) et, éventuellement, la valeur seuil (Threshold Limit Value (TLV)), en plus des informations concernant les risques pour la santé, les équipements de protection, les mesures préventives, le fabricant ou le fournisseur, etc. Si les éléments indiqués sont trop succincts, il faudra les compléter par des informations plus détaillées.

Les résultats de la surveillance et les mesures enregistrées devraient être analysés. Lorsqu'on la connaît, la valeur seuil fournit une bonne indication pour décider si la situation est acceptable ou non, bien qu'il faille tenir compte d'interactions éventuelles lorsque les travailleurs sont exposés à plusieurs produits chimiques en même temps. À l'intérieur des groupes d'exposition aussi bien qu'entre eux, les travailleurs devraient être classés selon les effets

sur la santé des agents en présence et en fonction de l'exposition estimée (l'échelle allant des effets minimales aux effets graves et d'une faible exposition à un niveau d'exposition jugé élevé). Ceux qui figurent en haut de l'échelle doivent recevoir la priorité. Avant d'envisager toute activité de prévention, il sera peut-être nécessaire de mettre en œuvre un programme de surveillance de l'exposition. Tous les résultats devraient être documentés et facilement accessibles. La figure 30.3 illustre la démarche à suivre.

Lors des enquêtes d'hygiène du travail, il faut également prendre en compte les risques causés à l'environnement extérieur (pollution, effet de serre et impact sur la couche d'ozone).

### Les agents chimiques, biologiques et physiques

Les risques peuvent être d'origine chimique, biologique ou physique. Cette section et le tableau 30.1 donnent une brève description des différents risques, ainsi que quelques exemples de milieux et d'activités où ils se présentent (Casarett, 1980; Commission internationale de la santé au travail (CIST), 1985; Jacobs, 1992; Leidel, Busch et Lynch, 1977; Olishifski, 1988; Rylander, 1994). Des informations plus détaillées figurent sous d'autres rubriques de la présente *Encyclopédie*.

#### Les agents chimiques

Les produits chimiques peuvent être divisés en plusieurs groupes, à savoir les gaz, les vapeurs, les liquides et les aérosols (poussières, fumées, brouillards).

#### Les gaz

Les gaz sont des substances qui ne peuvent être transformées en liquides ou en solides que par les effets combinés d'une augmentation de pression et d'une baisse de température. La manipulation des gaz implique toujours un risque d'exposition, à moins qu'ils ne soient traités dans des systèmes clos. Les gaz qui se trouvent dans des réservoirs ou dans des tuyaux de distribution peuvent fuir accidentellement. En outre, les procédés à haute température (par exemple, opérations de soudage et combustion) entraînent la formation de gaz.

#### Les vapeurs

Les vapeurs constituent la forme gazeuse de substances qui se trouvent en principe à l'état solide ou liquide à température ambiante et sous une pression normale. Lorsqu'un liquide s'évapore, il passe à l'état gazeux et se mélange à l'air environnant. Une vapeur peut être considérée comme un gaz. Sa concentration maximale dépend de la température et de la pression de saturation de la substance. Tout processus dans lequel il y a combustion va générer des vapeurs ou des gaz. Les opérations de dégraissage peuvent être effectuées en phase vapeur ou au trempé à l'aide de solvants. Les activités telles que le chargement et le mélange de liquides, la peinture, la pulvérisation, le nettoyage et le nettoyage à sec peuvent produire des vapeurs nocives.

#### Les liquides

Il peut s'agir d'une substance pure ou d'une solution composée de deux ou plusieurs substances (solvants, acides, bases). Un liquide stocké dans un conteneur ouvert va s'évaporer partiellement et se transformer en gaz. La concentration en phase vapeur à l'état d'équilibre dépend de la pression de vapeur de la substance, de sa concentration en phase liquide et de la température. Outre les vapeurs nocives, les opérations ou activités mettant en œuvre des liquides peuvent occasionner des projections ou d'autres contacts avec la peau.

#### Les poussières

Il s'agit de particules inorganiques et organiques qui peuvent être classées par catégorie (inhalables, thoraciques ou respirables) en

fonction de leur dimension. La plupart des poussières organiques ont une origine biologique. Les poussières inorganiques sont, quant à elles, générées lors de processus mécaniques tels que le meulage, le sciage, le coupage, le broyage, le criblage ou le tamisage. Les poussières peuvent être dispersées lors de la manipulation de matériaux en contenant ou s'élever en tourbillons sous l'effet des mouvements de l'air provoqués par la circulation des machines. La manipulation de matériaux secs ou pulvérulents lors d'opérations de pesage, remplissage, chargement, transport et conditionnement engendre de la poussière, de même que les activités d'isolation et de nettoyage.

#### Les fumées

Il s'agit de particules solides qui s'évaporent à haute température et se condensent en petites particules. Cette vaporisation s'accompagne souvent d'une réaction chimique telle que l'oxydation. Les particules qui composent une fumée sont extrêmement fines, généralement d'une taille inférieure à 0,1 µm, et s'agrègent souvent pour former des agglomérats. Les opérations de soudage et de coupage au chalumeau à plasma, par exemple, dégagent des fumées.

#### Les brouillards

Les brouillards sont des gouttelettes de liquide en suspension générées par le passage de l'état gazeux à l'état liquide ou par la dispersion d'un liquide par éclaboussure, écumage ou atomisation. En voici quelques exemples: vapeurs d'huile issues d'opérations de coupage et de meulage; vapeurs acides provenant d'opérations de galvanoplastie; vapeurs acides ou alcalines produites par des opérations de décapage; ou encore vapeurs de peinture issues d'opérations de pulvérisation.

## ● L'ÉVALUATION DU MILIEU DE TRAVAIL

*Lori A. Todd*

### La surveillance des risques et les méthodes d'enquête

La surveillance du milieu de travail se fait au travers de programmes visant à anticiper, observer, mesurer, évaluer et maîtriser l'exposition à des risques potentiels pour la santé des travailleurs. Elle est souvent assurée par une équipe composée d'un hygiéniste du travail, d'un médecin du travail, d'un infirmier ou d'une infirmière d'entreprise, d'un responsable de la sécurité, d'un toxicologue et d'un ingénieur. En fonction de l'environnement de travail et du problème potentiel, on distingue trois types de surveillance: médicale, environnementale et biologique. La surveillance médicale est utilisée pour déterminer la présence ou l'absence d'effets nocifs chez un individu exposé à des contaminants sur son lieu de travail. Elle fait appel à des examens médicaux et à des analyses biologiques appropriées. Les contrôles d'ambiance permettent de définir l'exposition potentielle d'un groupe de travailleurs à des contaminants, en mesurant leur concentration dans l'air, dans des échantillons de matériaux et sur les surfaces. La surveillance biologique est utilisée pour établir la corrélation entre l'absorption de contaminants par l'organisme et les niveaux de contaminants dans l'environnement. Elle consiste à mesurer la concentration de substances dangereuses ou de leurs métabolites dans le sang, dans l'urine ou dans l'air expiré par les travailleurs.

### La surveillance médicale

On exerce une surveillance médicale en raison des maladies qui peuvent être causées ou aggravées par une exposition à des substances dangereuses. Cette surveillance exige la mise au point d'un programme d'action avec des spécialistes des maladies professionnelles, de leur diagnostic et de leur traitement. Les programmes de surveillance médicale contribuent à la protection, à l'éducation et au suivi du travailleur, voire à la réparation des accidents du travail et des maladies professionnelles. Ils réunissent plusieurs composantes: tests d'embauche, examens médicaux périodiques, dépistage précoce des changements et altérations provoqués par des substances dangereuses, traitement médical et enregistrement de multiples données. La sélection s'opère sur la base de questionnaires sur les antécédents médicaux et professionnels et des résultats des examens physiques. Les questionnaires fournissent des renseignements sur les maladies antérieures et les maladies chroniques (tout spécialement l'asthme, les affections cutanées ou pulmonaires et les cardiopathies), ainsi que sur les risques professionnels déjà encourus. Cette pratique n'est pas sans implications éthiques et juridiques dès lors qu'elle sert à déterminer si oui ou non une personne peut prétendre à un emploi. Mais elle revêt une importance fondamentale si on l'utilise pour: 1) répertorier les activités antérieures et les expositions qui leur sont associées; 2) déterminer l'état de santé initial du travailleur; 3) tester son hypersensibilité. Les examens médicaux consistent notamment en des tests audiométriques servant à mesurer le déficit auditif, des examens de la vue, des tests fonctionnels ou de tolérance au port d'équipements de protection respiratoire et des analyses de base d'urine et de sang. Les contrôles médicaux périodiques sont essentiels pour détecter et étudier l'apparition d'effets nocifs. Ils peuvent inclure une surveillance biologique pour déceler des contaminants spécifiques et l'utilisation d'autres marqueurs biologiques.

### La surveillance environnementale et biologique

La surveillance environnementale et biologique commence par une enquête d'hygiène du lieu de travail en vue d'identifier les risques potentiels et les sources de contamination et de définir le besoin de surveillance dans l'entreprise. La surveillance des agents chimiques peut s'effectuer à partir d'échantillons d'air ou de sources et d'échantillons surfaciques ou biologiques. La surveillance des agents physiques passe par des mesurages des niveaux sonores, de la température et des rayonnements. Lorsqu'une surveillance s'avère souhaitable, l'hygiéniste du travail doit élaborer une stratégie d'échantillonnage pour définir sur quels travailleurs, processus, équipements et zones des prélèvements doivent être effectués, le nombre d'échantillons à prendre, la durée des prélèvements, leur fréquence et la méthode d'échantillonnage à employer. La complexité et l'orientation des enquêtes d'hygiène du travail varient en fonction de l'objectif de l'investigation, du type d'établissement et de sa taille, et de la nature du problème. Il existe une certaine souplesse dans la manière de réaliser les enquêtes, mais une préparation minutieuse de l'inspection sur le site est toujours un gage d'efficacité. Les enquêtes motivées par des plaintes ou par des maladies ont un objectif supplémentaire qui est d'identifier la cause des problèmes de santé. Les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments s'intéressent aux sources de contamination aussi bien intérieures qu'extérieures. Quel que soit le risque professionnel considéré, toute enquête avec échantillonnage sur un lieu de travail suit toujours la même démarche générale; pour les besoins de la démonstration, nous nous contenterons ici de prendre pour exemple le cas des agents chimiques.

### Les voies d'exposition

La simple existence d'une possibilité de contamination sur le lieu de travail ne signifie pas nécessairement que le potentiel d'exposi-

tion est élevé; encore faut-il que l'agent en cause atteigne effectivement le travailleur. Dans le cas des produits chimiques, le contaminant à l'état liquide ou de vapeur doit entrer en contact avec le corps ou être absorbé par l'organisme pour avoir un effet nocif. S'il est isolé dans une enceinte ou capté par un système efficace d'aspiration localisée, le potentiel d'exposition sera faible, quelle que soit la toxicité du produit considéré.

La voie d'exposition peut avoir un impact sur le type de surveillance à effectuer ainsi que sur le risque potentiel. Dans le cas des agents chimiques et biologiques, les travailleurs sont exposés à ces agents par inhalation, contact cutané, ingestion ou injection; les voies d'absorption les plus courantes en milieu de travail sont l'appareil respiratoire et la peau. Pour évaluer l'inhalation, l'hygiéniste du travail observe dans quelle mesure les produits chimiques sont susceptibles de se retrouver en suspension dans l'air sous la forme de gaz, de vapeurs, de poussières, de fumées ou de brouillards.

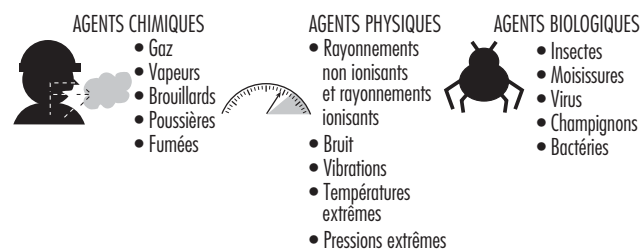
L'absorption des produits chimiques par voie cutanée se produit surtout lorsque la peau est en contact direct avec des hydrocarbures solubles dans la graisse ou avec d'autres solvants organiques suite à des éclaboussures, pulvérisations, humidifications ou immersions. Dans ce dernier cas, le corps peut être en contact avec des vêtements contaminés, les mains avec des gants souillés et les mains et les bras avec un liquide. Pour certaines substances, telles que les amines et les phénols, l'absorption par la peau peut être aussi rapide que l'absorption par les poumons de substances inhalées. Pour les contaminants tels que les pesticides et les colorants à la benzidine, l'absorption cutanée constitue la première voie d'absorption avant l'inhalation. Ces produits chimiques peuvent aisément pénétrer dans l'organisme par la peau, augmenter la charge corporelle et provoquer des dommages systémiques. Lorsque à la suite d'une réaction allergique ou de lavages répétés la peau s'assèche et se crevasse, le nombre et le type de produits chimiques pouvant être absorbés par l'organisme augmentent considérablement. L'ingestion est une voie d'absorption inhabituelle des gaz et des vapeurs, mais elle peut être importante pour des particules, notamment de plomb. Elle intervient lorsqu'on mange de la nourriture contaminée ou lorsqu'on mange ou qu'on fume avec des mains contaminées elles aussi, ou encore lorsqu'on tousse puis avale des particules précédemment inhalées.

Des matières peuvent être directement injectées dans le sang en cas de piqûre accidentelle avec des aiguilles hypodermiques, par exemple chez les professionnels de la santé à l'hôpital, ou lorsque des fragments libérés à grande vitesse par des sources à haute pression entrent directement en contact avec la peau. Les pistolets pulvérisateurs à peinture sans air et les systèmes hydrauliques fonctionnent à des pressions suffisamment élevées pour percer la peau et introduire des substances directement dans l'organisme.

### La visite des lieux

L'objectif de l'enquête initiale, appelée visite des lieux, est de rassembler systématiquement des informations permettant de juger s'il existe une situation potentiellement dangereuse justifiant l'exercice d'une surveillance. Un hygiéniste du travail commence cette inspection par une réunion à laquelle peuvent prendre part des membres de la direction, des travailleurs, des surveillants, du personnel infirmier d'entreprise et des représentants des syndicats. L'hygiéniste du travail peut largement contribuer au succès de l'enquête et de toute mesure de surveillance ultérieure en créant une équipe dont les membres communiquent ouvertement, en toute bonne foi, et comprennent les objectifs et la portée de l'inspection. Si l'on veut que l'enquête se déroule dans un esprit de coopération, au lieu de susciter la crainte, il faut que les travailleurs en soient informés et puissent y participer dès le départ.

Figure 30.4 • Facteurs d'agression en milieu professionnel



Pendant la réunion, il est demandé de fournir des schémas de production, des plans des installations, des rapports sur les inspections précédentes, des programmes de fabrication, des plans de maintenance des équipements, de la documentation sur les mesures de protection individuelle et des données chiffrées sur le nombre de travailleurs, d'équipes et de plaintes liées à la santé. Tous les matériaux dangereux utilisés et produits sont identifiés et quantifiés. On dresse un inventaire chimique des produits, sous-produits, produits intermédiaires et impuretés et toutes les fiches de sécurité correspondantes sont demandées. Enfin, on examine les programmes de maintenance, ainsi que l'âge et l'état des équipements, car l'utilisation de matériel ancien peut conduire à des niveaux d'exposition plus élevés en l'absence de contrôles appropriés.

Une fois cette réunion terminée, l'hygiéniste effectue une visite des lieux pendant laquelle il examine minutieusement les tâches réalisées et les pratiques de travail afin d'identifier les nuisances éventuelles, de classer les risques d'exposition possibles, d'identifier les voies d'exposition et d'évaluer la durée et la fréquence d'exposition. La figure 30.4 donne quelques exemples des facteurs d'agression présents en milieu professionnel. L'hygiéniste met à profit sa visite pour observer le lieu de travail et trouver des réponses à ces questions. La figure 30.5 dresse une liste indicative de ces observations et questions.

Outre les points récapitulés à la figure 30.5, il est nécessaire de s'interroger sur ce qui ne paraît pas évident de prime abord, par exemple :

1. tâches non routinières, programmes de maintenance et de nettoyage;
2. modifications récentes du processus de production et utilisation de nouveaux produits chimiques;
3. changements récents des composantes matérielles du milieu de travail;
4. redéfinition des tâches;
5. rénovations et réparations récentes.

Les tâches non routinières peuvent conduire à des pics d'exposition à des produits chimiques qu'il est difficile de prévoir et de mesurer pendant une journée de travail ordinaire. Les modifications du processus de production et l'utilisation de nouveaux produits chimiques peuvent changer l'émission de substances dans l'air et avoir des répercussions sur l'exposition ultérieure. De nouveaux aménagements dans la disposition architecturale d'une zone de travail peuvent modifier l'efficacité du système de ventilation existant. La redéfinition des tâches peut amener à certains postes des travailleurs inexpérimentés, au risque d'aggraver les niveaux d'exposition. Des travaux de rénovation et de réparation, enfin, peuvent introduire dans le milieu de travail de nouveaux matériaux et des produits chimiques irritants ou susceptibles de dégager des substances organiques volatiles sous la forme de gaz.

### Les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments

Les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments diffèrent des enquêtes d'hygiène du travail traditionnelles, car elles concernent habituellement des lieux de travail non industriels et peuvent porter sur des expositions à des mélanges de faibles quantités de produits chimiques qui ne semblent pas capables à eux seuls de provoquer des maladies (Ness, 1991). Elles ont le même objectif que les enquêtes d'hygiène du travail: identifier les sources de contamination et définir les besoins de surveillance, mais elles sont toujours motivées par des plaintes des travailleurs. Ceux-ci présentent souvent différents symptômes: céphalées, irritation de la gorge, léthargie, toux, démangeaisons, nausées et réactions d'hypersensibilité non spécifiques qui disparaissent une fois rentrés chez eux. Lorsque les travailleurs continuent de constater de tels symptômes après avoir quitté leur travail, il convient de prendre également en considération d'autres possibilités d'exposition — loisirs, activités professionnelles parallèles, pollution urbaine, tabagisme passif et environnement propre à l'habitation. Les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments utilisent souvent des questionnaires pour préciser les symptômes et les doléances des travailleurs et faire ensuite des rapprochements avec leur lieu de travail et leur activité. Les zones où les

Figure 30.5 • Questions à poser lors d'une visite des lieux



- Les travailleurs utilisent-ils un équipement de protection individuelle (gants, appareil de protection respiratoire, protection auditive, lunettes) et cet équipement est-il adapté au risque?
- Les travailleurs ont-ils été convenablement formés à l'utilisation de leur équipement de protection individuelle? Savent-ils à quoi sert cet équipement?



- Où les travailleurs se trouvent-ils par rapport aux sources éventuelles d'exposition (agents, machines, opérations de transformation)?
- Les travailleurs se déplacent-ils tout au long de la journée ou bien restent-ils au même endroit pour accomplir leurs tâches?
- A quoi servent les systèmes de ventilation générale et localisée, où sont-ils situés et comment sont-ils entretenus?



- Quelles sont les quantités moyennes de matières utilisées chaque jour dans la fabrication?
- Quelles sont les normes de nettoyage? Les chiffons imbibés de solvant sont-ils rangés dans des récipients ouverts où leur évaporation peut être à l'origine d'un risque d'exposition? Y a-t-il des signes visibles de poussières? Comment les débords et déchets sont-ils traités?
- Les travailleurs rentrent-ils chez eux en portant leurs vêtements contaminés?



- Comment les produits chimiques sont-ils entreposés?
- Les résidus chimiques sont-ils correctement éliminés?
- Y a-t-il trop de bruit? Est-il nécessaire de parler très fort ou de crier pour se faire entendre?
- Existe-t-il un risque d'émission de produits chimiques dangereux dans l'air? Les procédés de transformation produisent-ils des vapeurs par évaporation à l'air libre, chauffage, séchage ou pulvérisation, ou bien des particules en suspension dans l'air par décapage, broyage, meulage, soudage, balayage et décapage au jet de sable?



- Existe-t-il un risque d'absorption cutanée? La peau du travailleur est-elle directement en contact avec des solvants? L'intérieur des gants de protection peut-il être contaminé? Les surfaces sont-elles visiblement contaminées par des matières qui peuvent ensuite se déposer sur les mains et les bras des travailleurs?
- Les travailleurs mangent-ils, boivent-ils et fument-ils dans des zones contaminées?
- Les travailleurs se plaignent-ils de troubles de santé (maux de tête, fatigue, irritation des yeux, des voies respiratoires et de la peau)?

Figure 30.6 • Questions à poser dans le cadre d'une enquête sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments



- Le bâtiment a-t-il été rénové: pose de moquette, de papier peint, de panneaux isolants acoustiques, d'isolant à base de mousse ou de panneaux qui peuvent émettre des produits chimiques?
- Existe-t-il des sources extérieures de contamination telles que des usines ou des quais de chargement où les camions peuvent rester moteur allumé sans rouler?
- Le bâtiment dispose-t-il d'un garage ou ce dernier se trouve-t-il dans une annexe?
- Le bâtiment est-il régulièrement traité aux pesticides?
- Où se situent les bouches extérieures de ventilation par lesquelles l'air entre et sort? Comment l'air est-il recyclé dans le bâtiment?
- Y a-t-il des fumeurs dans le bâtiment?
- Existe-t-il dans le bâtiment des conditions favorables à l'apparition de micro-organismes comme la présence de flaques d'eau stagnante dans le sous-sol, d'installations de conditionnement de l'air et de conduits d'air?
- Quelles sont la température et l'humidité relative dans les différentes zones du bâtiment?

symptômes ont la plus forte incidence font l'objet d'une enquête plus poussée. Les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments ont mis en évidence les sources suivantes de contamination:

- ventilation insuffisante (52%);
- contamination provenant de l'intérieur des bâtiments (17%);
- contamination provenant de l'extérieur des bâtiments (11%);
- contamination microbienne (5%);
- contamination provenant des matériaux de construction (3%);
- causes indéterminées (12%).

L'inspection des lieux effectuée dans le cadre de ces enquêtes est essentiellement une visite des bâtiments et du milieu de travail, afin de définir les sources éventuelles de contamination à la fois à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Les sources intérieures sont notamment:

1. les matériaux de construction tels que les matériaux isolants, les panneaux d'agglomérés, les colles et les peintures;
2. les personnes dont l'activité métabolique peut libérer des produits chimiques;
3. les pratiques comme le tabagisme;
4. les machines telles que les photocopieurs;
5. les systèmes de ventilation qui peuvent être contaminés par des micro-organismes.

La figure 30.6 présente une liste des questions qui peuvent être posées pendant l'enquête.

### Les stratégies d'échantillonnage et de mesurage

#### Les valeurs limites d'exposition professionnelle

Une fois la visite des lieux terminée, l'hygiéniste du travail doit déterminer s'il convient de prélever des échantillons, ce qui ne devrait être fait que dans un but bien précis. La question à se poser est la suivante: «A quoi les résultats des prélèvements serviront-ils et à quelles questions apporteront-ils des réponses?». S'il est relativement facile de prélever des échantillons et d'obtenir des chiffres, il est en revanche beaucoup plus difficile de les interpréter.



Les données obtenues par l'analyse des échantillons d'air et des échantillons biologiques sont habituellement comparées aux valeurs limites d'exposition professionnelle recommandées ou imposées. De telles valeurs ont été fixées dans de nombreux pays pour l'exposition biologique et l'exposition des voies respiratoires à des agents chimiques et physiques. A ce jour, sur plus de 60 000 produits chimiques utilisés à des fins commerciales, environ 600 ont été évalués dans cette perspective par différentes organisations dans différents pays. La façon dont ces valeurs limites sont déterminées varie selon les cas. Les valeurs limites les plus couramment utilisées sont les valeurs seuils (Threshold Limit Values (TLV)) de la Conférence américaine des hygiénistes gouvernementaux du travail (American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)) aux Etats-Unis. La plupart des valeurs limites d'exposition professionnelles utilisées par l'Administration de la sécurité et de la santé au travail (Occupational Safety and Health Administration (OSHA)) se basent sur ces TLV. Cependant, l'Institut national de la sécurité et de la santé au travail (National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)), du ministère américain du Travail, de la Santé et des Services sociaux, propose lui aussi ses propres valeurs limites (Recommended Exposure Limits (REL)).

Pour les expositions à des contaminants en suspension dans l'air, il existe trois types de valeurs limites admissibles: une exposition moyenne pondérée sur 8 heures visant à prévenir les effets chroniques sur la santé (TLV-TWA); une limite d'exposition moyenne de 15 minutes visant à prévenir les effets aigus (TLV-STEL); enfin, une valeur maximale admissible instantanée applicable aux produits asphyxiants ou chimiques qui provoquent une irritation immédiate (TLV-C). Les niveaux d'exposition biologique sont régis par des indices biologiques d'exposition qui représentent la concentration dans l'organisme des produits chimiques inhalés par un travailleur en bonne santé pour une concentration spécifique dans l'air. En dehors des Etats-Unis, quelque 50 pays ou organismes ont établi des valeurs limites d'exposition professionnelle. Nombre d'entre elles sont identiques aux TLV de l'ACGIH. Au Royaume-Uni, il s'agit des normes d'exposition professionnelle OES (Occupational Exposure Standards) de la Direction de la sécurité et de la santé (Health and Safety Executive (HSE)) et, en Allemagne, des concentrations maximales admissibles sur le lieu de travail (MAK (Maximale Arbeitskonzentration)). En France et en Suisse, on emploie les VLE et les VME (valeurs limites et valeurs moyennes d'exposition).

Il existe des valeurs limites d'exposition professionnelle pour l'exposition à des gaz, vapeurs et particules en suspension dans l'air, mais pas pour les agents biologiques en suspension dans l'air. Par conséquent, la plupart des enquêtes concernant l'exposition à des aérosols biologiques établissent une comparaison entre les concentrations à l'intérieur et à l'extérieur des bâtiments. Si le profil et la concentration des organismes sont différents, on peut conclure à un problème d'exposition. Il n'existe pas de valeurs limites d'exposition pour les échantillons cutanés ou surfaciques et chaque cas doit être évalué séparément. Dans le cas d'un échantillonnage de surface, les concentrations sont en principe comparées aux concentrations de fond acceptables qui ont été mesurées lors d'autres études ou de l'étude en cours. Pour les échantillons cutanés, les concentrations acceptables sont calculées sur la base de la toxicité, de la vitesse d'absorption, de la quantité absorbée et de la dose totale. De plus, il est possible de placer un travailleur sous surveillance biologique pour étudier l'absorption cutanée.

### La stratégie d'échantillonnage

Une stratégie d'échantillonnage environnemental et biologique vise à obtenir des mesures d'exposition dans un but précis. Une stratégie efficace et bien conçue repose sur des bases scientifiques

solides, optimise le nombre d'échantillons à prélever, est rentable et permet de classer les besoins par ordre de priorité. Son objectif est d'orienter les décisions quant aux types d'échantillons nécessaires (sélection des agents chimiques), au lieu de l'échantillonnage (prélèvement individuel, d'ambiance ou de source), aux personnes concernées par l'échantillonnage (quel travailleur ou groupe de travailleurs), à sa durée (en temps réel ou intégré), à sa fréquence (pendant combien de jours), au nombre d'échantillons à prélever et à la manière de procéder (méthode analytique). En principe, un échantillonnage effectué à des fins réglementaires est de courte durée (un ou deux jours) et s'attache aux expositions les plus défavorables. Cette stratégie nécessite un minimum de ressources et de temps, mais c'est souvent celle qui recueille la plus faible quantité d'informations; elle s'applique rarement à l'évaluation des expositions professionnelles à long terme. Pour que les expositions chroniques soient utiles aux médecins du travail et aux études épidémiologiques, il faut que les stratégies d'échantillonnage prévoient des prélèvements répétés dans le temps et qu'elles portent sur un grand nombre de travailleurs.

### L'objectif des stratégies d'échantillonnage

Les stratégies d'échantillonnage biologique et environnemental cherchent à évaluer soit les expositions individuelles, soit les sources de contamination. La surveillance des travailleurs peut obéir aux raisons suivantes:

- évaluer les expositions individuelles à des toxiques qui ont des effets chroniques ou aigus;
- répondre aux doléances des travailleurs concernant des problèmes de santé et d'odeurs;
- créer une base de référence pour un programme de surveillance de longue durée;
- déterminer si les expositions sont conformes à la réglementation;
- évaluer l'efficacité des moyens de prévention technique;
- évaluer les expositions aiguës pour y remédier d'urgence;
- évaluer l'exposition dans les lieux d'entreposage des déchets dangereux;
- évaluer l'impact des méthodes de travail sur l'exposition;
- évaluer l'exposition selon le type de tâche;
- étudier les maladies chroniques telles que le saturnisme et l'hydrargyrisme;
- étudier les rapports entre exposition professionnelle et maladie;
- effectuer une étude épidémiologique.

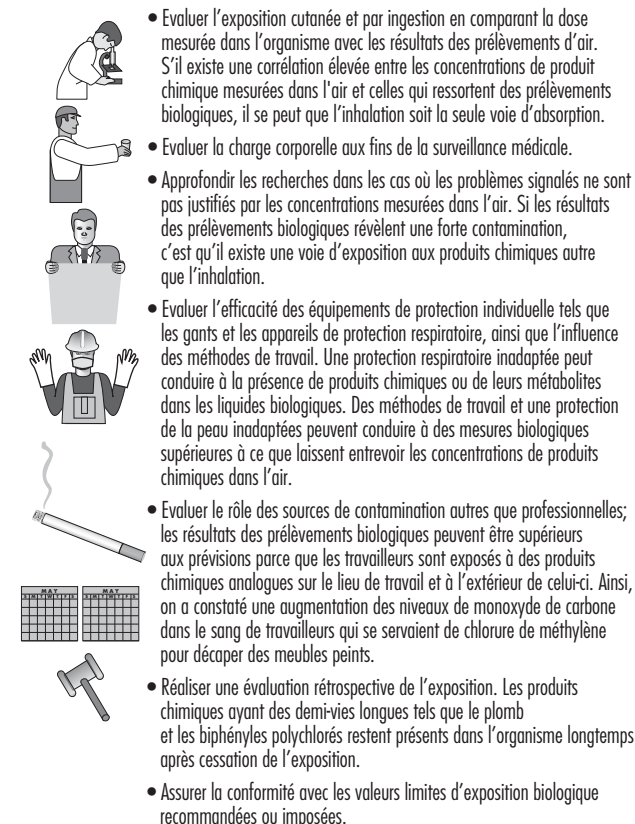
Une surveillance des sources d'émission et de l'air ambiant peut être assurée pour:

- établir le besoin de moyens de prévention technique tels que la mise en place de systèmes d'aspiration localisée et d'enceintes;
- évaluer l'impact des modifications apportées aux équipements et aux processus de production;
- évaluer l'efficacité des moyens de prévention technique et des dispositifs de commande;
- évaluer les émissions imputables aux équipements et processus;
- vérifier la conformité des lieux après des mesures correctives telles que le défilage de l'amiante ou l'élimination du plomb;
- répondre aux doléances concernant la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, les maladies collectives et les odeurs;
- évaluer les émissions provenant des lieux d'entreposage de déchets dangereux;
- étudier des plans d'intervention d'urgence;
- effectuer une étude épidémiologique.

Les échantillons d'air ne fournissent qu'une indication de la quantité de contaminant inhalée par les travailleurs, tandis que la surveillance biologique permet de connaître la dose effective d'un produit chimique dans l'organisme, quelle que soit la



Figure 30.7 • Objectifs de la surveillance biologique



voie d'absorption: inhalatoire ou cutanée, ingestion ou injection. Ainsi, une surveillance biologique peut refléter avec plus d'exactitude qu'une surveillance de l'air la charge corporelle et la dose totale. Lorsqu'on connaît le rapport entre l'exposition à des contaminants en suspension dans l'air et la dose interne, la surveillance biologique peut servir à évaluer les expositions chroniques passées et présentes.

Les objectifs de la surveillance biologique sont indiqués à la figure 30.7.

La surveillance biologique a toutefois ses limites et ne devrait être pratiquée que si elle permet d'atteindre des objectifs hors de portée de la surveillance de l'air (Fiserova-Bergerova, 1987). Elle est agressive dans la mesure où elle suppose le prélèvement d'échantillons directement sur les travailleurs. Les prélèvements de sang constituent en principe le moyen de surveillance biologique le plus utile, mais on ne les pratique que si des tests non effractifs tels que des analyses d'urine ou d'air expiré ne sont pas envisageables. Pour la plupart des produits chimiques industriels, on ignore, sinon totalement du moins en partie, ce que deviennent ceux qui sont absorbés par l'organisme; par conséquent, les méthodes de mesure analytique sont rares et bien souvent elles ne sont ni sensibles ni spécifiques.

Les résultats de la surveillance biologique peuvent être extrêmement variables entre des individus exposés aux mêmes concentrations atmosphériques de produits chimiques; l'âge, l'état de santé, le poids, l'état nutritionnel, la prise de médicaments, le tabagisme, la consommation d'alcool, un traitement médical ou une grossesse sont autant de facteurs qui peuvent avoir une influence sur l'absorption, la distribution, le métabolisme et l'élimination des produits chimiques.

### Quels échantillons prélever

La plupart des milieux de travail exposent les travailleurs à de multiples contaminants. Les agents chimiques sont donc évalués à la fois individuellement et dans leurs actions simultanées. Ils peuvent agir indépendamment dans le corps ou bien interagir de telle façon que l'effet toxique s'en trouve accru. Que faut-il mesurer et comment interpréter les résultats? Cela dépend du mécanisme d'action biologique de ces agents lorsqu'ils se trouvent dans l'organisme. Ceux-ci peuvent être évalués séparément s'ils agissent indépendamment les uns des autres sur des organes entièrement différents, comme le feraient, par exemple, un agent irritant pour l'œil et un neurotoxique. S'ils agissent sur le même organe (deux agents irritants des voies respiratoires, par exemple), leur effet combiné est important. Si l'effet toxique du mélange est la somme des effets séparés des composants pris individuellement, il est dit additif. Si l'effet toxique du mélange est plus grand que la somme des effets des agents pris séparément, il est qualifié de synergique. Ainsi, l'effet combiné du tabagisme et de l'inhalation de fibres d'amiante produit un risque de cancer du poumon beaucoup plus élevé que s'il s'agissait d'un simple effet additif.

L'échantillonnage de tous les agents chimiques présents sur le lieu de travail serait coûteux et peut-être même injustifié. L'hygiéniste du travail doit donc classer les agents éventuels en fonction du risque qu'ils représentent afin d'établir des priorités.

Les facteurs à prendre en compte sont les suivants:

- mode d'interaction: indépendant, additif ou synergique;
- toxicité inhérente à l'agent chimique;
- quantités utilisées et produites;
- nombre de personnes potentiellement exposées;
- durée et concentration prévues de l'exposition;
- fiabilité des moyens de prévention technique;
- changements prévus dans les processus et les mesures de prévention;
- valeurs limites d'exposition professionnelle et autres directives en la matière.

### Où prélever des échantillons

Afin d'obtenir la meilleure estimation possible du niveau d'exposition d'un travailleur, les échantillons d'air sont prélevés dans la zone respiratoire (dans un rayon de 30 cm autour de la tête); ils sont appelés prélèvements individuels. Pour ce faire, l'appareil d'échantillonnage est placé directement sur le travailleur pendant la durée du prélèvement. Si les échantillons d'air sont prélevés près du travailleur, en dehors de la zone où il respire, on parle de prélèvements d'ambiance. Ces derniers ont tendance à sous-estimer les expositions individuelles et ne fournissent pas de bonnes estimations de l'exposition des voies respiratoires. Cependant, ils sont utiles pour évaluer les sources d'émission et mesurer les concentrations ambiantes de contaminants. Les prélèvements d'ambiance peuvent être recueillis sur le lieu de travail à l'aide d'un instrument portable ou de postes d'échantillonnage fixes. Ce type de prélèvements a lieu régulièrement sur les sites de défilage de l'amiante pour établir les autorisations d'accès et dans le cadre d'enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments.

### Sur qui prélever des échantillons

Dans l'idéal, pour évaluer l'exposition professionnelle, chaque travailleur devrait faire l'objet de prélèvements individuels pendant plusieurs jours sur une période de plusieurs semaines ou de plusieurs mois. Toutefois, à moins que l'entreprise ne soit de petite taille (moins de 10 salariés), il est habituellement impossible d'effectuer de tels prélèvements sur tous les travailleurs. Pour réduire la lourdeur des opérations en termes d'équipement et de coût et augmenter l'efficacité du programme d'échantillonnage, on procède à des prélèvements sur un sous-ensemble des tra-

vailleurs présents sur le lieu de travail; les résultats obtenus sont ensuite généralisés à l'ensemble du personnel.

L'une des manières de sélectionner des employés représentatifs de l'ensemble du personnel consiste à former des groupes homogènes d'exposition (GHE) pour lesquels on prévoit les mêmes expositions (Corn, 1985). Une fois ces groupes constitués, on choisit au hasard un sous-ensemble de travailleurs dans chacun des groupes. Les méthodes utilisées pour déterminer la taille appropriée des échantillons supposent une distribution normale des expositions, une exposition moyenne estimative et un écart-type compris entre 2,2 et 2,5. Les données d'échantillonnages antérieurs peuvent permettre d'utiliser un écart-type plus réduit. Pour répartir le personnel en GHE, la plupart des hygiénistes du travail observent les travailleurs à leur poste et procèdent à une évaluation qualitative des expositions.

Il existe de nombreuses façons de former des GHE; généralement, les travailleurs peuvent être classés en fonction des tâches qu'ils ont à effectuer ou des zones où ils travaillent. Lorsqu'on se fonde sur ces deux critères à la fois, la méthode de classification est appelée zonage (voir figure 30.8). Une fois en suspension dans l'air, les agents chimiques et biologiques peuvent présenter des modèles de concentration spatiale et temporelle imprévisibles et complexes dans tout l'environnement de travail. Par conséquent, la proximité de la source par rapport au travailleur n'est peut-être pas le meilleur indicateur d'une similitude d'exposition. Les mesures d'exposition faites sur des travailleurs que l'on suppose soumis à des conditions analogues peuvent montrer qu'il existe entre eux une variation plus grande que prévu. Dans ce cas, les groupes d'exposition doivent être ramenés à de moindres dimensions, et il faut en outre continuer à prélever des échantillons pour vérifier que les personnes appartenant à un même groupe sont effectivement soumises aux mêmes expositions (Rappaport, 1994).

L'exposition peut être mesurée pour tous les travailleurs, quels que soient leur activité et le risque en présence, ou uniquement pour ceux que l'on suppose le plus fortement exposés. Dans ce dernier cas, la sélection peut être fonction des caractéristiques de la production, de la proximité de la source, des précédentes données d'échantillonnage, de l'état des lieux et de la toxicité chimique. Cette méthode du cas le plus défavorable est utilisée à des fins réglementaires et ne mesure pas l'exposition moyenne à long terme ni les variations quotidiennes. Pour un échantillonnage effectué selon le critère de la similitude des tâches, on choisit des travailleurs qui ont des tâches identiques à accomplir à des intervalles inférieurs à une journée.

L'efficacité du classement en GHE dépend de nombreux facteurs qui influent sur l'exposition. Il faut notamment relever que:

- les travailleurs font rarement la même chose, y compris lorsqu'ils ont la même description de poste, et sont rarement soumis aux mêmes expositions;
- les habitudes de travail de chaque personne peuvent modifier sensiblement l'exposition;
- les travailleurs qui se déplacent dans toute la zone de travail peuvent être exposés de manière imprévisible à plusieurs sources de contaminants tout au long de la journée;
- le mouvement de l'air sur un lieu de travail peut affecter de manière imprévisible le degré d'exposition des travailleurs situés très loin d'une source de contamination;
- l'exposition peut être fonction non pas des tâches à accomplir, mais du milieu de travail lui-même.

#### La durée des prélèvements

Les concentrations d'agents chimiques dans les échantillons d'air sont soit mesurées directement sur le terrain — ce qui permet d'obtenir des résultats immédiats (échantillonnage en temps réel ou instantané) —, soit prélevées sur le terrain au fil du temps sur un milieu d'échantillonnage ou dans des sacs d'échantillonnage et mesurées en laboratoire (échantillonnage intégré) (Lynch, 1994). L'avantage de l'échantillonnage en temps réel est qu'il permet d'obtenir rapidement des résultats sur le terrain et de déceler des expositions aiguës de courte durée. Toutefois, les méthodes d'échantillonnage en temps réel présentent l'inconvénient de ne pas exister pour tous les contaminants et de ne pas être toujours suffisamment sensibles d'un point de vue analytique, ni assez précises pour quantifier les contaminants ciblés. De plus, l'échantillonnage en temps réel n'est pas indiqué pour l'hygiéniste du travail qui s'intéresse aux expositions chroniques et a besoin de mesures moyennes pondérées dans le temps pour établir une comparaison avec les valeurs limites d'exposition professionnelle.

L'échantillonnage en temps réel est donc utilisé pour des évaluations d'urgence, pour obtenir une estimation sommaire des concentrations, déceler des fuites, surveiller l'air ambiant et les sources de contaminants, évaluer les moyens de prévention technique, surveiller les expositions inférieures à 15 minutes et les expositions épisodiques, surveiller les produits chimiques hautement toxiques (monoxyde de carbone), les mélanges explosifs et les processus. Les méthodes d'échantillonnage en temps réel peuvent déceler les changements de concentration dans le temps et fournir des informations qualitatives et quantitatives immédiates. L'échantillonnage intégré de l'air est généralement pratiqué pour les prélèvements individuels et d'ambiance et pour comparer les concentrations aux valeurs moyennes d'exposition (VME) pondérées dans le temps. L'échantillonnage intégré présente plusieurs avantages: il s'applique à une grande variété de contaminants; il peut servir à identifier des contaminants inconnus; il est très précis et spécifique et les seuils de détection sont souvent très bas. Comme les échantillons intégrés analysés en laboratoire doivent contenir suffisamment de contaminant pour satisfaire les besoins analytiques minimaux, ils sont prélevés pendant un laps de temps prédéfini.

Outre les exigences analytiques d'une méthode d'échantillonnage, la durée de l'échantillonnage devrait correspondre à l'objectif visé. S'il s'agit d'échantillonner la source, on tiendra compte de la durée du cycle ou du processus, ou des pics anticipés de concentration. Dans ce dernier cas, les échantillons devraient être prélevés à intervalles réguliers tout au long de la journée pour minimiser les biais et identifier les pics imprévisibles. La période d'échantillonnage devrait être suffisamment courte pour mettre en évidence les pics tout en reflétant également la période d'exposition effective.

Figure 30.8 • Facteurs à considérer dans la création de GHE par zonage



La durée du prélèvement individuel sera fonction de la valeur limite d'exposition professionnelle, de la durée de la tâche ou de l'effet biologique anticipé. On utilise les méthodes d'échantillonnage en temps réel pour évaluer les expositions aiguës aux agents irritants, asphyxiants, sensibilisants et allergènes. Le chlore, le monoxyde de carbone et le sulfure d'hydrogène sont des exemples de produits chimiques qui peuvent avoir des effets rapides à des concentrations relativement faibles.

Les agents responsables de maladies chroniques tels que le plomb ou le mercure font habituellement l'objet de prélèvements sur toute la durée d'un poste (7 heures ou plus) au moyen de méthodes d'échantillonnage intégré. L'hygiéniste du travail prélève soit un échantillon unique, soit une série d'échantillons consécutifs couvrant la totalité de la période en question. Pour des expositions d'une durée inférieure à celle d'un poste, la durée de l'échantillonnage est généralement fonction des tâches ou des processus considérés. Les ouvriers du bâtiment, le personnel de maintenance à l'intérieur de locaux et les préposés à l'entretien des routes sont des catégories de travailleurs dont l'exposition est directement liée à la tâche effectuée.

### **Le nombre de prélèvements et la fréquence d'échantillonnage**

Les concentrations de contaminants peuvent varier d'une minute à l'autre, d'un jour à l'autre et d'une saison à l'autre. De plus, il peut y avoir des variations inter- et intra-individuelles. Les variations d'exposition ont une influence à la fois sur le nombre d'échantillons à prélever et sur la précision des résultats. Elles peuvent provenir de différences dans les méthodes de travail, de changements dans les émissions toxiques, du volume de produits chimiques utilisés, de quotas de production, de la ventilation, de changements de température, de la mobilité du travailleur et des tâches qui lui sont confiées. La plupart des campagnes d'échantillonnage durent environ 2 jours par an; par conséquent, les mesurages obtenus ne sont pas représentatifs de l'exposition. La période de prélèvement des échantillons étant très courte par rapport au reste du temps, l'hygiéniste du travail doit extrapoler sur la base de la période d'échantillonnage. Pour le monitoring des expositions de longue durée, chaque travailleur sélectionné dans un GHE devrait faire l'objet de multiples prélèvements sur plusieurs semaines ou plusieurs mois et les expositions devraient être différenciées selon les postes de travail. Si l'équipe de jour est la plus occupée, l'équipe de nuit est parfois la moins surveillée et la plus propice à un certain relâchement des méthodes de travail.

### **Les techniques de mesurage**

#### **L'échantillonnage actif et passif**

Les contaminants sont prélevés soit par aspiration active d'un échantillon d'air sur le support d'échantillonnage, soit en laissant passivement l'air atteindre ce support. L'échantillonnage actif utilise une pompe alimentée par batteries, tandis que l'échantillonnage passif procède par diffusion ou gravité. Les gaz, vapeurs, particules et aérosols biologiques sont tous prélevés par des méthodes d'échantillonnage actif; les gaz et les vapeurs peuvent également être prélevés par diffusion passive.

Pour les gaz, les vapeurs et la plupart des particules, une fois l'échantillon prélevé, on mesure la masse du contaminant et on calcule sa concentration en divisant la masse par le volume d'air prélevé. La concentration des gaz et des vapeurs s'exprime en parties par million (ppm) ou en  $\text{mg}/\text{m}^3$ , et la concentration des particules en  $\text{mg}/\text{m}^3$  (Dinardi, 1995).

Dans le cas de l'échantillonnage intégré, les pompes d'échantillonnage de l'air sont des composants critiques du système, car il est nécessaire de connaître exactement le volume d'air prélevé pour évaluer la concentration. On choisit les pompes en fonction

de divers paramètres: débit désiré, facilité d'entretien et d'étalonnage, poids et encombrement, coût et possibilité d'utilisation dans des environnements dangereux. Le critère de sélection le plus important est le débit: les pompes à faible débit (0,5 à 500 ml/min) servent à prélever des échantillons de gaz et de vapeurs; les pompes à fort débit (500 à 4 500 ml/min) sont destinées à prélever des échantillons de particules, d'aérosols biologiques, de gaz et de vapeurs. Pour garantir des volumes d'échantillon exacts, les pompes doivent être étalonnées avec précision. L'étalonnage est effectué au moyen d'étalons primaires tels que des compteurs à bulles de savon manuels ou électroniques, qui mesurent directement le volume, ou des méthodes secondaires telles que les horloges à gaz avec liquide, les compteurs à gaz et les rotamètres de précision calibrés à l'aide de méthodes primaires.

#### **L'échantillonnage des gaz et des vapeurs**

Les gaz et les vapeurs sont prélevés au moyen de tubes adsorbants solides et poreux, d'impacteurs («impingers»), d'échantillonneurs passifs et de sachets. Les tubes adsorbants sont des tubes en verre remplis de granules permettant l'adsorption à leur surface de produits chimiques sans que ceux-ci ne subissent de modification dans leur composition. Les adsorbants solides s'utilisent spécifiquement pour des groupes de composés; les adsorbants habituellement utilisés sont le charbon actif, le gel de silice et le Tenax (fibres de carbone). Le charbon actif est électriquement non polaire et adsorbe de préférence des gaz et des vapeurs organiques. Le gel de silice, forme de silice active, sert à recueillir des composés organiques polaires, des amines et certains composés inorganiques. En raison de son affinité pour les composés polaires, il adsorbe la vapeur d'eau; par conséquent, avec une humidité élevée, l'eau peut extraire du gel de silice les produits chimiques intéressants les moins polaires. Le Tenax, polymère poreux, est utilisé pour l'échantillonnage de très faibles concentrations de composés organiques volatils non polaires.

L'aptitude à piéger avec précision les aérocontaminants et à éviter les pertes dépend du débit d'échantillonnage, du volume d'échantillonnage ainsi que de la volatilité et de la concentration du contaminant en suspension dans l'air. L'augmentation de la température, de l'humidité, du débit, de la concentration, de la taille des particules adsorbantes et du nombre de produits chimiques en présence peut nuire à l'efficacité d'adsorption des adsorbants solides. Cette baisse d'efficacité se traduira par une déperdition de produits chimiques pendant l'échantillonnage et une sous-estimation des concentrations. Pour détecter la perte ou la fuite de produits chimiques, les tubes adsorbants solides possèdent deux sections de matière granulée séparées par un tampon de mousse. La section avant est utilisée pour le prélèvement d'échantillons et la section arrière pour déterminer la fuite. Cette dernière est établie lorsque au moins 20 à 25% du contaminant se trouve dans la section postérieure du tube. Pour pouvoir analyser les contaminants à partir d'adsorbants solides, il est nécessaire d'extraire le contaminant du support à l'aide d'un solvant. Pour chaque lot de tubes adsorbants et de produits chimiques prélevés, le laboratoire doit déterminer l'efficacité de désorption et d'extraction des produits chimiques contenus dans l'adsorbant à l'aide du solvant. Le solvant le plus communément utilisé pour le charbon actif et le gel de silice est le sulfure de carbone. En ce qui concerne le Tenax, les produits chimiques sont extraits par désorption thermique directement dans un chromatographe en phase gazeuse.

Les impacteurs sont habituellement des barboteurs en verre avec un tube d'admission qui permet à l'air d'entrer dans le barboteur et de traverser une solution qui recueille les gaz et les vapeurs par absorption soit en l'état, soit après réaction chimique. Ces appareils sont de moins en moins utilisés dans le monitoring des lieux de travail, notamment pour l'échantillonnage individuel, car ils peuvent se briser et le milieu liquide peut se renverser sur le

travailleur. Il existe une grande variété d'impacteurs, y compris des barboteurs à gaz, des absorbeurs en spirale, des colonnes en perles de verre, des micro-impacteurs et des barboteurs frittés. Tous les impacteurs peuvent être utilisés pour les prélèvements d'ambiance; le micro-impacteur, le plus couramment utilisé, peut aussi servir aux prélèvements individuels.

Les échantillonneurs passifs ou par diffusion sont petits, ne comportent pas de pièces mobiles et peuvent être utilisés à la fois pour les contaminants organiques et inorganiques. La plupart des échantillonneurs de monitoring des contaminants organiques font appel au charbon actif. En théorie, tout composé qui peut être prélevé à l'aide d'un tube à charbon actif et d'une pompe peut être prélevé à l'aide d'un échantillonneur passif. Chaque échantillonneur a une géométrie unique pour assurer la vitesse d'échantillonnage requise. L'échantillonnage débute lorsque le couvercle est retiré et se termine lorsqu'il est replacé. La plupart des échantillonneurs par diffusion sont précis pour des expositions moyennes pondérées sur 8 heures et ne peuvent être utilisés pour des expositions de courte durée.

Il est possible d'utiliser des sachets d'échantillonnage pour recueillir des échantillons intégrés de gaz et de vapeurs. Leurs propriétés de perméabilité et d'adsorption permettent un stockage d'une journée moyennant une perte minimale. Ces sachets sont en Teflon (polytétrafluoroéthylène) ou en Tedlar (polyfluorure de vinyle).

### *L'échantillonnage des particules*

L'échantillonnage de particules ou d'aérosols en milieu de travail se trouve actuellement dans une phase transitoire en raison de l'arrivée de nouvelles techniques de prélèvement sélectif qui sont appelées à remplacer les méthodes traditionnelles. Nous les examinerons les unes et les autres ci-après en commençant par les méthodes traditionnelles.

Les filtres en fibres ou les membranes filtrantes sont les dispositifs le plus souvent utilisés pour recueillir les aérosols, le captage de l'aérosol dans le flux d'air se faisant par impact et fixation des particules à la surface du filtre. Le choix du milieu filtrant dépend des propriétés physiques et chimiques des aérosols à prélever, du dispositif de prélèvement et du type d'analyse à effectuer. Les critères de sélection sont les suivants: efficacité de prélèvement, perte de charge, hygroscopicité, contamination de fond, résistance et taille des pores, qui peut aller de 0,01 à 10 µm. Les membranes filtrantes existent en différents calibres de pores et généralement en trois matières: ester de cellulose, poly(chlorure de vinyle) et polytétrafluoroéthylène. Comme elles retiennent les particules à leur surface, elles sont en principe utilisées dans des applications faisant appel à la microscopie. Les filtres en ester de cellulose mixte peuvent se dissoudre facilement dans l'acide et sont souvent utilisés pour prélever des métaux devant être analysés par absorption atomique. Les filtres en nucléopore (polycarbonate) sont très résistants et thermiquement stables. Ils servent à prélever et analyser des échantillons de fibres d'amiantes par microscopie électronique à transmission. Les filtres en fibres sont souvent en fibre de verre et servent à prélever des échantillons d'aérosols contenant, par exemple, des pesticides ou du plomb.

En ce qui concerne les expositions professionnelles aux aérosols, il est possible de prélever un volume d'air connu grâce aux filtres, de mesurer (en mg par m<sup>3</sup> d'air) l'augmentation totale de la masse (analyse pondérale), de compter le nombre total de particules (fibres/cm<sup>3</sup>) ou encore d'identifier les aérosols (analyse chimique). Pour ce qui est des calculs de masse, il est possible de mesurer la quantité totale de poussières entrant dans le dispositif d'échantillonnage ou seulement la fraction respirable. Quand on mesure la quantité totale de poussières, l'augmentation de la masse représente le dépôt de poussières dans toutes les parties des voies respiratoires. Les dispositifs d'échantillonnage servant à me-

surer la quantité totale de poussières peuvent conduire à des erreurs du fait des turbulences ou de la mauvaise orientation des filtres. Un puissant courant d'air sur un filtre en position horizontale peut en effet amener à prélever des particules supplémentaires et à surestimer l'exposition.

En ce qui concerne l'échantillonnage des poussières respirables, l'augmentation de la masse représente le dépôt de poussières dans la région alvéolaire des échanges gazeux des voies respiratoires. Pour prélever uniquement la fraction respirable, on utilise un éluviateur qui modifie la distribution des poussières en suspension dans l'air avant leur passage dans le filtre. Les aérosols sont aspirés dans l'éluviateur, où ils subissent une accélération et un mouvement tourbillonnaire qui provoque l'expulsion des particules les plus lourdes vers le pourtour de la veine d'air et leur dépôt sur une section de dégagement au fond de l'appareil. Les particules respirables inférieures à 10 µm restent dans la veine d'air et sont recueillies sur le filtre pour subir ultérieurement une analyse pondérale.

Les erreurs d'échantillonnage des poussières totales et des poussières respirables conduisent à l'obtention de mesures qui ne reflètent pas avec exactitude l'exposition ou les effets nocifs pour l'individu. C'est pourquoi une méthode de prélèvement sélectif a été proposée pour redéfinir le rapport entre la dimension des particules, l'impact négatif sur la santé et la méthode d'échantillonnage. Son but est de mesurer les particules en tenant compte de la relation entre leur granulométrie et leurs effets spécifiques sur la santé. L'ISO (Organisation internationale de normalisation) et l'ACGIH ont défini trois fractions de masse particulaire: les particules inhalables (PI), les particules thoraciques (PT) et les particules respirables (PR). Les PI se réfèrent aux particules susceptibles d'entrer par le nez et la bouche et remplacent la fraction totale traditionnelle. Les PT s'appliquent aux particules qui peuvent pénétrer dans la partie supérieure de l'appareil respiratoire située après le larynx, tandis que les PR désignent les particules capables de se déposer dans la région des échanges gazeux du poumon et remplacent la fraction respirable actuelle. Dans la pratique, le prélèvement de particules d'une taille définie nécessite la mise au point de nouvelles méthodes d'échantillonnage des aérosols et de valeurs limites d'exposition spécifiques.

### *L'échantillonnage des agents biologiques*

Il existe peu de méthodes normalisées d'échantillonnage des agents ou des aérosols biologiques, et elles ne sont pas différentes de celles utilisées pour d'autres particules en suspension dans l'air. Toutefois, comme la viabilité de la majorité des bioaérosols doit être préservée pour garantir leur culture en laboratoire, la collecte, le stockage et l'analyse des échantillons sont en général plus difficiles. La stratégie d'échantillonnage des aérosols biologiques suppose un prélèvement direct sur une gélose nutritive semi-solide ou leur ensemencement en boîte de Petri après prélèvement dans des liquides, incubation pendant plusieurs jours et identification et quantification des colonies apparues. Les amoncellements de cellules qui se sont multipliées sur la gélose peuvent être comptés comme étant des unités formant colonie (UFC) pour les bactéries ou les champignons vivants, et des unités formatrices de plaque (UFP) pour les virus actifs. À l'exception des spores, les filtres ne sont pas recommandés pour le prélèvement d'aérosols biologiques, car la déshydratation endommage les cellules.

Les micro-organismes vivants aérosolisés sont prélevés à l'aide d'impacteurs en verre (AGI-30), de dispositifs d'échantillonnage à fente et d'impacteurs inertiels. Les impacteurs recueillent les aérosols biologiques dans un liquide, tandis que les dispositifs d'échantillonnage à fente les recueillent sur des lamelles de verre à des débits élevés. L'impacteur dispose de un à six étages contenant chacun une boîte de Petri pour permettre la séparation des particules en fonction de leur taille.



L'interprétation des résultats de l'échantillonnage doit se faire au cas par cas, parce qu'il n'existe pas de valeurs limites d'exposition professionnelle préétablies. Les critères d'évaluation doivent être définis avant l'échantillonnage. Pour les enquêtes sur la qualité de l'air à l'intérieur des bâtiments, on prend pour référence les échantillons prélevés à l'extérieur, la règle empirique étant que lorsque les concentrations des échantillons pris à l'intérieur équivalent à dix fois celles des échantillons de référence, on peut penser qu'il y a contamination. Avec les techniques utilisant la culture d'étalement en boîtes de Petri, les concentrations sont probablement sous-estimées en raison de l'altération de la viabilité pendant l'échantillonnage et l'incubation.

### **L'échantillonnage cutané et l'échantillonnage de surface**

Il n'existe pas de méthode standard permettant d'évaluer l'exposition de la peau aux produits chimiques et de prédire les doses absorbées. L'échantillonnage de surface a principalement pour but d'évaluer les méthodes de travail et d'identifier les sources potentielles d'absorption cutanée et d'ingestion. On utilise pour cela deux types de méthodes: des méthodes directes, qui consistent à prélever des échantillons sur la peau, et des méthodes indirectes de prélèvement des surfaces par frottis.

La méthode directe consiste à placer des compresses de gaze sur la peau pour absorber les produits chimiques, puis à rincer la peau à l'aide de solvants pour recueillir les contaminants et à déceler la contamination par fluorescence. Les compresses de gaze sont appliquées sur différentes parties du corps exposées à l'air libre ou placées sous l'équipement de protection individuelle. A la fin de la journée de travail, elles sont retirées puis analysées en laboratoire, la distribution des concentrations sur les différentes parties du corps servant à identifier les zones d'exposition de la peau. Cette méthode est peu coûteuse et facile à mettre en œuvre, mais ses résultats ne sont pas parfaits parce que les compresses de gaze ne constituent pas de bons modèles physiques des propriétés d'absorption et de rétention cutanée. De plus, les concentrations mesurées ne sont pas nécessairement représentatives du corps tout entier.

On rince la peau avec des solvants ou bien, dans le cas des mains, en les plaçant directement dans des sachets en plastique remplis de solvant pour mesurer la concentration de produits chimiques à la surface. Cette méthode peut sous-estimer la dose réelle de contaminant, car seule la fraction de produits chimiques non absorbée est prélevée.

On utilise un procédé de monitoring par fluorescence pour détecter l'exposition de la peau à des produits chimiques lorsque ceux-ci ont des propriétés naturelles de fluorescence, tels que les hydrocarbures aromatiques polycycliques, ou bien lorsqu'on leur a volontairement ajouté des composés fluorescents. La peau est scannée par une lumière ultraviolette qui permet de visualiser la contamination, montrant ainsi concrètement aux travailleurs l'incidence que leur manière de travailler peut avoir sur l'exposition. Des recherches sont en cours pour quantifier l'intensité de fluorescence et la mettre en rapport avec la dose absorbée.

Les méthodes indirectes d'échantillonnage par frottis nécessitent l'utilisation de gazes, de filtres en fibre de verre ou en cellulose pour essuyer l'intérieur des gants ou des appareils de protection respiratoire, ou le dessus des surfaces. Il est possible d'ajouter des solvants pour augmenter l'efficacité du prélèvement. Les gazes et les filtres sont ensuite analysés en laboratoire. Afin de normaliser les résultats et de permettre une comparaison entre les échantillons, on utilise une matrice carrée de 100 cm<sup>2</sup>.

### **Les prélèvements biologiques**

Les échantillons de sang, d'urine et d'air expiré sont ceux qui conviennent le mieux à une surveillance biologique périodique; les échantillons de cheveux, de lait, de salive et d'ongles sont

moins fréquemment utilisés. La surveillance biologique s'effectue par le prélèvement d'un ensemble d'échantillons de sang et d'urine sur le lieu de travail et par leur analyse en laboratoire. Les échantillons d'air expiré sont prélevés dans des sachets Tedlar, des pipettes en verre ou des tubes adsorbants spécialement conçus à cet effet. Ils sont analysés sur le terrain, grâce à des analyseurs à lecture directe, ou en laboratoire. Les échantillons de sang, d'urine et d'air expiré sont principalement utilisés pour mesurer les molécules mères inchangées (même produit chimique que celui prélevé dans l'air du lieu de travail), leur métabolite ou un changement biochimique (intermédiaire) induit dans le corps. Par exemple, on mesure la molécule mère du plomb dans le sang afin d'évaluer l'exposition saturnine; de même, on mesure l'acide mandélique, son métabolite, dans l'urine, pour évaluer l'exposition au styrène et à l'éthylbenzène, et on dose, dans le sang, la carboxyhémoglobine, laquelle est un intermédiaire, pour évaluer à la fois l'exposition au monoxyde de carbone et au chlorure de méthylène. S'agissant du monitoring de l'exposition, la concentration d'un paramètre idéal sera étroitement corrélée à l'intensité de l'exposition, tandis que dans le cadre de la surveillance médicale, elle sera étroitement corrélée à la concentration dans l'organe cible.

Le moment du prélèvement biologique peut avoir une incidence sur l'utilité des mesures. Il doit refléter au mieux l'exposition, sachant qu'il dépend de la demi-vie biologique d'excrétion des produits chimiques, c'est-à-dire du temps qu'il faut pour qu'ils soient éliminés de l'organisme, à savoir plusieurs heures ou plusieurs années. Les concentrations dans les organes cibles de produits chimiques ayant une demi-vie biologique courte suivent de très près celles que l'on peut mesurer dans l'air ambiant, alors que dans le cas des produits ayant une demi-vie biologique longue, elles ne fluctuent guère en fonction de l'exposition à l'environnement. Pour les produits chimiques ayant une demi-vie biologique courte, soit moins de 3 heures, le prélèvement devrait avoir lieu immédiatement à la fin du poste de travail, avant la baisse rapide des concentrations, afin de refléter l'exposition correspondant au poste en question. Les échantillons peuvent être prélevés à tout moment pour les produits chimiques ayant une demi-vie longue, tels que les biphenyles polychlorés et le plomb.

### **Le monitoring en temps réel**

Les analyseurs à lecture directe fournissent une quantification en temps réel des contaminants; l'échantillon est analysé dans l'appareil même et ne nécessite pas d'être acheminé à un laboratoire situé hors du site (Maslansky et Maslansky, 1993). Les composés peuvent être mesurés sans prélèvement préalable sur un milieu séparé qui doit être ensuite transporté, stocké et analysé. La concentration se lit directement sur un compteur, une console de visualisation, un enregistreur à papier déroulant et un enregistreur séquentiel de données ou grâce à un changement de couleur. Les analyseurs à lecture directe s'utilisent essentiellement pour les gaz et les vapeurs; il en existe quelques-uns pour les particules. Ces appareils varient en coût, complexité, fiabilité, taille, sensibilité et spécificité. On trouve des dispositifs simples (tels que les tubes colorimétriques qui indiquent la concentration par un changement de couleur), des analyseurs spécialement conçus pour un produit chimique particulier (tels que les indicateurs de monoxyde de carbone, les indicateurs de gaz inflammables (explosimètres) et les détecteurs de vapeurs de mercure) et des appareils de mesure (tels que les spectromètres à infrarouge) qui détectent un grand nombre de produits chimiques. Les analyseurs à lecture directe font appel à plusieurs méthodes physiques et chimiques d'analyse des gaz et des vapeurs, comme la conductivité, l'ionisation, la potentiométrie, la photométrie, les traceurs radioactifs et la combustion.

Les chromatographes en phase gazeuse alimentés par batteries, les analyseurs de vapeurs organiques et les spectromètres à infra-



rouge figurent parmi les analyseurs portables à lecture directe couramment utilisés. Les chromatographes en phase gazeuse et les analyseurs de vapeurs organiques s'utilisent principalement pour le monitoring des lieux d'entreposage des déchets dangereux et pour la surveillance de l'air ambiant. Les chromatographes en phase gazeuse équipés de détecteurs adaptés sont spécifiques et sensibles; ils peuvent quantifier les produits chimiques à des concentrations très basses. Les analyseurs de vapeurs organiques servent habituellement à mesurer des classes de composés. Les spectromètres portatifs à infrarouge sont essentiellement destinés aux contrôles d'ambiance et à la détection des fuites, car ils sont sensibles et spécifiquement adaptés à un grand nombre de composés.

Il existe de petits analyseurs individuels à lecture directe pour quelques gaz courants (chlore, cyanure d'hydrogène, sulfure d'hydrogène, hydrazine, oxygène, phosgène, dioxyde de soufre, dioxyde d'azote et monoxyde de carbone). Ils stockent les mesures de concentration relevées tout au long de la journée et peuvent fournir un affichage direct de la concentration moyenne pondérée par rapport au temps, ainsi qu'un profil détaillé de la concentration du contaminant pour la journée en question.

Les tubes colorimétriques (détecteurs de gaz de type Draeger) sont faciles à utiliser, bon marché et adaptés à un grand nombre de produits chimiques. Ils permettent d'identifier rapidement des classes de contaminants de l'air et fournissent une estimation approximative des concentrations qui peut être utile au moment de définir les débits des pompes. Les tubes colorimétriques sont en verre. Ils sont remplis de matière granulaire solide imprégnée d'un agent chimique susceptible de réagir à un contaminant par coloration. Après avoir ouvert les deux extrémités scellées d'un tube en les cassant, on place ce tube dans une pompe manuelle et on prélève le volume indiqué d'air contaminé moyennant un nombre défini de coups de pompe pour un produit chimique donné. Un changement de couleur ou une coloration apparaît alors dans le tube, normalement en l'espace de 2 minutes, la longueur de la coloration étant proportionnelle à la concentration. Certains tubes colorimétriques ont été adaptés pour un échantillonnage de longue durée et s'utilisent avec des pompes à batteries qui peuvent fonctionner pendant au moins 8 heures. Le changement de couleur constaté représente une concentration moyenne pondérée dans le temps. Les tubes colorimétriques peuvent servir à des analyses qualitatives ou quantitatives; cependant, leur spécificité et leur précision sont limitées. Leur précision n'est pas aussi élevée que celle des méthodes de laboratoire ou de beaucoup d'autres analyseurs de mesure en temps réel. Il existe des centaines de tubes. Nombre d'entre eux ont des sensibilités croisées et peuvent déceler plus d'un produit chimique, d'où un risque d'interférences susceptibles de modifier les concentrations mesurées.

Les appareils de détection des aérosols à lecture directe ne peuvent pas distinguer les contaminants les uns des autres. Ils sont en principe utilisés pour le comptage ou l'analyse granulométrique des particules en vue d'une première mesure approximative, et non pour déterminer une exposition moyenne pondérée dans le temps ou une exposition aiguë. Les analyseurs de mesure en temps réel font appel à des caractéristiques optiques ou électriques pour définir la masse totale et respirable des particules, leur nombre et leur granulométrie. Les appareils de détection des aérosols par diffusion de la lumière, ou photomètres d'aérosols, servent à détecter la lumière diffusée par les particules, alors qu'elles traversent un volume dans l'appareil. Au fur et à mesure que le nombre de particules augmente, la quantité de lumière diffusée augmente elle aussi en proportion de la masse. Ces appareils ne peuvent pas servir à distinguer les types de particules, mais s'ils sont utilisés sur un lieu de travail où le nombre de poussières différentes est faible, la masse observée peut être attribuée à un matériau particulier.

Les appareils de détection des aérosols fibreux servent à mesurer la concentration de particules dans l'air telles que les particules d'amiante. Les fibres sont alignées dans un champ électrique oscillant et éclairées à l'aide d'un laser à hélium et néon; les impulsions de lumière qui en résultent sont détectées par un tube multiplicateur de photoélectrons. Les photomètres par affaiblissement de lumière mesurent l'extinction de la lumière par les particules, le rapport entre la lumière incidente et la lumière mesurée étant proportionnel à la concentration.

### *Les techniques d'analyse*

Il existe de nombreuses méthodes d'analyse des échantillons en laboratoire pour détecter les contaminants. Parmi les plus couramment utilisées pour quantifier les gaz et les vapeurs dans l'air figurent la chromatographie en phase gazeuse, la spectrométrie de masse, l'absorption atomique, la spectroscopie infrarouge ou ultraviolette et la polarographie.

La chromatographie en phase gazeuse est une technique utilisée pour séparer et concentrer les produits chimiques contenus dans des mélanges en vue d'une analyse quantitative ultérieure. L'appareil employé se compose de trois parties essentielles: le système d'injection des échantillons, une colonne et un détecteur. Un échantillon liquide ou gazeux est injecté à l'aide d'une seringue dans un gaz vecteur qui le transporte à travers une colonne où s'effectue la séparation des constituants. La colonne est remplie de matières qui interagissent différemment selon les produits chimiques, et elle ralentit la migration du mélange. Cette interaction différentielle provoque le déplacement de chacun des produits chimiques à travers la colonne à une vitesse différente. Après séparation, les constituants chimiques passent directement dans un détecteur tel qu'un détecteur à ionisation de flamme, à photo-ionisation ou à capture d'électrons; un signal proportionnel à la concentration est enregistré sur un chromatogramme. Le détecteur à ionisation de flamme est utilisé pour presque tous les composés organiques, notamment les composés aromatiques, les hydrocarbures aliphatiques, les cétones et certains hydrocarbures chlorés. La concentration est mesurée par l'augmentation du nombre d'ions produits lorsqu'un hydrocarbure volatil est brûlé par une flamme d'hydrogène. Le détecteur à photo-ionisation s'emploie pour les composés organiques et pour certains composés inorganiques; il est particulièrement utile pour les composés aromatiques tels que le benzène et peut détecter les hydrocarbures aliphatiques, aromatiques ou halogénés. La concentration se mesure par l'augmentation du nombre d'ions produits lorsque l'échantillon est bombardé par les ultraviolets. Le détecteur à capture d'électrons est principalement destiné aux produits chimiques contenant des halogènes; il est peu sensible aux hydrocarbures, aux alcools et aux cétones. La concentration est mesurée par le courant provoqué entre deux électrodes par l'ionisation du gaz par une source radioactive.

Le spectrophotomètre de masse sert à analyser des mélanges complexes de produits chimiques présents en très faible quantité. Il est souvent couplé à un chromatographe en phase gazeuse pour la séparation et la quantification des contaminants.

La spectrométrie d'absorption atomique est principalement utilisée pour la quantification des métaux tels que le mercure. On entend par absorption atomique l'absorption de la lumière d'une longueur d'onde particulière par un atome libre à l'état fondamental; la quantité de lumière absorbée est liée à la concentration. Cette technique très spécifique, sensible et rapide, s'applique directement à environ 68 éléments. Les limites de détection se situent entre la gamme des ppb et celle des ppm.

L'analyse à l'infrarouge est une technique puissante, sensible, spécifique et à usages multiples. Elle utilise l'absorption de l'énergie infrarouge pour doser de nombreux produits chimiques inorganiques ou organiques, la quantité de lumière absorbée étant

proportionnelle à la concentration. Le spectre d'absorption d'un composé fournit des informations qui permettent son identification et sa quantification.

La spectrophotométrie d'absorption d'UV sert à analyser les hydrocarbures aromatiques lorsque les interférences sont faibles. La quantité de lumière ultraviolette absorbée est directement proportionnelle à la concentration.

Les méthodes polarographiques reposent sur l'électrolyse d'une solution échantillon au moyen d'une électrode facilement polarisable et d'une électrode non polarisable. Elles servent à l'analyse qualitative et quantitative des aldéhydes, des hydrocarbures chlorés et des métaux.

## ● L'HYGIÈNE DU TRAVAIL ET LA SURVEILLANCE ACTIVE DES RISQUES POUR LA SANTÉ

*James Stewart*

La première étape en hygiène du travail consiste à identifier et évaluer les risques, après quoi il convient de déterminer les interventions les plus appropriées pour les maîtriser. On distingue généralement trois catégories de mesures à cet effet:

1. les moyens de prévention technique;
2. les mesures administratives;
3. la protection individuelle.

Comme pour tout changement apporté aux méthodes de travail, la formation est un gage de succès des mesures de sécurité.

On entend par moyens de prévention technique les aménagements opérés dans le processus de production ou la modification des équipements en vue d'éliminer ou de réduire l'exposition à un agent donné, par exemple le remplacement d'un produit chimique par un autre moins toxique ou l'installation d'un dispositif d'aspiration pour capter les vapeurs générées à tel ou tel stade de la fabrication. Dans le cas de l'isolation acoustique, les moyens de prévention technique peuvent consister en l'installation de matériaux insonores, la construction d'enceintes et la pose de silencieux aux sorties des événements. Ils peuvent également se traduire par la réorganisation du processus lui-même, par exemple lorsqu'on supprime une étape de dégraissage ou plus dans un processus qui en comprenait trois à l'origine. Rendre inutile une tâche dangereuse est un moyen efficace de lutter contre le risque global d'exposition. L'avantage des moyens de prévention technique est qu'ils font relativement peu appel au travailleur, qui peut ainsi vaquer à son travail dans un environnement mieux maîtrisé, dès lors que les contaminants sont automatiquement éliminés de l'air. On est bien loin de la solution qui consiste à préconiser le port du masque dans un milieu de travail «non contrôlé». Outre l'installation par l'employeur de dispositifs de prévention sur les équipements existants, il est possible d'acheter de nouveaux équipements déjà dotés de tels dispositifs ou d'autres plus efficaces. Une double démarche consistant à installer immédiatement certains moyens de prévention technique et à exiger du personnel qu'il porte un équipement de protection individuelle jusqu'à l'arrivée d'un nouveau matériel plus sûr s'est souvent avérée efficace. Voici quelques exemples de moyens de prévention technique auxquels on a souvent recours:

- ventilation (générale et localisée);
- isolation (placer une barrière entre le travailleur et l'agent);
- substitution (remplacer des matières toxiques, inflammables, etc., par des matières qui le sont moins);

- modification du processus (éliminer les étapes dangereuses).

L'hygiéniste du travail doit se montrer attentif aux tâches que le travailleur doit effectuer et solliciter son avis quant à la conception et au choix des dispositifs à installer. Ainsi, le fait de placer des barrières sur le lieu de travail peut gêner considérablement le travailleur dans ses mouvements et encourager des solutions de «contournement» contraires au but recherché. De plus, si les moyens de prévention technique constituent la manière la plus efficace de réduire les risques d'exposition, elles sont aussi souvent l'option la plus coûteuse. Il est donc important de consulter le plus possible les travailleurs sur le choix et la conception de ces mesures si l'on veut qu'elles aient plus de chances d'atteindre leur but.

Les mesures administratives portent sur la façon dont un travailleur accomplit ses tâches, par exemple sur le temps qu'il passe dans une zone exposée ou sur les postures dans lesquelles il a pris l'habitude de travailler. Ces mesures peuvent contribuer à l'efficacité d'une intervention, mais ne sont toutefois pas dépourvues d'inconvénients:

1. Le roulement du personnel peut réduire l'exposition journalière totale, mais il implique de brèves périodes de forte exposition pour un plus grand nombre de travailleurs. Or, à mesure que progresseront les connaissances sur les toxiques et leurs modes d'action, on s'apercevra peut-être que les pics d'exposition représentent ponctuellement un risque plus grand que celui qui est calculé sur la base de leur contribution à une exposition moyenne.
2. Il peut être très difficile d'introduire des changements dans les méthodes de travail et de les faire appliquer avec efficacité. Il faut leur accorder une attention permanente qui constitue une part importante du coût des mesures administratives.

La protection individuelle est assurée par des équipements fournis au travailleur qui est tenu de les porter lorsqu'il effectue certaines tâches (ou en permanence). Il s'agit, par exemple, d'appareils de protection respiratoire, de lunettes, de gants de protection ou d'écrans faciaux. Les équipements de protection individuelle servent en principe dans les cas où les moyens de prévention technique ne permettent pas d'abaisser l'exposition à des niveaux acceptables ou sont impossibles à mettre en œuvre (pour des raisons opérationnelles ou de coût). Ils sont normalement très efficaces s'ils sont portés et utilisés correctement. Dans le cas des appareils de protection respiratoire, les facteurs de protection (rapport entre les concentrations à l'extérieur et à l'intérieur de l'appareil) peuvent être de 1 000 ou plus pour les appareils isolants à pression positive et de 10 pour les appareils filtrants de type demi-masque. Les gants peuvent protéger les mains contre les solvants pendant des heures (s'ils sont bien choisis), tandis que les lunettes peuvent assurer une protection efficace contre les éclaboussures de produits corrosifs.

### Les facteurs à prendre en compte lors des interventions

On associe souvent plusieurs mesures pour abaisser les expositions à des niveaux acceptables. Quelles que soient les méthodes choisies, leur objectif doit toujours être de réduire l'exposition et de ramener les risques à un niveau acceptable, mais de nombreux autres facteurs entrent aussi en ligne de compte, notamment:

- l'efficacité des mesures envisagées;
- la facilité de leur application;
- leur coût;
- la détectabilité du risque;
- le niveau d'exposition admissible;
- la fréquence d'exposition;
- la ou les voies d'exposition;
- les prescriptions réglementaires.

### *L'efficacité des mesures*

L'efficacité est le premier facteur à prendre en compte au moment de décider des actions à entreprendre. Lorsqu'on compare un type d'intervention à un autre, le niveau de protection envisagé doit correspondre au risque contre lequel on veut se prémunir. Une protection excessive entraîne le gaspillage de ressources qui pourraient servir à maîtriser d'autres risques ou à réduire l'exposition d'autres travailleurs. Une protection insuffisante, en revanche, se traduira par des conditions de travail insalubres. On classera donc tout d'abord les interventions en fonction de leur efficacité, avant de tenir compte des autres facteurs.

### *La facilité d'application*

Pour qu'une quelconque mesure soit efficace, il ne faut pas qu'elle empêche le travailleur de continuer à faire son travail normalement. Si l'on a décidé, par exemple, de remplacer un produit par un autre, le travailleur doit être conscient des risques inhérents au nouveau produit, être suffisamment formé pour le manipuler en toute sécurité, connaître les bonnes procédures d'élimination, etc. Si la méthode employée est l'isolation, à savoir l'installation d'une enceinte autour de la substance ou du travailleur, il ne faut pas qu'elle constitue un obstacle aux gestes à accomplir. Lorsque les dispositifs de protection gênent les travailleurs, ceux-ci ne sont guère disposés à les utiliser et cherchent parfois d'autres façons de procéder qui risquent d'accroître le danger, au lieu de le réduire.

### *Le coût*

Les entreprises ont des ressources limitées et doivent donc en faire une utilisation optimale. Lorsqu'on a décelé un danger et élaboré une stratégie d'intervention, il faut prendre en considération le facteur coût. Très souvent, le «mieux» n'est pas de choisir les solutions les moins coûteuses ou les plus coûteuses. Le coût ne devient un facteur de choix que lorsqu'on dispose de plusieurs méthodes efficaces de réduction de l'exposition. S'il est jugé déterminant d'emblée, on risque d'opter pour des solutions inadaptées ou susceptibles de gêner le travail de ceux auxquels elles sont destinées. Il serait malvenu de choisir des mesures bon marché qui auraient pour conséquence d'entraver ou de ralentir le processus de fabrication. La production s'en trouverait diminuée et son coût, plus élevé. En très peu de temps, le coût «réel» de ces mesures «bon marché» deviendrait considérable. Les ingénieurs en organisation connaissent les installations et les processus dans leur ensemble; les ingénieurs de production connaissent les différentes étapes et procédés de fabrication; les analystes financiers connaissent les problèmes d'allocation des ressources. De leur côté, les hygiénistes du travail ont une contribution spécifique à apporter, car ils connaissent les tâches qu'accomplissent les travailleurs, leur interaction avec les machines et la manière dont seront appliquées les mesures de prévention retenues. En confrontant leurs points de vue, ces spécialistes auront plus de chances de choisir les méthodes les mieux adaptées.

### *La détectabilité du risque*

Lorsqu'on cherche à protéger un travailleur contre un risque pour la santé d'origine professionnelle, il convient de prendre en considération le caractère plus ou moins décelable de ce risque, par des signes tels qu'odeur ou irritation. Si, par exemple, une personne employée dans une usine de semi-conducteurs travaille dans une zone où l'on utilise de l'arsine, l'extrême toxicité de ce gaz constitue un risque potentiel majeur. Le fait qu'il ne soit pas facilement détectable par la vue ou par l'odorat tant qu'il n'a pas dépassé de beaucoup le niveau admissible complique les choses. Dans ce cas, il convient d'écarter toute solution qui ne permettrait pas de maintenir efficacement les niveaux d'exposition au-dessous du niveau admissible, puisque les travailleurs ne sont pas en mesure de détecter les dépassements. Ce qu'il faut, ce sont des aménage-

ments techniques destinés à isoler les travailleurs du gaz en question, ainsi qu'un système de surveillance permanente pour donner l'alarme en cas de défaillance de ces aménagements. En présence de produits très toxiques et difficiles à déceler, la prévention s'impose et l'hygiéniste du travail doit se montrer à la fois souple et prudent.

### *Le niveau d'exposition admissible*

Si l'on envisage de prendre des mesures pour protéger un travailleur contre une substance telle que l'acétone, dont le niveau d'exposition admissible peut être de l'ordre de 800 ppm, il est assez facile de viser un seuil de 400 ppm ou moins. Pour un produit comme le 2-éthoxyéthanol, en revanche, dont le niveau d'exposition admissible est de l'ordre de 0,5 ppm, il sera sans doute plus difficile d'obtenir une réduction du même ordre (de 0,5 ppm à 0,25 ppm). En réalité, à des niveaux d'exposition aussi bas, le confinement du matériau est parfois la seule option envisageable, alors qu'à des niveaux d'exposition élevés, la ventilation peut suffire à atténuer convenablement le risque. Autrement dit, le niveau d'exposition admissible pour une substance donnée (tel que défini par la réglementation, l'entreprise, etc.) peut limiter le choix des mesures de prévention à mettre en œuvre.

### *La fréquence d'exposition*

Le modèle classique d'évaluation de la toxicité est le suivant:

$$\text{TEMPS} \times \text{CONCENTRATION} = \text{DOSE}$$

Par dose, on entend ici la quantité de matière rendue disponible pour l'absorption. Nous nous sommes attachés jusqu'ici à étudier la façon de minimiser (diminuer) la concentration, mais on peut aussi s'efforcer de réduire la durée d'exposition (objectif fondamental des mesures administratives) pour parvenir de la même façon à diminuer la dose absorbée. La difficulté ne tient alors pas au fait que le travailleur passe un certain temps dans un espace donné, mais plutôt qu'il accomplit certaines tâches à une fréquence donnée. C'est une distinction importante. Dans le premier cas, en effet, l'intervention consistera à déplacer les travailleurs à partir d'un niveau d'exposition donné à une substance toxique, sans chercher à réduire la quantité de cette substance (même si l'on fait souvent les deux à la fois), alors que dans le second, on décidera des mesures à prendre en fonction de la fréquence des opérations en cause, au lieu d'établir un planning de travail. A titre d'exemple, si un travailleur effectue régulièrement une opération de dégraissage, on pourra réduire l'exposition par des moyens tels que ventilation, remplacement d'un solvant toxique par un autre moins dangereux, ou même automatisation du processus. Mais s'il s'agit d'une tâche peu fréquente (disons une fois par trimestre), on préconisera peut-être le port d'un équipement de protection individuelle (compte tenu des divers facteurs à prendre en compte lors des interventions). Comme ces deux exemples le montrent, la fréquence d'exécution d'une tâche peut avoir une incidence directe sur le choix des mesures de réduction de l'exposition. Il faut donc en tenir compte quelle que soit la situation d'exposition.

### *Les voies d'exposition*

De toute évidence, la voie d'exposition influe aussi sur le choix de la méthode de maîtrise des risques. En présence d'un irritant respiratoire, on envisagera, par exemple, l'installation d'un système de ventilation ou encore le port d'appareils de protection respiratoire. Le problème de l'hygiéniste du travail est de bien identifier toutes les voies d'exposition. Prenons le cas des éthers de glycol, utilisés comme solvants porteurs dans les opérations d'impression. Ils sont présents dans l'air, où l'on peut mesurer leur concentration en vue de limiter leur inhalation. Mais ils sont aussi rapidement absorbés par la peau intacte et cette voie d'exposition

ne doit pas être négligée. En fait, si les gants de protection ont été mal choisis, la peau continue d'être exposée bien après que l'exposition des voies respiratoires a diminué (du seul fait que le travailleur porte des gants non étanches). L'hygiéniste doit donc évaluer la substance (ses propriétés physiques, chimiques et toxicologiques, etc.) pour déterminer toutes les voies d'exposition possibles et probables (compte tenu des tâches effectuées).

### Les prescriptions réglementaires

Enfin, on ne saurait envisager de remédier à un risque d'exposition sans prendre en compte les obligations réglementaires en la matière. Il peut exister des recueils de directives pratiques, des règlements et autres textes exigeant des mesures spécifiques. Une fois ces dispositions mises en œuvre, l'hygiéniste du travail dispose d'une certaine marge de manœuvre. Il peut arriver que les mesures imposées par la réglementation ne soient pas aussi efficaces que celles envisagées par l'hygiéniste du travail ou qu'elles soient en contradiction avec elles: l'hygiéniste doit alors faire preuve de créativité et trouver des solutions acceptables du point de vue tant de la réglementation que des objectifs de l'entreprise.

### La formation des travailleurs et l'étiquetage des produits

En fin de compte, quelle que soit la forme d'intervention choisie, il faut que les travailleurs soient formés et informés pour qu'ils comprennent bien quelles sont les solutions adoptées et pourquoi et dans quelle mesure les niveaux d'exposition devraient diminuer, et aussi quel peut être leur rôle par rapport aux objectifs fixés. Sans la participation du personnel, les mesures adoptées ont de grandes chances d'échouer ou, tout au moins, de perdre en efficacité. La formation permet de faire prendre conscience aux travailleurs des dangers existants et cette sensibilisation peut s'avérer précieuse pour l'hygiéniste du travail en présence de risques jusqu'alors inconnus ou de nouveaux cas d'exposition.

La formation, l'étiquetage, etc. peuvent faire partie d'un programme de mise en conformité avec les règlements. Il est toujours prudent de s'informer des réglementations locales avant d'organiser une formation ou de réaliser un étiquetage, afin de s'assurer de leur conformité sur tous les plans.

### Conclusion

Dans cette brève description des mesures de prévention active des risques, nous nous sommes limités à quelques considérations d'ordre général pour susciter la réflexion. Dans la pratique, cependant, les interventions sont souvent très complexes et peuvent avoir des répercussions non négligeables sur la santé des travailleurs et de l'entreprise. L'avis professionnel de l'hygiéniste du travail est essentiel au choix des meilleures mesures de maîtrise des risques, dans tous les sens du terme «meilleur». L'hygiéniste doit travailler en équipe et en consultation avec les travailleurs, la direction et le personnel technique.

## ● LES PRINCIPES BIOLOGIQUES DE L'ÉVALUATION DE L'EXPOSITION

Dick Heederik

Évaluer l'exposition sur le lieu de travail consiste à identifier et à mesurer les agents avec lesquels un travailleur est susceptible d'être en contact. Des indices d'exposition peuvent être calculés pour définir la quantité de tel ou tel agent présent dans l'environnement en général ou dans l'air inhalé, ainsi que pour définir la quantité effectivement inhalée, avalée ou absorbée de toute autre

façon (la dose). D'autres indices reflètent la quantité d'agent résorbée (la charge) et l'exposition de l'organe cible. Le terme dose est un terme pharmacologique ou toxicologique utilisé pour indiquer la quantité de substance administrée à un sujet. Le débit de dose est la quantité administrée par unité de temps. La dose d'exposition sur un lieu de travail est difficile à déterminer dans la pratique, car les processus physiques et biologiques tels que l'inhalation, la résorption, la fixation et la répartition d'un agent dans le corps humain créent des relations non linéaires et complexes entre dose et exposition. L'incertitude qui existe quant au niveau réel d'exposition rend également difficile la quantification des relations entre l'exposition à un agent et ses effets sur la santé.

Dans de nombreux cas d'exposition professionnelle, il existe un *intervalle de temps* pendant lequel l'exposition, ou la dose, exerce une influence importante dans l'apparition d'un problème ou symptôme particulier en rapport avec la santé. Par conséquent, l'exposition ou la dose biologiquement effective (active) serait celle qui se situe pendant cet intervalle de temps. On estime que ce phénomène se produirait, en particulier, dans certains cas d'exposition professionnelle à des cancérogènes. Le cancer étant une maladie dont la période de latence est longue, il se pourrait en effet que l'exposition liée au développement final de la maladie ait eu lieu plusieurs années avant que le cancer se manifeste effectivement. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, l'accumulation des expositions durant la vie active ne serait donc pas le paramètre déterminant, et l'exposition au moment où se manifeste la maladie n'aurait pas non plus d'importance particulière.

Les conditions d'exposition (exposition continue, exposition intermittente, exposition avec ou sans pics) jouent également un rôle. Il est important de les prendre en compte à la fois pour les études épidémiologiques et pour les mesurages effectués en vue de vérifier la conformité avec les normes sanitaires ou de limiter les risques d'exposition dans le cadre de programmes de prévention. Si des pics d'exposition ont un effet sur la santé, il faut pouvoir les observer pour agir en conséquence. Un monitoring qui ne fournirait que des données sur les expositions moyennes à long terme serait inutile, puisqu'il masquerait sans doute les valeurs de crête, empêchant ainsi d'intervenir lorsque celles-ci se produisent.

L'exposition ou dose biologiquement effective (active) pour une maladie donnée est souvent inconnue parce que les conditions d'absorption, d'assimilation, de distribution et d'élimination, ou encore les mécanismes de biotransformation, n'ont pas encore été entièrement élucidés. La vitesse à laquelle un agent entre dans l'organisme et en sort (cinétique) et les processus biochimiques de traitement de la substance (biotransformation) aideront à déterminer les relations entre exposition, dose et effet.

La surveillance du milieu consiste à mesurer et à évaluer les agents présents sur le lieu de travail afin de déterminer l'exposition ambiante et les risques qui en découlent pour la santé. La surveillance biologique a pour objet de mesurer et d'évaluer les agents présents sur le lieu de travail ou leurs métabolites dans les tissus, les excréments et les sécrétions, dans le but de définir l'exposition et les risques pour la santé. On utilise parfois des *indicateurs biologiques*, tels que des adduits de l'ADN, comme mesures d'exposition. Les indicateurs biologiques peuvent également signaler les mécanismes du processus pathogène, mais c'est là un sujet complexe qui est traité plus en détail dans le chapitre n° 27, «L'évaluation des risques biologiques», ainsi que ci-après.

Voici, présenté de façon schématique, le modèle de base exposition-réponse:

exposition → absorption → distribution,  
élimination, transformation → dose cible →  
physiopathologie → effet

Selon l'agent considéré, les relations exposition-absorption et exposition-dose peuvent être complexes. Il est possible de faire de



simples approximations pour de nombreux gaz sur la base de leur concentration dans l'air pendant une journée de travail et de la quantité d'air inhalée. En ce qui concerne le prélèvement d'échantillons de poussières, les types de dépôts sont aussi fonction de la taille des particules. Les considérations de taille peuvent également conduire à des relations plus complexes. Le chapitre n° 10, «L'appareil respiratoire», fournit de plus amples renseignements sur la toxicité respiratoire.

L'exposition et la dose sont des éléments qui concourent à l'évaluation quantitative des risques. Les méthodes d'évaluation des risques pour la santé servent souvent de base à l'établissement de valeurs limites d'exposition correspondant à certaines concentrations d'agents toxiques dans l'air, dans le cadre de normes environnementales et professionnelles. L'analyse des risques pour la santé fournit une estimation de la probabilité (risque) d'apparition d'effets particuliers sur la santé ou une estimation du nombre de cas présentant ces effets. Elle permet de calculer une concentration admissible d'un toxique dans l'air, l'eau ou la nourriture, étant donné une grandeur de risque admissible définie a priori. L'analyse quantitative des risques a trouvé une application en épidémiologie du cancer, ce qui explique l'accent mis sur l'évaluation rétrospective de l'exposition. Mais il existe des stratégies plus élaborées pour l'évaluation tant rétrospective que prospective de l'exposition, et les principes d'évaluation de l'exposition ont également servi à des études sur d'autres maladies, telles que les maladies respiratoires bénignes (Wegman et coll., 1992; Post et coll., 1994). Actuellement, la recherche s'oriente surtout dans deux directions: d'un côté, l'utilisation des estimations de dose obtenues grâce à la surveillance de l'exposition, de l'autre, l'utilisation des indicateurs biologiques comme mesures d'exposition.

### La surveillance de l'exposition et la prévision de la dose

Dans de nombreux cas d'exposition, malheureusement, on ne dispose guère de données quantitatives pour prévoir le risque d'apparition d'une maladie donnée. Dès 1924, Haber postulait que la gravité de l'effet sur la santé (H) était proportionnelle au produit de la concentration d'exposition (X) et du temps d'exposition (T):

$$H = X \cdot T$$

Cette loi, appelée loi de Haber, est à l'origine du concept selon lequel les mesures de l'exposition moyenne pondérée dans le temps (à savoir les mesures à partir desquelles une moyenne a été établie sur une période de temps donnée) constitueraient une mesure utile de l'exposition. Mais cette supposition a été longtemps mise en doute. En 1952, Adams et ses collègues estimaient pour leur part que «l'utilisation de la moyenne pondérée dans le temps pour intégrer des expositions variables n'a pas de fondement scientifique ...» (Atherly, 1985). Le problème est que de nombreuses relations sont plus complexes que celle représentée par la loi de Haber. Il existe beaucoup d'agents dont l'effet dépend plus largement de la concentration que de la durée d'exposition. Il est intéressant de constater, par exemple, d'après les résultats d'études en laboratoire, que dans le cas de rats exposés à du tétrachlorure de carbone, les conditions d'exposition (continue ou intermittente et avec ou sans pics) ainsi que la dose peuvent modifier le risque observé de modification du niveau d'enzymes dans le foie (Bogers et coll., 1987). Les aérosols biologiques tels que l'enzyme alpha-amylase, améliorant de la pâte qui peut provoquer des allergies chez les personnes travaillant dans la boulangerie, fournissent un autre exemple (Houba et coll., 1996). En l'occurrence, on ne sait pas si le risque de développer une allergie est déterminé principalement par les pics d'exposition, par l'exposition moyenne ou encore par l'exposition cumulée (Wong, 1987; Checkoway et Rice, 1992). On ne dispose pas de données tempo-

relles pour la plupart des agents, notamment ceux qui ont des effets chroniques.

Les premières tentatives de modélisation des conditions d'exposition et de l'évaluation des doses ont été présentées dans les années soixante et soixante-dix par Roach (1966, 1977). Celui-ci a montré que la concentration d'un agent atteint une valeur d'équilibre au niveau du récepteur après une exposition d'une durée infinie du fait de la compensation qui se produit entre élimination et absorption. Dans le cas d'une exposition d'une durée de 8 heures, il est possible d'atteindre 90% de ce niveau d'équilibre si la demi-vie de l'agent dans l'organe cible est inférieure à environ 2 h 30. Autrement dit, pour les agents qui ont une demi-vie courte, la dose dans l'organe cible est déterminée par un temps d'exposition inférieur à 8 heures. Pour les agents ayant une demi-vie longue, la dose dans l'organe cible est fonction du produit du temps d'exposition par la concentration de l'agent. Rappaport (1985) suit une approche similaire, bien que plus élaborée. Il montre que les variations d'exposition au cours d'une même journée jouent un rôle limité en présence d'agents ayant une demi-vie longue. C'est lui qui a introduit la notion d'*amortissement au niveau du récepteur*.

Les informations présentées ci-dessus ont surtout servi au calcul des durées moyennes à utiliser pour vérifier la conformité des niveaux d'exposition par rapport aux normes. Depuis Roach, tout le monde sait que pour les irritants il faut faire un échantillonnage instantané et établir une moyenne sur une courte période, tandis que pour les agents ayant une demi-vie longue, tels que l'amiante, il convient de calculer approximativement la moyenne des expositions cumulées sur une longue période. Il faut toutefois être conscient du fait que la dichotomie entre échantillonnage instantané et mesures de l'exposition moyenne sur 8 heures, opérée dans de nombreux pays à des fins de contrôle de conformité, traduit de façon très grossière les principes biologiques exposés ci-dessus.

Dans un article, Wegman et coll. (1992) expliquent comment ils ont amélioré une stratégie d'évaluation de l'exposition en appliquant les principes pharmacocinétiques de l'épidémiologie. Au moyen de dispositifs de monitoring continu, ils ont ainsi mesuré les pics individuels d'exposition à des poussières en les rapprochant de symptômes respiratoires réversibles aigus survenant toutes les 15 minutes. Ce genre d'étude pose cependant un problème conceptuel sur lequel s'attardent longuement les auteurs, qui est de définir la notion de pic d'exposition ayant une incidence sur la santé. Cette définition dépend une fois encore de considérations biologiques. D'après Rappaport (1991), pour qu'un pic d'exposition joue un rôle étiologique dans un processus pathogène, il faut: 1) que l'agent soit éliminé rapidement de l'organisme; 2) que la vitesse de l'altération biologique au moment du pic ne soit pas linéaire. Une vitesse d'altération biologique non linéaire peut être en rapport avec des changements d'absorption, lesquels dépendent à leur tour des niveaux d'exposition, de la sensibilité de l'individu, de la synergie avec d'autres expositions, de l'action d'autres mécanismes pathogènes à des niveaux d'exposition élevés ou d'effets de seuil dans des processus pathogènes.

Ces exemples montrent également que les approches pharmacocinétiques peuvent conduire à autre chose qu'à des estimations de dose, par exemple à étudier la pertinence biologique des indices d'exposition existants et à concevoir de nouvelles stratégies d'évaluation de l'exposition dans l'optique de la santé.

La modélisation pharmacocinétique de l'exposition peut également servir à estimer la dose effective dans l'organe cible. Dans le cas de l'ozone, par exemple, gaz qui provoque des irritations aiguës, les modèles qui ont été développés sont capables de prévoir la concentration dans les tissus des voies respiratoires en fonction de la concentration moyenne d'ozone dans l'air du poumon à une certaine distance de la trachée, du rayon des voies respiratoires, de la vitesse moyenne de l'air, de la dispersion

effective et du flux d'ozone de l'air vers la surface du poumon (Menzel, 1987; Miller et Overton, 1989). Ces modèles peuvent être utilisés pour prévoir la dose d'ozone dans une région donnée des voies respiratoires, en fonction des concentrations d'ozone dans l'environnement et des caractéristiques de la respiration.

Dans la plupart des cas, les estimations de la dose cible se basent sur l'évolution des conditions d'exposition dans le temps, sur les antécédents professionnels et sur des données pharmacocinétiques relatives à l'absorption, la distribution, l'élimination et la transformation de l'agent. L'ensemble du processus peut être décrit par une série d'équations qui peuvent être résolues mathématiquement. Les données sur les paramètres pharmacocinétiques chez l'humain sont rarement disponibles, d'où la nécessité d'utiliser des estimations tirées d'expérimentations sur l'animal. La modélisation pharmacocinétique de l'exposition pour des estimations de dose est une pratique dont on observe à ce jour divers exemples. C'est à Jahr (1974) que l'on doit la première référence à ce sujet dans une publication.

Bien que les estimations de dose n'aient généralement pas été validées et qu'elles n'aient guère trouvé d'application dans le domaine épidémiologique, la nouvelle génération d'indices d'exposition ou de dose devrait permettre d'optimiser les analyses exposition-réponse dans les études épidémiologiques (Smith, 1985, 1987). L'existence de grandes différences entre les espèces dans la cinétique des agents toxiques est un problème que la modélisation pharmacocinétique n'a pas encore abordé, ce qui rend d'autant plus intéressants les effets des variations des paramètres pharmacocinétiques chez un même individu (Droz, 1992).

### La surveillance biologique et les indicateurs biologiques d'exposition

Parce qu'elle fournit une estimation des doses absorbées, la surveillance biologique est souvent jugée supérieure à la surveillance du milieu. Cependant, comme les indices de surveillance biologique peuvent énormément varier pour un seul et même individu, il faut prendre des mesures de façon répétée pour parvenir à une estimation acceptable de la dose, et ce travail de mesure devient parfois plus important que dans le cas de la surveillance du milieu.

Une étude intéressante sur des travailleurs employés à la fabrication de bateaux en plastique renforcé à la fibre de verre illustre cette situation (Rappaport et coll., 1995). Il s'agissait d'évaluer la variabilité de l'exposition au styrène en mesurant à plusieurs reprises la quantité de styrène présente dans l'air. La surveillance portait à la fois sur le styrène présent dans l'air expiré par les travailleurs exposés et sur les échanges de chromatides-sœurs. Elle a montré qu'une étude épidémiologique utilisant le styrène dans l'air comme mesure de l'exposition aurait été plus efficace, en termes de nombre de mesures nécessaires, qu'une évaluation fondée sur les autres indices d'exposition. En effet, on a mesuré trois fois le styrène dans l'air pour évaluer l'exposition moyenne à long terme avec une certaine précision; quatre mesures par travailleur ont été nécessaires pour quantifier le styrène contenu dans l'air expiré, mais il a fallu s'y reprendre à vingt fois pour les échanges de chromatides-sœurs. Cela tient au fait que le rapport signal/bruit, déterminé par les variations d'exposition d'un jour à l'autre et d'un travailleur à l'autre, était plus favorable au styrène contenu dans l'air qu'aux deux indicateurs biologiques de l'exposition. Ainsi, bien que l'utilisation d'un certain substitut d'exposition puisse être parfaitement valable d'un point de vue biologique, elle ne donnera pas de bons résultats dans une analyse exposition-réponse en raison d'un rapport signal/bruit limité qui conduit à des erreurs de classification.

Droz (1991) s'est servi de la modélisation pharmacocinétique pour étudier les avantages des stratégies d'évaluation de l'exposition reposant sur l'échantillonnage de l'air par rapport aux straté-

gies de surveillance biologique qui dépendent de la demi-vie de l'agent considéré. Il a montré que la variabilité biologique, laquelle n'a aucun rapport avec la variabilité du test toxicologique, avait un grand impact sur la surveillance biologique. Sa conclusion est qu'il n'y a aucun avantage statistique à utiliser des indicateurs biologiques lorsque la demi-vie de l'agent est inférieure à environ 10 heures.

Bien que l'on puisse être plus enclin à opter pour la mesure de l'exposition environnementale plutôt que pour celle d'un indicateur biologique d'effet en raison des fluctuations de la variable mesurée, d'autres arguments militent en faveur des indicateurs biologiques, même s'ils impliquent un plus grand effort de mesure, notamment en cas d'exposition cutanée de grande ampleur. Pour les pesticides et certains solvants organiques, l'exposition par voie cutanée peut être plus importante que l'exposition par voie pulmonaire. Un indicateur biologique d'exposition rendrait compte de cette voie de pénétration, alors qu'il est difficile de mesurer l'exposition cutanée et que les résultats ne sont pas faciles à interpréter (Boleij et coll., 1995). Des études anciennes effectuées sur des ouvriers agricoles, dont on a évalué l'exposition cutanée au moyen de «compresses», ont révélé une répartition étonnante des pesticides à la surface du corps, en fonction des tâches accomplies. Toutefois, vu le peu d'informations disponibles sur l'absorption des agents par la peau, il n'est pas encore possible d'utiliser des profils d'exposition pour estimer les doses internes.

Les indicateurs biologiques présentent également beaucoup d'intérêt pour l'épidémiologie du cancer. Lorsqu'un indicateur biologique est un marqueur précoce de l'effet, il peut s'avérer utile pour réduire la période du suivi. Sous réserve des études de validation nécessaires, les indicateurs biologiques de l'exposition ou de la sensibilité individuelle devraient en principe constituer d'excellents outils pour les études épidémiologiques et l'évaluation des risques.

### L'analyse de l'intervalle de temps

Parallèlement au développement de la modélisation pharmacocinétique, les épidémiologistes ont exploré de nouvelles approches de l'analyse des données, telle «l'analyse de la matrice temporelle», pour établir un rapport entre certaines périodes d'exposition et les maladies, ainsi que pour appliquer les effets des modèles temporels d'exposition ou de pics d'exposition à l'épidémiologie du cancer d'origine professionnelle (Checkoway et Rice, 1992). D'un point de vue conceptuel, l'analyse temporelle se rapproche de la modélisation pharmacocinétique étant donné que la relation entre exposition et effet y est optimisée par pondération en fonction des périodes, des conditions et des niveaux d'exposition. Dans la modélisation pharmacocinétique, on estime que ces pondérations ont une signification physiologique et elles sont donc définies préalablement. Dans l'analyse temporelle, elles sont estimées à partir des données disponibles sur la base de critères statistiques. Plusieurs études illustrent cette approche, notamment celle de Hodgson et Jones (1990) qui ont analysé la relation entre l'exposition au gaz radon et le cancer du poumon chez des ouvriers britanniques travaillant dans une mine d'étain, et celle de Seixas, Robins et Becker (1993) sur la relation entre l'exposition à la poussière et l'état respiratoire d'un groupe d'ouvriers américains travaillant dans une mine de charbon. Un autre travail très intéressant, de Peto et coll. (1982), souligne l'utilité d'une analyse de l'intervalle de temps. Il montre que, au sein d'un groupe d'ouvriers réalisant des travaux d'isolation, les taux de mortalité due au mésothéliome semblent être proportionnels à une certaine période de temps depuis la première exposition, ainsi qu'au cumul des expositions. Le temps écoulé depuis la première exposition est une variable particulièrement pertinente, car elle correspond approximativement au temps nécessaire à une fibre pour migrer de l'endroit où elle se trouve dans les poumons vers la

plèvre. Cet exemple montre comment la cinétique de dépôt et de migration détermine dans une grande mesure la fonction de risque. L'analyse temporelle peut toutefois poser un problème dans la mesure où elle nécessite des informations détaillées sur les périodes et les niveaux d'exposition, ce qui nuit à son application dans de nombreuses études sur les maladies chroniques.

### Conclusion

Les principes de la modélisation pharmacocinétique et de l'analyse de la matrice temporelle ou de l'intervalle de temps sont largement reconnus. Jusqu'à présent, les connaissances dans ce domaine ont surtout servi à mettre au point des stratégies d'évaluation de l'exposition. Il conviendrait de développer ces approches pour en faire une utilisation plus poussée, mais cela nécessite un effort de recherche considérable. Leurs applications restent donc limitées, même si certaines d'entre elles, relativement simples, comme l'élaboration de stratégies plus efficaces pour évaluer l'exposition en fonction de la maladie, sont maintenant plus répandues. En fait, le développement des indicateurs biologiques d'exposition achoppe sur un problème de validation. On considère souvent qu'un indicateur biologique mesurable est mieux à même de prévoir un risque pour la santé que toute autre méthode traditionnelle, mais il existe malheureusement très peu d'études pour démontrer le bien-fondé de cette opinion.

## ● LES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE

*Demis J. Paustenbach*

### Historique des valeurs limites d'exposition professionnelle

Au cours des quarante dernières années, beaucoup d'organisations, dans de nombreux pays, ont proposé des valeurs limites d'exposition professionnelle pour les contaminants en suspension dans l'air. Les limites ou directives qui se sont progressivement imposées, aux Etats-Unis comme dans la plupart des autres pays, sont celles que publie tous les ans la Conférence américaine des hygiénistes du travail (American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH)), sous le nom de TLV ou valeurs seuils (LaNier, 1984; Cook, 1986; ACGIH, 1994).

L'utilité des valeurs limites pour la surveillance et la limitation des agents potentiellement dangereux dans l'environnement de travail a été maintes fois démontrée depuis leur instauration (Stokinger, 1970; Cook, 1986; Doull, 1994). Leur contribution à la prévention ou à la diminution des cas de maladies est maintenant largement reconnue, mais ces valeurs limites n'ont pas toujours existé et, même après leur introduction, il a fallu du temps pour qu'elles soient vraiment respectées (Cook, 1945; Smyth, 1956; Stokinger, 1981; LaNier, 1984; Cook, 1986).

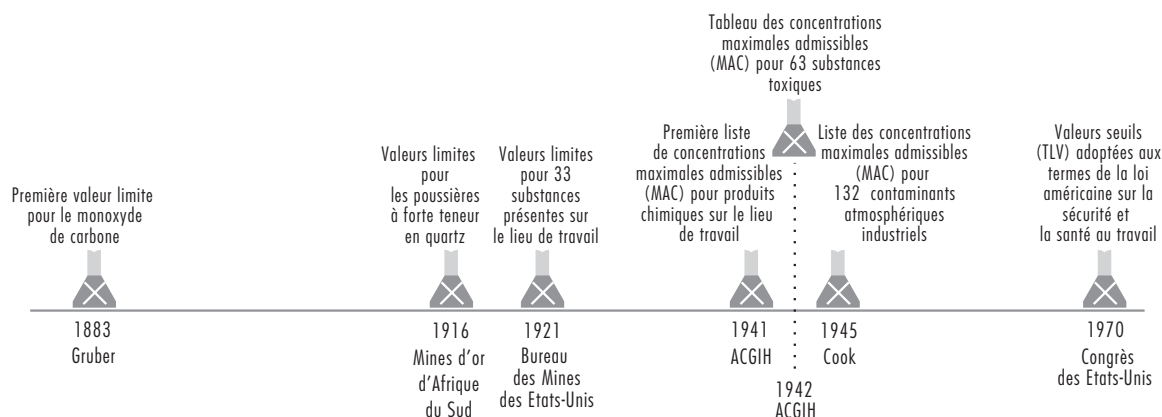
On s'était parfaitement rendu compte, dès le XV<sup>e</sup> siècle, que les poussières et les produits chimiques en suspension dans l'air pouvaient provoquer des maladies et des lésions, mais on ne savait pas encore très bien quelles étaient les concentrations et les durées d'exposition nécessaires à leur survenue (Ramazinni, 1700).

Comme le faisait remarquer Baetjer (1980), «au début du siècle, lorsque le docteur Alice Hamilton a débuté une carrière remarquable dans le domaine des maladies professionnelles, elle n'avait à sa disposition aucun échantillon d'air ni aucune norme, ce qui d'ailleurs n'était pas nécessaire. La simple observation des conditions de travail, des maladies dont souffraient les travailleurs et des cas de décès suffisait à prouver qu'il existait des expositions dangereuses. Très vite cependant, le besoin de définir des normes de sécurité d'exposition est apparu évident».

Les premiers efforts pour définir une valeur limite d'exposition se sont concentrés sur le monoxyde de carbone, gaz toxique le plus fréquemment rencontré en milieu de travail (la chronologie des valeurs limites d'exposition est illustrée à la figure 30.9). Les travaux de Max Gruber à l'Institut d'hygiène de Munich ont été publiés en 1883. Ils décrivent l'exposition de deux poules et de douze lapins à des concentrations connues de monoxyde de carbone pendant une durée maximale de 47 heures sur une période de 3 jours, avant de conclure que «la frontière de la nocivité du monoxyde de carbone se situe à une concentration qui, selon toute probabilité, est de 500 parties par million mais assurément pas inférieure à 200 parties par million». Pour en arriver là, Gruber a lui-même inhalé du monoxyde de carbone. Il n'a constaté aucun symptôme ni aucune sensation désagréable après une exposition de 3 heures par jour, pendant 2 jours consécutifs, à des concentrations de 210 parties par million et 240 parties par million (Cook, 1986).

Les premières séries d'expérimentations les plus complètes des valeurs limites d'exposition ont été menées sur des animaux par K.B. Lehmann et d'autres chercheurs travaillant sous sa direction. Dans un ensemble de publications échelonnées sur 50 ans, ils ont décrit les études menées sur des gaz tels que l'ammoniac et le

Figure 30.9 • Chronologie de l'établissement des valeurs limites d'exposition professionnelle



chlorure d'hydrogène, les hydrocarbures chlorés et un grand nombre d'autres substances chimiques (Lehmann, 1886; Lehmann et Schmidt-Kehl, 1936).

Kobert (1912) a publié un des premiers tableaux des valeurs limites pour les expositions aiguës, qui classait les concentrations de 20 substances comme suit: 1) rapidement mortelles pour l'humain et les animaux; 2) dangereuses entre une demi-heure et une heure d'exposition; 3) une demi-heure à une heure d'exposition sans troubles sérieux; 4) seuls quelques symptômes bénins observés au bout de quelques heures. Dans un article sur l'interprétation des valeurs limites admissibles, Schrenk (1947) remarque que les «valeurs indiquées pour l'acide chlorhydrique, l'acide cyanhydrique, l'ammoniac, le chlore et le brome, classées dans la catégorie 'seuls quelques symptômes bénins observés au bout de quelques heures' du tableau susmentionné de Kobert, correspondent aux concentrations maximales admissibles généralement acceptées de nos jours pour les expositions déclarées». Toutefois, les valeurs définies pour certains des solvants organiques les plus toxiques tels que le benzène, le tétrachlorure de carbone et le sulfure de carbone dépassent de beaucoup les limites actuellement utilisées (Cook, 1986).

L'un des premiers tableaux des valeurs limites d'exposition publié aux États-Unis est celui du Bureau of Mines (Bureau des Mines), qui répertorie 33 substances présentes en milieu de travail (Fieldner, Katz et Kenney, 1921). Comme le note Cook (1986), jusqu'aux années trente, la plupart des valeurs limites d'exposition, sauf pour les poussières, se fondaient sur des expérimentations animales d'assez courte durée. L'étude de Leonard Greenburg, du Service américain de la santé publique (US Public Health Service), sur l'exposition chronique au benzène constitue une exception notable à cet égard. Mené sous la direction d'un comité du Conseil national de la sécurité (National Safety Council (NSC)), ce travail a abouti à la définition d'une exposition admissible pour l'humain sur la base d'expérimentations animales de longue durée (National Safety Council, 1926).

D'après Cook (1986), les valeurs limites admissibles d'exposition à la poussière établies avant 1920 correspondaient à la situation des ouvriers travaillant dans les mines d'or d'Afrique du Sud, où les poussières provenant des opérations de forage avaient une teneur élevée en silice cristalline libre. En 1916, une valeur limite de 8,5 millions de particules par pied cube d'air (mppcf) a été fixée pour les poussières contenant 80 à 90% de quartz (Phthisis Prevention Committee, 1916). Ce niveau a été ensuite abaissé à 5 mppcf. Cook constate également qu'aux États-Unis, les normes relatives aux poussières, elles aussi calculées d'après l'exposition effective des travailleurs, ont été recommandées par Higgins et ses collègues à la suite d'une étude réalisée en 1917 dans les mines de zinc et de plomb du sud-ouest du Missouri. Le niveau initialement défini pour les poussières à forte teneur en quartz était de 10 mppcf, soit sensiblement plus élevé que celui établi à l'issue d'études ultérieures sur les poussières menées par le Service américain de la santé publique. En 1930, le ministère du Travail de l'URSS a publié un décret indiquant les concentrations maximales admissibles de 12 substances industrielles toxiques.

Jusqu'en 1926, la liste la plus complète de valeurs limites d'exposition professionnelle concernait 27 substances (Sayers, 1927). En 1935, Sayers et Dalle Valle ont publié une étude indiquant les réactions physiologiques à 5 concentrations de 37 substances, la cinquième étant la concentration maximale admissible pour une exposition prolongée. Dans leurs articles, Lehmann et Flury (1938), ainsi que Bowditch et coll. (1940), présentaient quant à eux des tableaux comportant une valeur unique pour les expositions répétées à chacune des substances.

Bon nombre des valeurs limites établies par Lehmann figuraient déjà dans une monographie initialement publiée en 1927 par Henderson et Haggard (1943), ainsi que dans *Schädliche Gase*

de Flury et Zernik (1931). D'après Cook (1986), cet ouvrage faisait alors autorité en ce qui concerne les effets des vapeurs, poussières et gaz nocifs sur le lieu de travail, et il en fut ainsi jusqu'à la publication du volume II de l'ouvrage classique de Patty, *Industrial Hygiene and Toxicology* (1949).

Les premières normes d'exposition relatives aux produits chimiques dans l'industrie, appelées concentrations maximales admissibles (Maximum Allowable Concentrations (MAC)), ont été élaborées en 1939 et 1940, d'un commun accord entre l'Association américaine de normalisation (American Standards Association (ASA)) et un certain nombre d'hygiénistes du travail qui avaient créé l'ACGIH en 1938 (Baetjer, 1980). Ces normes «recommandées» ont été publiées en 1943 par James Sterner. Un comité de l'ACGIH s'est réuni au début de l'année 1940 pour définir les niveaux admissibles d'exposition professionnelle aux produits chimiques, en rassemblant toutes les données établissant une relation entre le degré d'exposition à un toxique et la probabilité d'apparition d'effets nocifs (Stokinger, 1981; LaNier, 1984). Ce comité, composé de Warren Cook, Manfred Boditch (sans doute le premier hygiéniste employé par l'industrie aux États-Unis), William Fredrick, Philip Drinker, Lawrence Fairhall et Alan Dooley, a publié ses premiers résultats en 1941 (Stokinger, 1981).

En 1941, le comité Z-37 de l'ASA, laquelle deviendra plus tard l'Institut américain de normalisation (American National Standards Institute (ANSI)), a élaboré sa première norme limitant l'exposition au monoxyde de carbone à 100 ppm. En 1974, ce comité avait publié 33 normes d'exposition à des poussières et gaz toxiques.

Lors de l'assemblée annuelle de l'ACGIH, en 1942, la sous-commission sur les concentrations maximales admissibles, qui venait d'être créée, a présenté dans son rapport un tableau indiquant les «concentrations maximales admissibles dans l'air» de 63 substances toxiques, d'après les listes fournies par les différents services publics d'hygiène industrielle du pays. On pouvait y lire la précision suivante: «Les concentrations figurant dans le tableau ne sauraient être interprétées comme des valeurs sûres recommandées. Elles sont présentées sans commentaire» (Cook, 1986).

En 1945, Cook a publié une liste de 132 contaminants atmosphériques industriels avec leur concentration maximale admissible, comprenant les valeurs alors en vigueur dans six États, de même que les valeurs de référence proposées par des agences fédérales dans le cadre de la lutte contre les maladies professionnelles et les concentrations maximales admissibles qui semblaient alors les plus solidement étayées par des données d'enquête (Cook, 1986).

Lors de l'assemblée annuelle de l'ACGIH en 1946, la sous-commission sur les concentrations maximales admissibles a présenté son second rapport portant cette fois sur 131 gaz, vapeurs, poussières, fumées et brouillards et 13 poussières minérales. Les valeurs étaient tirées du premier tableau de 1942, de la liste établie par Warren Cook dans *Industrial Medicine* (1945) et des travaux publiés par le comité Z-37 de l'ASA. Comme le soulignait alors ce rapport, il était clairement entendu que la liste des concentrations maximales admissibles ferait l'objet d'une révision annuelle.

### Les conditions d'utilisation des valeurs limites d'exposition professionnelle

Les valeurs seuils (TLV) de l'ACGIH et la plupart des autres valeurs limites d'exposition utilisées aux États-Unis et dans d'autres pays s'appliquent à des substances en suspension dans l'air et représentent les conditions dans lesquelles «on estime que la quasi-totalité des travailleurs peuvent être exposés de façon répétée, jour après jour, sans effets nocifs pour leur santé» (ACGIH, 1994)



Tableau 30.2 • Valeurs limites d'exposition professionnelle dans différents pays (situation en 1986)

Pays/province	Type de norme
Allemagne	Dans ce pays, la valeur limite MAK est «la concentration maximale admissible d'un composé chimique présent dans l'air d'une zone de travail (sous forme de gaz, de vapeur ou de particule) qui, d'une façon générale, d'après les connaissances du moment, ne met pas en danger la santé des travailleurs et ne constitue pas une nuisance induite. Dans ces conditions, l'exposition peut être répétée et de longue durée, à raison de 8 heures par jour, pour une semaine de travail de 40 heures en moyenne (ou de 42 heures pendant 4 semaines successives dans les entreprises fonctionnant en 4 postes) [...] En matière de protection de la santé, ce sont les critères scientifiques qui prévalent sur les considérations pratiques, techniques ou économiques».
Argentine	Les valeurs limites d'exposition professionnelle sont, pour l'essentiel, les mêmes que les TLV publiées par l'ACGIH en 1978, la principale différence étant que pour les 144 substances (sur un total de 630) pour lesquelles l'ACGIH ne donne pas de valeur limite pour une exposition de courte durée (TLV-STEL), celles-ci sont remplacées par les valeurs moyennes pondérées dans le temps (TLV-TWA).
Australie	Le Conseil national australien de la santé et de la recherche médicale (NHMRC) a adopté en 1992 une édition révisée du document <i>Occupational Health Guide Threshold Limit Values (1990-91)</i> . Les valeurs limites d'exposition professionnelle n'ont pas de valeur légale en Australie, sauf lorsqu'un texte de loi y fait expressément référence. Les TLV de l'ACGIH sont publiées en annexe des guides australiens sur la santé au travail, lesquels sont révisés en même temps que les TLV, soit les années impaires.
Autriche	Les valeurs recommandées par le Comité d'experts de la Commission de protection des travailleurs pour l'évaluation des concentrations maximales admissibles (MAK), en collaboration avec l'Institut général de prévention des accidents du Syndicat des travailleurs de l'industrie chimique, sont considérées comme obligatoires par le ministère fédéral du Travail et des Affaires sociales. Elles sont appliquées par l'Inspection du travail aux termes de la loi sur la protection du travail.
Belgique	L'Administration de l'hygiène et de la médecine du travail du ministère de l'Emploi et du Travail se fonde sur les TLV de l'ACGIH pour l'établissement des valeurs limites d'exposition professionnelle.
Brésil	Depuis 1978, la législation brésilienne en matière de santé au travail utilise les TLV de l'ACGIH. La semaine de travail au Brésil étant habituellement de 48 heures, les valeurs de l'ACGIH ont été corrigées à l'aide d'une formule élaborée à cet effet. À l'époque où elle a été adoptée, la liste de l'ACGIH était limitée aux contaminants de l'air rencontrés dans tout le pays. Depuis, le ministère du Travail a fixé des valeurs pour d'autres contaminants conformément aux recommandations du Fundação Centro Nacional de Segurança, Higiene e Medicina do Trabalho.
Canada (provinces/territoires)	Chaque province dispose de sa propre réglementation.
Alberta	Les valeurs limites d'exposition professionnelle sont régies par la réglementation relative aux risques chimiques de la loi sur la santé et la sécurité au travail, aux termes de laquelle l'employeur doit s'assurer que les travailleurs ne sont pas soumis à des expositions supérieures aux limites autorisées.
Colombie-Britannique	Le règlement relatif à la sécurité et à la santé au travail dans l'industrie établit les prescriptions légales applicables à la majeure partie des activités industrielles de la province sur la base des TLV les plus récentes de l'ACGIH pour les contaminants atmosphériques.
Manitoba	La réglementation relative aux valeurs limites d'exposition professionnelle et son application relèvent du ministère de l'Environnement et de la Sécurité et de la Santé au Travail. Les critères actuellement retenus pour interpréter les risques sanitaires sont les TLV de l'ACGIH, à l'exception des substances cancérigènes pour lesquelles un niveau d'exposition zéro est fixé «dans la mesure où cela est raisonnablement possible».
Nouveau-Brunswick	Les normes applicables sont celles mentionnées dans la dernière publication de l'ACGIH; en cas d'infraction, ce sont celles en vigueur au moment de l'infraction qui s'appliquent.
Nouvelle-Ecosse	La liste des valeurs limites est celle publiée par l'ACGIH en 1976, compte tenu de ses modifications et révisions ultérieures.
Ontario	Les règlements relatifs à un certain nombre de substances dangereuses sont applicables aux termes de la loi sur la sécurité et la santé au travail, chacun faisant l'objet d'un livret séparé qui comprend le niveau d'exposition admissible et les codes pour les équipements de protection respiratoire, les techniques de mesure des concentrations des aérocontaminants et les méthodes de surveillance médicale.
Québec	Les valeurs d'exposition admissibles (PEL) sont semblables aux TLV de l'ACGIH et doivent être impérativement respectées pour les contaminants de l'air présents sur le lieu de travail.
Territoires du Nord-Ouest	La Division sécurité du ministère de la Justice des Territoires du Nord-Ouest réglemente la sécurité sur le lieu de travail pour les employés ne relevant pas de l'administration fédérale, conformément à la dernière édition des TLV de l'ACGIH.
Chili	La concentration maximale de 11 substances susceptibles d'avoir des effets aigus, graves ou mortels ne peut être dépassée même pendant un laps de temps très court. Les valeurs des normes chiliennes correspondent aux TLV de l'ACGIH auxquelles on applique un facteur de 0,8 pour une semaine de 48 heures.
Danemark	Les valeurs limites d'exposition professionnelle concernent 542 substances chimiques et 20 matières particulières. La législation oblige à respecter les moyennes pondérées dans le temps. Les normes danoises sont établies sur la base des données de l'ACGIH. Environ 25% des valeurs diffèrent de celles de l'ACGIH et sont un peu plus strictes, dans presque tous les cas.
Equateur	La législation équatorienne ne comporte aucune liste de niveaux d'exposition admissibles (PEL). En pratique, ce sont les TLV de l'ACGIH qui servent de référence pour l'hygiène industrielle.

Tableau 30.2 • Valeurs limites d'exposition professionnelle dans différents pays (situation en 1986)

Pays/province	Type de norme
Etats-Unis	Il existe au moins 6 sources différentes de valeurs limites d'exposition professionnelle: les TLV de l'ACGIH, les limites d'exposition recommandées (REL) du NIOSH, les limites d'exposition professionnelle (WEEL) de l'AIHA, les normes relatives aux aérocontaminants sur le lieu de travail du Comité Z-37 de l'ANSI, les guides de 1991 de l'Association américaine de santé publique (APHA), ainsi que les recommandations formulées par les administrations locales, régionales ou des Etats. En outre, le ministère du Travail publie des valeurs d'exposition admissibles (PEL) qui ont force de loi et dont l'application est assurée par l'OSHA.
Finlande	Les valeurs limites d'exposition professionnelle sont définies comme étant les concentrations jugées dangereuses au moins pour quelques travailleurs exposés pendant une longue période. L'ACGIH estime que presque tous les travailleurs peuvent être exposés à des concentrations inférieures aux TLV sans effet nocif, tandis qu'en Finlande, les expositions supérieures à la valeur limite sont considérées comme potentiellement dangereuses.
Irlande	Ce sont en principe les dernières TLV de l'ACGIH qui sont appliquées, mais leur liste ne figure pas dans la législation ou la réglementation nationales.
Pays-Bas	Les concentrations maximales admissibles MAC proviennent principalement de la liste de l'ACGIH, mais aussi de celles de la République fédérale d'Allemagne et du NIOSH aux Etats-Unis. On considère qu'elles correspondent «aux concentrations dans l'air du lieu de travail qui, d'après les connaissances du moment, ne sont généralement pas nocives pour les travailleurs ou leur descendance, après une exposition répétée et de longue durée, voire durant toute la vie professionnelle».
Philippines	Ce pays utilise les TLV de 1970 de l'ACGIH modifiées comme suit: 50 ppm pour le chlorure de vinyle et 0,15 mg/m <sup>3</sup> pour le plomb, les composés inorganiques, les fumées et les poussières.
Russie, Fédération de	L'ex-URSS avait établi nombre de ses valeurs limites dans le but d'éliminer tout effet sur la santé indésirable, même réversible. Ces réponses subcliniques, entièrement réversibles, aux expositions sur le lieu de travail ont été jusqu'à présent considérées comme trop restrictives pour être utilisées aux Etats-Unis et dans la plupart des autres pays. En fait, vu les difficultés techniques et économiques que pose le respect de niveaux aussi bas de contaminants de l'air sur le lieu de travail, il ne semble guère qu'ils aient été effectivement respectés dans les pays qui les ont adoptés. Il s'agirait donc davantage de normes idéales que d'obligations auxquelles les employeurs sont légalement ou moralement tenus de se conformer.

Source: Cook, 1986.

(voir tableau 30.2). Dans certains pays, la valeur limite d'exposition est fixée de façon à protéger pour ainsi dire tout le monde. Il est important de noter que, contrairement à certaines valeurs limites concernant les polluants de l'air ambiant, l'eau contaminée ou les additifs alimentaires, fixées par d'autres entités professionnelles ou organismes de réglementation, les TLV ne signifient pas que les personnes exposées ne ressentiront aucun inconfort ni aucun trouble (Adkins et coll., 1990). L'ACGIH reconnaît depuis longtemps déjà qu'en raison des très grandes différences de sensibilité individuelle, un faible pourcentage de travailleurs peuvent être gênés par certaines substances à des concentrations d'une valeur égale ou inférieure à la valeur limite, et qu'un nombre encore plus restreint d'entre eux peuvent même être touchés plus sérieusement du fait de l'aggravation d'un état préexistant ou de l'apparition d'une maladie professionnelle (Cooper, 1973; ACGIH, 1994). C'est ce que dit, en tout cas, très explicitement l'introduction de la brochure annuelle de l'ACGIH, *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices* (ACGIH, 1994).

Cette restriction, que l'on peut certes déplorer, est toutefois jugée pratique dans la mesure où l'on considère généralement irréaliste, pour des raisons techniques ou économiques, de fixer les concentrations maximales de substances en suspension dans l'air à des niveaux suffisamment bas pour protéger les travailleurs hypersensibles. Jusque vers 1990, personne ne s'est vraiment préoccupé de cette situation, mais avec les progrès remarquables accomplis depuis le milieu des années quatre-vingt sur le plan tant des moyens analytiques que des dispositifs de surveillance/d'échantillonnage individuel et des techniques de surveillance biologique, sans parler de la robotisation de la maîtrise des risques, nous sommes désormais capables, d'un point de vue technologique, d'envisager des limites d'exposition professionnelle plus rigoureuses.

Les données de référence et les principes retenus pour le calcul de chaque valeur seuil (TLV) sont publiés régulièrement dans *Documentation of the Threshold Limit Values* (ACGIH, 1995). Certains documents sont parfois disponibles sur les valeurs limites définies dans les autres pays. Avant d'interpréter ou d'ajuster une limite d'exposition donnée, il faut toujours consulter la documentation qui s'y rapporte, ainsi que les données à partir desquelles elle a été fixée (ACGIH, 1994).

Les TLV sont définies à l'aide des meilleures informations fournies aussi bien par l'expérience acquise dans l'industrie que par les études expérimentales réalisées sur l'humain et l'animal (Smith et Olshifski, 1988; ACGIH, 1994). L'analyse préalable au choix des valeurs limites varie d'une substance à l'autre. Ainsi, la protection contre une atteinte pathologique sera le facteur déterminant dans certains cas, alors que dans d'autres, ce sera l'absence d'irritation, de narcose, de nuisance ou de toute autre forme d'agression. Les informations dont on dispose pour définir les valeurs limites d'exposition professionnelle sont également plus ou moins récentes et plus ou moins complètes selon les substances; par conséquent, les TLV n'ont pas toutes la même précision. Il faut toujours consulter la TLV la plus récente et la documentation correspondante (ou son équivalent) afin d'évaluer la qualité des données sur lesquelles elle repose.

Bien que toutes les publications contenant des valeurs limites insistent sur le fait que ces normes sont uniquement destinées à sécuriser l'exposition sur le lieu de travail, elles ont parfois été utilisées à d'autres fins. C'est pourquoi toutes les valeurs limites doivent être interprétées et appliquées exclusivement par une personne compétente en hygiène industrielle et en toxicologie. Le comité des TLV (ACGIH, 1994) ne voulait pas qu'elles soient utilisées ou modifiées en vue d'être utilisées:

- comme indice relatif du risque ou de la toxicité;

- pour évaluer la pollution de l'air hors du lieu de travail;
- pour évaluer les risques d'une exposition ininterrompue ou prolongée;
- pour confirmer ou infirmer l'existence d'une maladie ou d'une affection;
- pour être adoptées dans des pays où les conditions de travail ne sont pas les mêmes qu'aux Etats-Unis.

Le comité des TLV et les autres organes qui établissent des valeurs limites d'exposition professionnelle précisent bien que ces valeurs ne devraient pas «être utilisées directement», ni faire l'objet d'une extrapolation à d'autres environnements. Toutefois, si l'on comprend le raisonnement scientifique qui justifie la directive et si l'on sait extrapoler correctement les données, on peut les utiliser pour déterminer des niveaux d'exposition admissibles dans un grand nombre de situations professionnelles différentes (ACGIH, 1994; Hickey et Reist, 1979).

### **La conception des valeurs limites d'exposition professionnelle**

A l'origine, les TLV étaient réservées à l'usage des hygiénistes du travail, qui pouvaient les appliquer en disposant d'une certaine marge d'appréciation. Elles ne devaient pas être utilisées à des fins juridiques (Baetjer, 1980). Cependant, en 1968, la loi américaine Walsh-Healey a conféré un caractère légal aux TLV alors en vigueur, qui concernaient environ 400 produits chimiques. En outre, lorsque la loi sur la sécurité et la santé au travail a été adoptée aux Etats-Unis, il est devenu obligatoire que toutes les normes soient issues d'un consensus national ou établies à l'échelon fédéral.

Les valeurs limites d'exposition aux polluants atmosphériques sur le lieu de travail reposent sur le principe selon lequel, bien que toutes les substances chimiques soient toxiques à une certaine concentration lorsqu'on y est exposé pendant quelque temps, il existe pour chacune d'elles une concentration (ou dose) qui ne peut produire aucun effet nocif, quelle que soit la fréquence d'exposition. Ce principe s'applique aux substances ayant des effets limités du type irritation, narcose, nuisance ou autre forme d'agression (Stokinger, 1981; ACGIH, 1994).

Cette conception diffère donc de celle qui s'applique aux agents physiques tels que les rayonnements ionisants et à quelques cancérigènes chimiques pour lesquels il n'existe peut-être pas de seuil ou de dose ne comportant aucun risque (Stokinger, 1981). La question des effets de seuil est au centre d'une controverse qui divise les scientifiques les plus renommés (Seiler, 1977; Watanabe et coll., 1980; Stott et coll., 1981; Butterworth et Slaga, 1987; Bailer et coll., 1988; Wilkinson, 1988; Bus et Gibson, 1994). C'est pourquoi certaines valeurs limites d'exposition professionnelle proposées par les organismes de réglementation au début des années quatre-vingt ont été fixées à des niveaux qui, bien que n'étant pas tout à fait sans danger, n'impliquaient pas de risques plus grands que les risques professionnels habituels tels qu'électrocution, chute, etc. Même dans les environnements où aucun produit chimique industriel n'est utilisé, le risque global d'accident mortel sur le lieu de travail est d'environ un pour mille. Telle est la logique qui a présidé au choix d'un critère de risque de cancer théorique dans la définition des TLV applicables aux cancérigènes chimiques (Rodricks, Brett et Wrenn, 1987; Travis et coll., 1987).

Les valeurs limites établies aussi bien aux Etats-Unis qu'ailleurs ont de nombreuses sources. Les TLV de 1968, que la loi sur la sécurité et l'hygiène du travail votée en 1970 a converties en réglementation fédérale, reposaient en grande partie sur l'expérience humaine. Cette situation peut paraître surprenante pour de nombreux hygiénistes qui exercent cette profession depuis peu, mais il est vrai que dans la plupart des cas, c'est seulement après

avoir découvert qu'une substance était toxique, provoquait des irritations ou avait d'autres effets indésirables chez l'humain que l'on a décidé d'adopter une limite d'exposition. Comme on pouvait s'y attendre, parmi les valeurs limites récentes concernant les produits toxiques systémiques, notamment les limites définies par les fabricants, beaucoup ont été fixées pour l'essentiel sur la base de tests toxicologiques menés sur des animaux, sans que l'on ait attendu de constater la nocivité des substances en question pour les personnes exposées (Paustenbach et Langner, 1986). Dès 1945, le comité des TLV a reconnu que les tests sur les animaux étaient très précieux: ils constituent en effet la deuxième grande source d'information ayant servi à l'élaboration de directives (Stokinger, 1970).

Plusieurs approches ont été proposées et employées au cours des 40 dernières années pour déterminer les valeurs limites à partir des données tirées de l'expérimentation animale. La démarche employée par le comité des TLV et par d'autres n'est pas fondamentalement différente de celle qui a permis à l'Administration fédérale de contrôle des denrées alimentaires et des produits pharmaceutiques (Food and Drug Administration (FDA)) aux Etats-Unis d'établir des niveaux d'apport journalier admissibles pour les additifs alimentaires. Une bonne compréhension de cette démarche peut s'avérer très précieuse pour les hygiénistes du travail chargés d'interpréter ces valeurs limites (Dourson et Stara, 1983).

Diverses approches méthodologiques permettant de définir des limites d'exposition professionnelle uniquement sur la base de données provenant d'essais sur les animaux ont également été présentées (Weil, 1972; OMS et BIT, 1977; Zielhuis et van der Kreek; 1979a, 1979b; Calabrese, 1983; Dourson et Stara, 1983; Leung et Paustenbach, 1988a; Finley et coll., 1992; Paustenbach, 1995). Bien qu'elles comportent un certain degré d'incertitude, elles semblent bien meilleures que l'extrapolation qualitative de l'animal à l'humain.

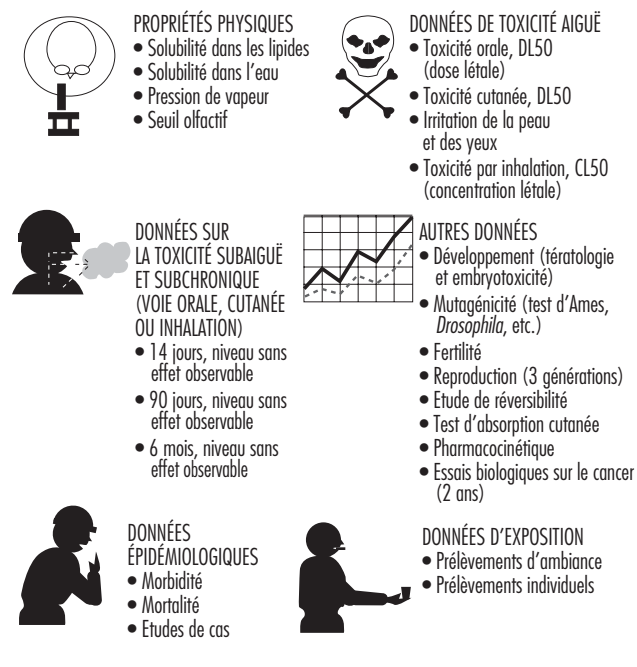
Environ 50% des TLV de 1968 étaient fondées sur des données humaines et environ 30% sur des données animales. En 1992, ces TLV découlaient essentiellement pour près de 50% de l'expérimentation animale. Les critères utilisés pour établir les TLV peuvent être classés en quatre groupes: morphologique, fonctionnel, biochimique et divers (nuisance, confort). La plupart des TLV qui reposent sur des données humaines ont été établies à partir de l'observation des effets produits sur des personnes exposées pendant plusieurs années. Autrement dit, la plupart des TLV existantes résultent de la surveillance de l'exposition professionnelle, complétée par des données d'observation qualitatives et quantitatives sur la réaction du corps humain à la contamination (Stokinger, 1970; Park et Snee, 1983). Par contre, les TLV récemment définies pour de nouveaux produits chimiques font davantage appel aux essais sur l'animal qu'à l'expérience humaine (Leung et Paustenbach, 1988b; Leung et coll., 1988).

Il est intéressant de noter qu'en 1968 environ 50% seulement des TLV avaient avant tout pour but d'empêcher les effets toxiques systémiques. Quelque 40% concernaient les problèmes d'irritation et environ 2% visaient à prévenir le cancer. En 1993, les proportions correspondantes étaient d'environ 50%, 35% et 5%, respectivement. La figure 30.10 résume les données fréquemment utilisées dans l'élaboration des valeurs limites d'exposition professionnelle.

### **Les limites applicables aux irritants**

Avant 1975, les valeurs limites d'exposition professionnelle établies pour prévenir les phénomènes d'irritation étaient en grande partie le fruit d'essais sur l'humain. Depuis lors, plusieurs modèles d'expérimentation animale ont été mis au point (Kane et Alarie, 1977; Alarie, 1981; Abraham et coll., 1990; Nielsen, 1991). Un autre modèle basé sur des caractéristiques chimiques a été utilisé

Figure 30.10 • Données contribuant à l'élaboration d'une valeur limite d'exposition professionnelle



pour définir des valeurs préliminaires pour les acides et les bases organiques (Leung et Paustenbach, 1988a).

### Les limites applicables aux substances cancérigènes

En 1972, le comité de l'ACGIH a commencé à faire la distinction entre les produits cancérigènes pour l'humain et pour l'animal dans sa liste de TLV. D'après Stokinger (1977), l'une des raisons de cette distinction était d'amener les participants aux discussions (représentants des syndicats, travailleurs et public) à se concentrer sur les produits chimiques auxquels les travailleurs étaient le plus susceptibles d'être exposés sur leur lieu de travail.

### L'efficacité des valeurs limites d'exposition

A partir de 1988, de nombreuses personnes se sont interrogées sur l'efficacité des TLV au regard de leur objectif de protection de la santé. La question clé était de savoir quel pourcentage de la population active était véritablement protégée en cas d'exposition aux concentrations définies par les normes.

Pour Castleman et Ziem (1988) et Ziem et Castleman (1989), les TLV n'avaient pas de véritable base scientifique et les hygiénistes qui les formulaient étaient liés aux industries soumises à la réglementation.

Ces critiques ont déclenché un vaste débat entre partisans et détracteurs des travaux de l'ACGIH (Finklea, 1988; Paustenbach, 1990a, 1990b, 1990c; Tarlau, 1990). Dans une étude ultérieure, Roach et Rappaport (1990) ont tenté de quantifier la marge de sécurité et la validité scientifique des TLV. Ils sont arrivés à la conclusion qu'il existait de sérieuses contradictions entre les données scientifiques disponibles et l'interprétation proposée par le comité des TLV dans sa *Documentation* de 1976, et que les normes reflétaient probablement ce qui était jugé réaliste et réalisable à un moment donné. L'ACGIH a répondu à l'analyse de Roach et Rappaport comme à celle de Castleman et Ziem en soulignant l'inexactitude des faits reprochés.

On débatterait sans doute encore longtemps du bien-fondé de l'analyse de Roach et Rappaport, ou encore de celle de Castle-

man et Ziem, mais il est clair que le processus de définition des TLV et d'autres valeurs limites d'exposition ne sera probablement jamais ce qu'il était entre 1945 et 1990. Dans les années à venir, la documentation de ces normes sera sans doute plus explicite quant à leur raison d'être et au degré de risque encouru. D'autre part, il est certain que des notions telles que «pratiquement sans danger», ou «risque insignifiant» changeront de sens à mesure qu'évolueront les valeurs de la société (Paustenbach 1995, 1997).

Le durcissement des TLV ou autres valeurs limites d'exposition que l'on pourra sans aucun doute constater prochainement sera fonction du type d'effet sur la santé qu'il s'agit d'empêcher (dépression du système nerveux central, toxicité aiguë, odeur, irritation, effets sur le développement, ou autres). Toutefois, il est difficile de savoir dans quelle mesure le comité des TLV aura recours aux divers modèles de prévision de la toxicité ou encore quels critères de risque il adoptera le siècle prochain.

### La normalisation et les horaires de travail aménagés

On ne sait pas encore très bien dans quelle mesure le travail posté affecte les capacités d'un travailleur, sa longévité, sa mortalité et son bien-être en général. Des postes et horaires de travail dits aménagés ont été mis en place dans plusieurs industries en vue d'éliminer, ou tout au moins d'atténuer, certains des problèmes provoqués par l'organisation classique du travail en trois périodes de 8 heures. L'une des formules adoptées consiste à définir des périodes de travail d'une durée supérieure à 8 heures et à comprimer le nombre de jours ouvrés par semaine (par exemple, 12 heures par jour, 3 jours par semaine). On peut aussi aménager l'horaire de travail de manière à fractionner l'exposition à un agent chimique ou physique donné (par exemple, cinq fois 30 minutes par jour avec un intervalle d'une heure entre les expositions). Enfin, il existe des situations qualifiées de «cas critiques» qui entraînent une exposition permanente à un contaminant de l'air (par exemple, dans un véhicule spatial ou dans un sous-marin).

La semaine de travail comprimée a principalement cours dans le cadre d'activités non manufacturières. Elle concerne le travail à temps complet (40 heures par semaine) effectué sur moins de 5 jours par semaine. Les variantes les plus courantes sont: *a)* 10 heures par jour, 4 jours par semaine; *b)* 12 heures par jour, 3 jours par semaine; *c)* une semaine de travail de 4½ jours comprenant 4 journées de 9 heures et une journée de 4 heures (en principe le vendredi); *d)* la formule dite des 5/4, 9, consistant à alterner des semaines de travail de 4 et 5 jours à raison de 9 heures de travail par jour (Nollen et Martin, 1978; Nollen, 1981).

Environ 5% seulement de la population active américaine a un horaire de travail aménagé. Parmi ces 5%, seules quelque 50 000 à 200 000 personnes travaillent dans des industries où elles sont constamment exposées à de fortes concentrations de produits chimiques en suspension dans l'air. On estime qu'au Canada les travailleurs en contact avec des substances chimiques sont proportionnellement plus nombreux à bénéficier d'horaires de travail aménagés (Paustenbach, 1994).

### Comment fixer des valeurs limites d'exposition professionnelle internationales

Comme le note Lundberg (1994), tous les comités nationaux de normalisation se heurtent au problème que pose la définition d'une approche scientifique commune. Une initiative internationale serait pourtant profitable en la matière, étant donné que la rédaction de documents relatifs aux critères adoptés est un processus long et coûteux (Paustenbach, 1995).

Ce projet a conduit le Conseil des ministres des pays nordiques (Nordic Council of Ministers) à créer en 1977 le groupe d'experts



des pays nordiques (NEG) chargé de mettre au point les documents de référence devant servir de base scientifique à l'élaboration des valeurs limites d'exposition professionnelle dans les cinq pays concernés (Danemark, Finlande, Islande, Norvège et Suède). Ces documents ont abouti à la définition d'un effet critique, à savoir celui que provoque l'exposition la plus basse, ainsi que des relations dose-réponse/dose-effet. L'effet critique en question est l'effet nocif qui apparaît à l'exposition la plus faible. Les facteurs de sécurité n'y sont pas pris en compte et aucune valeur chiffrée n'est proposée. Depuis 1987, les documents critères du NEG sont également publiés en anglais une fois par an.

Lundberg (1994) préconise quant à lui une approche uniforme pour tous les pays, sur la base d'un document normalisé comme suit:

- un document «critères» normalisé devrait refléter les dernières connaissances disponibles telles qu'elles sont relatées dans les publications scientifiques;
- les études et travaux utilisés devraient de préférence avoir fait l'objet d'examen par des scientifiques, ou au moins être publiquement disponibles. Il faut éviter les communications personnelles. Une ouverture sur le grand public, en particulier en direction des travailleurs, devrait contribuer à atténuer les réactions de méfiance comme celles que l'on a récemment constatées à l'égard des documents publiés par l'ACGIH;
- le comité scientifique devrait être composé de chercheurs indépendants venant des milieux universitaires ou d'organismes publics. S'il compte des scientifiques issus de l'industrie, ceux-ci devraient représenter les travailleurs et les employeurs;
- toutes les études épidémiologiques et expérimentales pertinentes devraient être examinées avec soin par le comité scientifi-

que, notamment les «études clés» fournissant des données sur l'effet critique. Tous les effets observés devraient être décrits;

- les possibilités de surveillance environnementale et biologique devraient être signalées. Il serait également nécessaire d'examiner en détail ces données, y compris les données toxicocinétiques;
- si les données le permettent, les relations dose-réponse et dose-effet devraient être indiquées. Un niveau sans effet observable (No Observable Effect Level — NOEL) ou le niveau d'effet observable le plus bas (Lowest Observable Effect Level — LOEL) devrait être spécifié dans la conclusion pour chaque effet observé. Si nécessaire, il faut expliquer pourquoi l'on considère tel ou tel effet comme étant l'effet critique, de manière à prendre en considération sa signification toxicologique;
- les propriétés mutagènes, cancérigènes et tératogènes devraient en particulier être signalées, ainsi que les effets allergiques et immunitaires;
- toutes les études utilisées devraient être référencées. S'il est précisé dans le document que seules les études pertinentes ont été utilisées, il n'est pas nécessaire de fournir les références non utilisées ni de préciser pourquoi elles ne l'ont pas été. Par contre, il peut être intéressant de dresser la liste des bases de données utilisées dans la recherche documentaire.

Dans la pratique, les pays qui élaborent des valeurs limites d'exposition professionnelle procèdent tous à peu près de la même façon. Il devrait donc être relativement facile de se mettre d'accord sur un modèle de document de référence normalisé contenant les informations clés. Le choix de la marge de sécurité à inclure dans les valeurs limites serait ensuite fonction des décisions prises dans chaque pays.

## Références bibliographiques

- Abraham, M.H., Whiting, G.S., Alarie Y. et coll., 1990: «Hydrogen bonding 12. A new QSAR for upper respiratory tract irritation by airborne chemicals in mice», *Quantitative Structure-Activity Relationships*, vol. 9, pp. 6-10.
- Adkins, L.E. et coll., 1990: «Letter to the Editor», *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 5, n° 1, pp. 748-750.
- Alarie, Y., 1981: «Dose response analysis in animal studies: Prediction of human responses», *Environmental Health Perspectives*, vol. 42, pp. 9-13.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1994: *1993-1994 Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices* (Cincinnati).
- , 1995: *Documentation of the Threshold Limit Values* (Cincinnati).
- Atherly, G.A., 1985: «A critical review of time-weighted average as an index of exposure and dose, and of its key elements», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 46, n° 9, pp. 481-487.
- Bactjer, A.M., 1980: «The early days of industrial hygiene: Their contribution to current problems», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 41, n° 11, pp. 773-777.
- Bailer, J.C., Crouch, E.A.C., Shaikh, R. et Spiegelman, D., 1988: «One-hit models of carcinogenesis: Conservative or not?», *Risk Analysis*, vol. 8, pp. 485-490.
- Bogers, M., Appelman, L.M., Feron, V.J. et coll., 1987: «Effects of the exposure profile on the inhalation toxicity of carbon tetrachloride in male rats», *Journal of Applied Toxicology*, vol. 7, pp. 185-191.
- Bolcjj, J.S.M., Buringh, E., Heederik, D. et Kromhout H., 1995: *Occupational Hygiene for Chemical and Biological Agents* (Amsterdam, Elsevier).
- Bouyer, J. et Hémon, D., 1993: «Studying the performance of a job exposure matrix», *International Journal of Epidemiology*, vol. 22, n° 6, supplément n° 2, pp. S65-S71.
- Bowditch, M., Drinker, D.K., Drinker, P., Haggard, H.H. et Hamilton, A., 1940: «Code for safe concentrations of certain common toxic substances used in industry», *Journal of Industrial Hygiene and Toxicology*, vol. 22, p. 251.
- Burdorf, A., 1995: *Certification of Occupational Hygienists — A Survey of Existing Schemes Throughout the World* (Stockholm, IOHA).
- Bus, J.S. et Gibson, J.E., 1994: «Body defense mechanisms to toxicant exposure», dans L.J. Cralley, L.V. Cralley et J.S. Bus (directeurs de publication): *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, vol. III, partie B (New York, Wiley).
- Butterworth, B.E. et Slaga, T., 1987: *Nongenotoxic Mechanisms in Carcinogenesis: Banbury Report 25* (Cold Spring Harbor, New York, Cold Spring Harbor Laboratory).
- Calabrese, E.J., 1983: *Principles of Animal Extrapolation* (New York, Wiley).
- Casarett, L.J., 1980, dans J. Doull, C.D.: Klaassen et M.O. Amdur (directeurs de publication): *Casarett and Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (New York, Macmillan).
- Castleman, B.I. et Ziem, G.E., 1988: «Corporate influence on Threshold Limit Values», *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 13, n° 5.
- Checkoway, H. et Rice, C.H., 1992: «Time-weighted averages, peaks, and other indices of exposure in occupational epidemiology», *ibid.*, vol. 21, pp. 25-33.
- Comité européen de normalisation (CEN), 1994: *Workplace Atmospheres — Guidance for the Assessment of Exposure to Chemical Agents for Comparison with Limit Values and Measurement Strategy*, norme européenne EN 689, Comité technique 137 (Bruxelles).
- Commission internationale de la santé au travail (CIST), 1985: «Invited lectures of the XXI International Congress on Occupational Health, Dublin», *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 11, n° 3, pp. 199-206.
- Cook, W.A., 1945: «Maximum allowable concentrations of industrial contaminants», *Industrial Medicine*, vol. 14, n° 11, pp. 936-946.
- , 1986: *Occupational Exposure Limits — Worldwide* (Akron, Ohio, American Industrial Hygiene Association).
- Cooper, W.C., 1973: «Indicators of susceptibility to industrial chemicals», *Journal of Occupational Medicine*, vol. 15, n° 4, pp. 355-359.
- Corn, M., 1985: «Strategies for air sampling», *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health*, vol. 11, pp. 173-180.
- Dinardi, S.R., 1995: *Calculation Methods for Industrial Hygiene* (New York, Van Nostrand Reinhold).
- Doull, J., 1994: «The ACGIH Approach and Practice», *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 9, n° 1, pp. 23-24.
- Dourson, M.J. et Stara, J.F., 1983: «Regulatory history and experimental support of uncertainty (safety) factors», *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 3, pp. 224-238.
- Droz, P.O., 1991: «Quantification of concomitant biological and air monitoring results», *Applied Industrial Hygiene*, vol. 6, pp. 465-474.
- , 1992: «Quantification of biological variability», *Annals of Occupational Health*, vol. 36, pp. 295-306.
- Fieldner, A.C., Katz, S.H. et Kenney, S.P., 1921: *Gas Masks for Gases Met in Fighting Fires*, bulletin n° 248 (Pittsburgh, US Bureau of Mines).

- Finklea, J.A., 1988: «Threshold limit values: A timely look», *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 14, n° 2, pp. 211-212.
- Finley, B., Proctor, D. et Paustenbach, D.J., 1992: «An alternative to the USEPA's proposed inhalation reference concentration for hexavalent and trivalent chromium», *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 16, pp. 161-176.
- Fiserova-Bergerova, V., 1987: «Development of using BEIs and their implementation», *Applied Industrial Hygiene*, vol. 2, pp. 87-92.
- Flury, F. et Zernik, F., 1931: *Schädliche Gase, Dämpfe, Nebel, Rauch- und Staubarten* (Berlin, Springer).
- Goldberg, M., Kromhout, H., Guénel, P., Fletcher, A.C., Gérin, M., Glass, D.C., Heederik, D., Kauppinen, T. et Ponté, A., 1993: «Job exposures matrices in industry», *International Journal of Epidemiology*, vol. 22, n° 6, supplément n° 2, pp. S10-S15.
- Gressel, M.G. et Gideon, J.A., 1991: «An overview of process hazard evaluation techniques», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 52, n° 4, pp. 158-163.
- Henderson, Y. et Haggard, H.H., 1943: *Noxious Gases and the Principles of Respiration Influencing their Action* (New York, Van Nostrand Reinhold).
- Hickey, J.L.S. et Reist, P.C., 1979: «Adjusting occupational exposure limits for moonlighting, overtime, and environmental exposures», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 40, n° 8, pp. 727-733.
- Hodgson, J.T. et Jones, R.D., 1990: «Mortality of a cohort of tin miners 1941-1986», *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 47, pp. 665-676.
- Holzner, C.L., Hirsh, R.B. et Perper, J.B., 1993: «Managing workplace exposure information», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 54, n° 1, pp. 15-21.
- Houba, R., Heederik, D., Dockes, G. et van Run, P.E.M., 1996: «Exposure sensitization relationship for alpha-amylase allergens in the baking industry», *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, vol. 154, n° 1, pp. 130-136.
- Jacobs, R.J., 1992: *Strategies to Recognize Biological Agents in the Work Environment and Possibilities for Setting Standards for Biological Agents*, IOHA First International Science Conference (Bruxelles, 7-9 déc.).
- Jahr, J., 1974: «Dose-response basis for setting a quartz threshold limit value», *Archives of Environmental Health*, vol. 9, pp. 338-340.
- Kane, L.E. et Alarie, Y., 1977: «Sensory irritation to formaldehyde and acrolein during single and repeated exposures in mice», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 38, n° 10, pp. 509-522.
- Kobert, R., 1912: «The smallest amounts of noxious industrial gases which are toxic and the amounts which may perhaps be endured», *Compendium of Practical Toxicology*, vol. 5, p. 45.
- Kromhout, H., Symanski, E. et Rappaport, S.M., 1993: «Comprehensive evaluation of within-and between-worker components of occupational exposure to chemical agents», *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 37, pp. 253-270.
- LaNier, M.E., 1984: *Threshold Limit Values: Discussion and 35 Year Index with Recommendations (TLVs: 1946-81)* (Cincinnati, ACGIH).
- Lehmann, K.B., 1886: «Experimentelle Studien über den Einfluss technisch und hygienisch wichtiger Gase und Dämpfe auf Organismus: Ammoniak und Salzsäuregas», *Archives of Hygiene*, vol. 5, pp. 1-12.
- Lehmann, K.B. et Flury, F., 1938: *Toxikologie und Hygiene der technischen Lösungsmittel* (Berlin, Springer).
- Lehmann, K.B. et Schmidt-Kehl, L., 1936: «Die 13 wichtigsten Chlorkohlenwasserstoffe der Fettreihe vom Standpunkt der Gewerbehgiene», *Archives für Hygiene und Bakteriologie*, vol. 116, pp. 131-268.
- Leidel, N.A., Busch, K.A. et Lynch, J.R., 1977: *NIOSH Occupational Exposure Sampling Strategy Manual* (Washington, DC).
- Leung, H.W., Murray F.J. et Paustenbach, D.J., 1988: «A proposed occupational exposure limit for 2, 3, 7, 8-TCDD», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 49, n° 9, pp. 466-474.
- Leung, H.W. et Paustenbach, D.J., 1988a: «Setting occupational exposure limits for irritant organic acids and bases based on their equilibrium dissociation constants», *Applied Industrial Hygiene*, vol. 3, pp. 115-118.
- . 1988b: «Application of pharmacokinetics to derive biological exposure indexes from threshold limit values», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 49, n° 9, pp. 445-450.
- Lundberg, P., 1994: «National and international approaches to occupational standard setting within Europe», *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 9, pp. 25-27.
- Lynch, J.R., 1994: «Measurement of worker exposure», dans *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, op. cit., vol. III, partie A.
- Maslansky, C.J. et Maslansky, S.P., 1993: *Air Monitoring Instrumentation* (New York, Van Nostrand Reinhold).
- Menzel, D.B., 1987: «Physiological pharmacokinetic modelling», *Environmental Science and Technology*, vol. 21, pp. 944-950.
- Miller, F.J. et Overton, J.H., 1989: «Critical issues in intra- and interspecies dosimetry of ozone», dans T. Schneider, S.D. Lee, G.J.R. Wolters et L.D. Grant (directeurs de publication): *Atmospheric Ozone Research and its Policy Implications* (Amsterdam, Elsevier).
- National Safety Council (NSC), 1926: *Final Report of the Committee of the Chemical and Rubber Sector on Benzene* (Washington, DC, National Bureau of Casualty and Surety Underwriters).
- Ness, S.A., 1991: *Air Monitoring for Toxic Exposures* (New York, Van Nostrand Reinhold).
- Nielsen, G.D., 1991: «Mechanisms of activation of the sensory irritant receptor», *CRC Critical Reviews in Toxicology*, vol. 21, pp. 183-208.
- Nollen, S.D., 1981: «The compressed workweek: Is it worth the effort?», *Ing. Eng.*, pp. 58-63.
- Nollen, S.D. et Martin, V.H., 1978: *Alternative Work Schedules. Part 3: The Compressed Workweek* (New York, AMACOM).
- Olishifski, J.B., 1988: «Administrative and clinical aspects in the chapter Industrial Hygiene», dans C. Zenz (directeur de publication): *Occupational Medicine: Principles and Practical Applications* (Chicago, Year Book Medical).
- Organisation mondiale de la santé (OMS) et Bureau international du Travail (BIT), 1977: *Methods used in Establishing Permissible Levels in Occupational Exposure to Harmful Agents*, Technical Report No. 601 (Genève, OMS).
- . 1992a: *Notre planète, notre santé: rapport de la Commission de l'OMS sur la santé et l'environnement* (Genève).
- . 1992b: *Occupational Hygiene in Europe: Development of the Profession*, European Occupational Health Series n° 3 (Copenhague, Bureau régional de l'Europe).
- Panett, B., Coggon, D. et Acheson, E.D., 1985: «Job exposure matrix for use in population based studies in England and Wales», *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 42, pp. 777-783.
- Park, C. et Snee, R., 1983: «Quantitative risk assessment: State of the art for carcinogenesis», *Fundamental and Applied Toxicology*, vol. 3, pp. 320-333.
- Patty, F.A., 1949: *Industrial Hygiene and Toxicology*, vol. II (New York, Wiley).
- Paustenbach, D.J., 1990a: «Health risk assesment and the practice of industrial hygiene», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 51, n° 7, pp. 339-351.
- . 1990b: «Occupational exposure limits: Their critical role in preventative medicine and risk management», *ibid.*, vol. 51, n° 5, pp. A332-A336.
- . 1990c: *What does the Risk Assessment Process tell us about the TLVs?*, communication présentée à la 1990 Joint Conference on Industrial Hygiene, Vancouver, British Columbia, 24 oct.
- . 1994: «Occupational exposure limits, pharmacokinetics, and unusual workshifts», dans *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, vol. IIIA, 4<sup>e</sup> édition (New York, Wiley).
- . 1995: «The practice of health risk assessment in the United States (1975-1995): How the US and other countries can benefit from that experience», *Human and Ecological Risk Assessment*, vol. 1, pp. 29-79.
- . 1997: «OSHA's program for updating the permissible exposure limits (PELs): Can risk assessment help 'move the ball forward'?», *Risk in Perspectives*, vol. 5, n° 1, pp. 1-6, Harvard University School of Public Health.
- Paustenbach, D.J. et Langner, R.R., 1986: «Corporate occupational exposure limits: The current state of affairs», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 47, n° 12, pp. 809-818.
- Peto, J., Seidman, H. et Selikoff, I.J., 1982: «Mesothelioma mortality in asbestos workers: Implications for models of carcinogenesis and risk assessment», *British Journal of Cancer*, vol. 45, pp. 124-134.
- Phthisis Prevention Committee, 1916: *Report of Miners* (Johannesburg).
- Post, W.K., Heederik, D., Kromhout, H. et Kromhout, D., 1994: «Occupational exposures estimated by a population specific job-exposure matrix and 25-year incidence rate of chronic non-specific lung disease (CNSLD): The Zutphen Study», *European Respiratory Journal*, vol. 7, pp. 1048-1055.
- Ramazzini, B., 1700: *De morbis artificum diatriba* (Chicago, The University of Chicago Press).
- Rappaport, S.M., 1985: «Smoothing of exposure variability at the receptor: Implications for health standards», *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 29, pp. 201-214.
- . 1991: «Assessment of long-term exposures to toxic substances in air», *ibid.*, vol. 35, pp. 61-121.
- . 1994: «Interpretation of levels of exposures to chemical agents», dans *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, op. cit., vol. III, partie A.
- Rappaport, S.M., Symanski, E., Yager, J.W. et Kupper, L.L., 1995: «The relationship between environmental monitoring and biological markers in exposure assessments», *Environmental Health Perspectives*, vol. 103, supplément n° 3, pp. 49-53.
- Renes, L.E., 1978: «The industrial hygiene survey and person», dans *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, op. cit., 3<sup>e</sup> édition révisée.
- Roach, S.A., 1966: «A more rational basis for air sampling programmes», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 27, n° 1, pp. 1-12.
- . 1977: «A most rational basis for air sampling programmes», *ibid.*, vol. 20, n° 1, pp. 65-84.
- Roach, S.A. et Rappaport, S.M., 1990: «But they are not thresholds: A critical analysis of the documentation of Threshold Limit Values», *ibid.*, vol. 17, n° 6, pp. 727-753.
- Rodricks, J.V., Brett, A. et Wrenn, G., 1987: «Significant risk decisions in federal regulatory agencies», *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, vol. 7, pp. 307-320.
- Rosen, G., 1993: «PIMEX-combined use of air sampling instruments and video filming: Experience and results during six years of use», *Applied Occupational and Environmental Hygiene*, vol. 8, n° 4.
- Rylander, R., 1994: «Causative agents for organic dust related disease: Proceedings of an international workshop, Skokloster, Sweden, April 6-9, 1992», *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 25, n° 1, pp. 1-11.
- Sayers, R.R., 1927: «Toxicology of gases and vapors», dans *International Critical Tables of Numerical Data*,

- Physics, Chemistry and Toxicology* (New York, McGraw-Hill).
- Schrenk, H.H., 1947: «Interpretation of permissible limits», *American Industrial Hygiene Association Quarterly*, vol. 8, pp. 55-60.
- Seiler, J.P., 1977: «Apparent and real thresholds: A study of two mutagens», dans D. Scott, B.A. Bridges et F.H. Sobels (directeurs de publication): *Progress in Genetic Toxicology* (New York, Elsevier Biomedical).
- Seixas, N.S., Robins, T.G. et Becker, M., 1993: «A novel approach to the characterization of cumulative exposure for the study of chronic occupational disease», *American Journal of Epidemiology*, vol. 137, n° 4, pp. 463-471.
- Smith, R.G. et Olishifski, J.B., 1988: «Industrial toxicology», dans J.B. Olishifski (directeur de publication): *Fundamentals of Industrial Hygiene* (Chicago, National Safety Council).
- Smith, T.J., 1985: «Development and application of a model for estimating alveolar and interstitial dust levels», *Annals of Occupational Hygiene*, vol. 29, pp. 495-516.
- , 1987: «Exposure assessment for occupational epidemiology», *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 12, n° 3, pp. 249-268.
- Smyth, H.F., 1956: «Improved communication: Hygienic standard for daily inhalation», *American Industrial Hygiene Association Quarterly*, vol. 17, pp. 129-185.
- Stokinger, H.E., 1970: «Principes et méthodes pour dégager de l'expérimentation sur l'animal des données servant à définir les valeurs seuils de concentration dans l'air», dans *Niveaux admissibles des substances toxiques dans les ambiances de travail* (Genève, BIT).
- , 1977: «The case for carcinogen TLV's continues strong», *Occupational Health and Safety*, vol. 46, mars-avril, pp. 54-58.
- , 1981: «Threshold limit values: Part I», *Dangerous Properties of Industrial Materials Report* (mai-juin), pp. 8-13.
- Stott, W.T., Reitz, R.H., Schumann, A.M. et Watanabe, P.G., 1981: «Genetic and nongenetic events in neoplasia», *Food and Cosmetics Toxicology*, vol. 19, pp. 567-576.
- Tait, K., 1992: «The Workplace Exposure Assessment Expert System (WORK SPERT)», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 53, n° 2, pp. 84-98.
- Tarlau, E.S., 1990: «Industrial hygiene with no limits», *ibid.*, vol. 51, n° 1, pp. A9-A10.
- Travis, C.C., Richter, S.A., Crouch, E.A., Wilson, R. et Wilson, E., 1987: «Cancer risk management: A review of 132 federal regulatory decisions», *Environmental Science and Technology*, vol. 21, n° 5, pp. 415-420.
- Watanabe, P.G., Reitz, R.H., Schumann, A.M., McKenna, M.J. et Gehring, P.J., 1980: «Implications of the mechanisms of tumorigenicity for risk assessment», dans M. Witschi (directeur de publication): *The Scientific Basis of Toxicity Assessment* (Amsterdam, Elsevier).
- Wegman, D.H., Eisen, E.A., Woskie, S.R. et Hu, X., 1992: «Measuring exposure for the epidemiologic study of acute effects», *American Journal of Industrial Medicine*, vol. 21, n° 1, pp. 77-89.
- Weil, C.S., 1972: «Statistics versus safety factors and scientific judgment in the evaluation of safety for man», *Toxicology and Applied Pharmacology*, vol. 21, pp. 454-463.
- Wilkinson, C.F., 1988: «Being more realistic about chemical carcinogenesis», *Environmental Science and Technology*, vol. 9, pp. 843-848.
- Wong, O., 1987: «An industry wide mortality study of chemical workers occupationally exposed to benzene. II. Dose-response analyses», *British Journal of Industrial Medicine*, vol. 44, pp. 382-395.
- World Commission on Environment and Development, 1987: *Our Common Future*, Brundtland Report (Oxford, Oxford University Press).
- Zielhuis, R.L. et van der Kreek, F.W., 1979a: «Calculations of a safety factor in setting health based permissible levels for occupational exposure. A proposal I», *International Archives of Occupational and Environmental Health*, vol. 42, pp. 191-201.
- , 1979b: «Calculations of a safety factor in setting health based permissible levels for occupational exposure. A proposal II. Comparison of extrapolated and published permissible levels», *ibid.*, vol. 42, pp. 203-215.
- Ziem, G.E. et Castleman, B.I., 1989: «Threshold limit values: Historical perspective and current practice», *Journal of Occupational Medicine*, vol. 13, pp. 910-918.

### Références complémentaires

- American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), 1988: *ACGIH-TLV Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices for 1988-1989* (Cincinnati).
- , 1991: *Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, 1990-1991* (Cincinnati).
- Centre of International Projects, 1982: *English-Russian Glossary of Selected Terms in Preventive Toxicology* (Moscou, PNUE).
- Firenze, R.J., 1973: *Guide to Occupational Safety and Health Management* (Dubuque, Indiana, Hunt Publishing).
- Hickey, J.L.S. et Reist, P.C., 1977: «Application of occupational exposure limits to unusual work schedules», *American Industrial Hygiene Association Journal*, vol. 38, n° 11, pp. 613-621.
- Magnuson, H.I., 1965: «Soviet and American standards for industrial health», *Archives of Environmental Health*, vol. 10, pp. 542-545.
- National Academy of Sciences (NAS) and National Research Council (NRC), 1983: *Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process* (Washington, DC, NAS).
- National Safety Council (NSC), 1988a: *Accident Prevention Manual for Industrial Operations* (Washington, DC).
- , 1988b: *Fundamentals of Industrial Hygiene* (Washington, DC).
- Sayers, R.R. et DalleValle, J.M., 1935: «Prevention of occupational diseases other than those that are caused by toxic dust», *Mech. Eng.*, vol. 57, pp. 230-234.
- Suter, A.H., 1993: «Noise and conservation of hearing», dans *Hearing Conservation Manual* (Milwaukee, Wisconsin, Council for Accreditation in Occupational Hearing Conservation).
- US Department of Labor, 1972: *OSHA General Industry-Safety and Health Standards 29 CFR 1910* (Washington, DC).