

1

Solvants et prévention : nouvelles perspectives

par M. Gérin

En médecine et hygiène du travail les solvants sont des substances connues depuis longtemps dont on a appris, avec l'expérience, à reconnaître les dangers sans toujours pouvoir les maîtriser. Malgré leur grande diversité, la famille des solvants, plus que toute autre catégorie de contaminants, constitue un groupe qui peut être ciblé de façon générique dans les actions de prévention primaire, de la substitution à la protection individuelle. Le problème des solvants est très particulier en raison de l'apparition, depuis le milieu des années quatre-vingts, d'enjeux environnementaux spécifiques, qui ont profondément modifié le contexte réglementaire et provoqué une mutation dans les procédés, les substances et leurs modes d'utilisation, ainsi que dans la gestion des risques professionnels. Cet ouvrage a également pour objectif, en dehors d'une synthèse sur ces produits, de mettre à jour et d'analyser les perspectives sur les nouveaux solvants et procédés. Celui-ci ne présente pas de façon systématique les aspects réglementaires, en France, au Québec ou ailleurs, même si un effort a été fait dans ce sens dans la plupart des chapitres. La perspective adoptée ici se limite à la prévention primaire sans aborder cependant les aspects reliés à l'évaluation de l'exposition, et n'aborde pas la prévention secondaire ni tertiaire.

Les aspects techniques des solvants et de leur prévention seront abordés tout au long de cet ouvrage; le présent chapitre fait la synthèse sur le contexte général des effets de ces substances sur la santé et sur l'environnement et aborde la problématique particulière de leur substitution.

■ Solvants et santé au travail

● Impact

Bien que l'exposition professionnelle aux solvants soit une réalité dans de nombreux secteurs d'activité économique, de par leur utilisation massive lors d'activités aussi courantes que le nettoyage-dégraissage, le décapage, le collage, la peinture et l'imprimerie, pour n'en citer que quelques-unes (cf. chapitres 2 et 4), nous manquons de données précises sur le nombre de travailleurs exposés. Sur la base d'études suédoises et

américaines datant des années quatre-vingts, nous avons estimé que le nombre de travailleurs québécois exposés aux solvants se situait entre 150 000 et 300 000 [1]. Une extrapolation directe situerait à environ deux millions, avec une large marge d'incertitude, le nombre de travailleurs exposés en France. Une étude américaine sur les solvants de type hydrocarbure montre que les niveaux d'exposition sont généralement en baisse depuis les années soixante et, en moyenne, sous les valeurs limites réglementaires. Il y a cependant une grande variation selon les procédés et les différents hydrocarbures et l'exposition demeure préoccupante dans de nombreuses situations [2]. Nous n'avons pas de données générales sur l'exposition à l'ensemble des solvants, mais il est reconnu par les praticiens que, pour les plus volatils, comme par exemple le dichlorométhane, l'exposition peut fréquemment dépasser les normes, sans compter, pour l'ensemble des solvants, les multiples occasions de contact cutané.

Les données valables permettant de quantifier l'impact des solvants sur la santé sont rares. Une méta-analyse de 55 études de mortalité portant sur des travailleurs exposés aux solvants a montré une sous-mortalité, mais qui devrait, au moins en partie, être attribuée à l'effet du travailleur sain, avec cependant des excès de mortalité par cancer du foie et leucémie [3]. Comme pour la plupart des contaminants, l'examen des statistiques d'indemnisation reste difficile et peu informatif de l'impact réel de ces substances sur la santé des travailleurs, notamment en raison de la sous-reconnaissance notoire des affections de nature chronique.

● Effets, généralités

Nous n'aborderons pas ici les dangers liés à l'inflammabilité de plusieurs familles de solvants, qui seront traités au chapitre 8. Les effets cutanés sont abordés plus spécifiquement au chapitre 7, en introduction à la protection cutanée. Les sections suivantes résument, par grande catégorie, les principaux effets documentés en milieu de travail [4-8]. Il faut remarquer que les effets sur le système nerveux et les effets irritants peuvent être considérés comme génériques aux solvants, tandis que les autres effets, souvent reliés au métabolisme de ces substances, sont spécifiques à certaines familles et à certains solvants dans ces familles.

● Effets sur le système nerveux

L'effet aigu typique de l'ensemble des solvants est une dépression du système nerveux central qui semble reliée à la concentration de solvant dans le cerveau, sa solubilisation dans les lipides et son interaction avec les membranes des cellules nerveuses. Les symptômes pré-narcotiques, réversibles et souvent proches de ceux de l'imprégnation alcoolique, comprennent étourdissements, vertiges, pertes de coordination et de concentration, fatigue, maux de tête et irritabilité. La narcose peut être atteinte à fortes doses, pouvant mener à la perte de conscience et au coma. Plusieurs solvants halogénés ont un pouvoir anesthésiant particulier. La dépression du système nerveux central est à la base de valeurs limites d'exposition pour de nombreux solvants.

L'exposition répétée aux solvants peut mener à des effets permanents variés sur le système nerveux central ou périphérique [9]. L'encéphalopathie chronique, ou syndrome psycho-organique dû aux solvants, est un syndrome neurologique résultant d'une exposition professionnelle d'une durée d'au moins 5 ou 10 ans [4]. Reconnue comme maladie professionnelle dans plusieurs juridictions, notamment en Europe du Nord, son existence comme maladie générique à l'ensemble des solvants reste controversée, notamment en Amérique du Nord [5]. Elle se manifeste cliniquement par un état purement symptomatique (fatigue, pertes de mémoire, de concentration, d'initiative) dans le type 1, par des changements d'humeur et de personnalité (type 2A), par des pertes objectives de facultés intellectuelles (type 2B)

et par la démence dans le type 3 (détérioration globale de l'intellect et de la mémoire, signes neurologiques ou neuroradiologiques possibles). En raison de l'absence habituelle de lésion évidente, le diagnostic de cette maladie reste difficile et n'est pas uniformisé entre les diverses juridictions qui la reconnaissent. Une revue récente de 45 études explorant par des tests psychométriques les effets neuro-comportementaux, non démentiels de l'exposition chronique aux mélanges de solvants à de faibles niveaux conclut à l'existence probable de tels effets, sans que leur signification clinique ne soit définie [10].

En ce qui concerne le système nerveux périphérique, certains solvants provoquent une atrophie axonale amenant à des polyneuropathies ou des polynévrites d'origine professionnelle, comme le n-hexane, la méthyl-n-butylcétone, l'acrylamide, le trichloréthylène, le perchloréthylène et le disulfure de carbone. Celles-ci se manifestent notamment par des faiblesses musculaires et des paresthésies dans les extrémités. Notons que le nerf optique est plus spécifiquement ciblé par le méthanol et le nerf acoustique par le trichloréthylène et le toluène.

● Irritation des yeux et des muqueuses

Comme la plupart des composés organiques, les solvants sont irritants pour la peau, les yeux et les voies respiratoires (les effets cutanés sont abordés au chapitre 7). Sous forme de vapeur leur potentiel irritant pour la conjonctive et les muqueuses du nez et de la gorge est modéré et réversible, avec une activité plus accentuée pour certaines familles comme les solvants oxygénés (acides, cétones, esters). Les valeurs limites d'exposition de nombreux solvants sont d'ailleurs basées sur ce type d'effet.

● Effets cancérigènes

Rappelons les effets cancérigènes (leucémies) historiques bien établis du benzène, dont la proportion dans les solvants actuels doit être de moins de 0,1 % selon la réglementation (nous excluons ici bien entendu l'essence automobile). Quant au chloroforme et au tétrachlorure de carbone, cancérigènes chez l'animal, ils ne sont plus utilisés que de façon restreinte pour certaines synthèses. En revanche, trois solvants chlorés, à très forte utilisation industrielle, le trichloréthylène, le perchloréthylène et le dichlorométhane, sont soupçonnés à divers degrés de cancérigénicité pour l'homme. Les deux premiers, qui sont des cancérigènes avérés chez l'animal, ont été classés dans le groupe 2A (cancérigènes probables pour l'homme) par le Centre international de recherche sur le cancer sur la base additionnelle d'études épidémiologiques indiquant des excès de cancers hépato-biliaires et de lymphomes non-hodgkiniens (trichloréthylène) et de cancers de l'œsophage, du col de l'utérus et de lymphomes non-hodgkiniens (perchloréthylène). Dans les deux cas, la réalité d'une relation de cause à effet chez l'humain est sujette à débat [5]. Quant au dichlorométhane, lui aussi cancérigène chez l'animal, les indications épidémiologiques de sa cancérigénicité sont jugées comme inadéquates, le plaçant dans la catégorie 2B, cancérigène possible pour l'homme, sur la base de son pouvoir cancérigène chez l'animal. Nous retrouvons aussi dans cette catégorie trois autres grands solvants industriels : l'acrylonitrile, le diméthylformamide et l'éthylbenzène.

● Effets sur la reproduction et le développement

La fonction reproductrice mâle est sensible à diverses expositions professionnelles, le plomb et le dibromochloropropane étant les exemples les plus connus. En ce qui concerne les solvants, les études épidémiologiques sont rares et mettent en cause le 2-bromopropane (qui n'est plus utilisé comme solvant) et le disulfure de

carbone (à haute concentration), avec quelques indices d'effets faibles pour le trichloréthylène et le perchloréthylène [11]. Cependant, la spermatotoxicité de certains éthers de glycol (2-méthoxyéthanol et 2-éthoxyéthanol et leur acétate) est maintenant reconnue, avec mise en évidence d'effets sur la fertilité [11-13]. Dans deux études épidémiologiques récentes, l'exposition aux solvants, en général, a été associée à une mauvaise qualité du sperme [14-15]. Les effets des solvants sur le système reproducteur femelle sont peu documentés, bien que l'exposition aux éthers de glycol ait été associée à une baisse de fertilité et des fausses couches [4].

Quelques études ont mis en évidence des excès de malformations chez la descendance de femmes exposées professionnellement aux solvants [16] et, plus spécifiquement, aux éthers de glycol [17]. Les éthers de glycol dérivés de l'éthylène glycol sont particulièrement incriminés comme fœtotoxiques ou tératogènes suite aux études chez l'animal [12]. Parmi les substances classées comme reprotoxiques de catégorie 1 ou 2 par l'Union européenne, on retrouve comme solvants, en plus des éthers de glycol, divers amides (p. ex. la N, N-diméthylformamide) [18].

● Effets hépatiques et rénaux

Les effets nécrotiques hépatiques et rénaux associés à l'exposition aiguë au tétrachlorure de carbone et au chloroforme disparaissant en même temps que ces substances, le foie et le rein ne restent des organes cibles des solvants industriels chez l'homme, en dehors du cancer, que dans des circonstances de très forte exposition, notamment au trichloréthylène, au perchloréthylène et à la diméthylformamide pour le foie, au toluène et à l'éthylène glycol pour le rein. Stengel et coll. rapportent l'association observée dans les études épidémiologiques entre une forte exposition professionnelle aux solvants et le développement de néphropathies glomérulaires menant à l'insuffisance rénale [19].

● Effets cardio-vasculaires

Bien qu'il soit reconnu que plusieurs solvants, notamment chlorés, puissent mener à des troubles du rythme cardiaque en cas de forte exposition, de type toxicomanie entre autres, les arythmies restent exceptionnelles suite aux expositions professionnelles [7]. Le dichlorométhane, biotransformé en monoxyde de carbone, pourrait favoriser à très forte dose une crise angineuse ou un infarctus du myocarde chez des sujets coronariens [7]. Par ailleurs diverses études indiquent un risque accru de maladie cardio-vasculaire chez les travailleurs de la viscose surexposés de façon chronique au disulfure de carbone.

● Sclérodémie

Plusieurs études épidémiologiques convergent vers l'identification d'un lien entre l'exposition professionnelle aux solvants et la sclérodémie, une maladie auto-immune du tissu conjonctif [20], bien qu'il ne soit pas encore possible d'identifier les solvants spécifiques incriminés. L'exposition aux solvants de type hydrocarbures pétroliers est associée au développement de formes non-différenciées de maladies du tissu conjonctif [21].

● Effets hématotoxiques

Bien documentés pour le benzène seulement parmi les solvants « historiques » (altération de la moelle osseuse se manifestant par une thrombocytopenie, une

leucopénie, une anémie ou une pancytopénie), des effets hémolysants, et parfois toxiques sur les organes lymphoïdes et la moelle osseuse, ont aussi été mis en évidence chez l'animal pour plusieurs éthers de glycol de la série éthylénique; chez l'homme, l'hémolyse a été observée pour le 1-butoxyéthanol [12]. Signalons l'action méthémoglobinisante légère des solvants aliphatiques nitrés et plus importante de plusieurs aromatiques nitrés.

● Intolérance acquise aux solvants

Ce syndrome est à rapprocher de la polytoxico-sensibilité [22] et de l'intolérance aux odeurs chimiques [23]. Il se manifeste par des troubles polystémiques, incluant des céphalées, des insomnies et des vertiges, déclenchés aussi bien dans le milieu de travail qu'en dehors, et ce dans des conditions de faible exposition, sans effets sur le reste des travailleurs ou de la population. Au-delà d'hypothèses métaboliques, un mécanisme psychologique, dans un contexte d'incident ou de conflit, pourrait expliquer un certain nombre de ces cas [24].

■ Prévention et substitution en milieu de travail

● Hiérarchie des activités de prévention en santé au travail

Le tableau 1.1 représente un schéma conceptuel associant le cheminement d'un contaminant, depuis sa source jusqu'à ses effets irréversibles éventuels dans l'organisme d'un travailleur, et les diverses approches préventives en santé au travail et leur hiérarchie. Les interventions préventives peuvent porter sur divers niveaux :

- la source du contaminant (un procédé industriel, une machine) afin d'en éliminer ou d'en réduire l'utilisation ou l'émission dans le milieu de travail;
- le milieu lui-même de façon à maîtriser et surveiller l'exposition;
- le travailleur afin de réduire le contact avec le contaminant présent dans le milieu, de surveiller l'exposition interne par des méthodes biologiques, de dépister les effets précoces éventuels, d'identifier et de surveiller les cas de maladie irréversible.

En ce qui concerne une substance toxique, l'élimination à la source signifie, dans l'absolu, son exclusion par la substitution ou un changement de procédé qui éliminera le recours à cette substance. Si cette utilisation ne peut pas être éliminée, elle pourrait être réduite par diverses modifications aux formulations et aux procédés. On peut encore maîtriser l'émission de la substance par des moyens techniques comme l'isolement, le confinement ou la ventilation locale. L'action de prévention peut aussi viser à maîtriser la quantité ou le niveau d'exposition de la substance, dont on accepte la présence dans le milieu, par le recours à des moyens de protection collective comme la ventilation de dilution, le nettoyage et l'entretien. Une dernière forme de maîtrise consiste à intervenir au niveau des individus en réduisant les contacts. Ceci prendra souvent la forme des moyens de protection individuelle comme les vêtements protecteurs et les appareils de protection respiratoire.

● Substitution, définition, réglementation

La définition de la substitution adoptée dans le cadre de ce travail repose donc sur la notion d'élimination à la source, à favoriser selon cette approche hiérarchisée des activités de prévention. Les autres méthodes de prévention acceptent que la substance soit présente dans le milieu de travail, même si sa présence est contrôlée. Elles ont une efficacité imparfaite; des opérations d'entretien et de surveillance sont

Tableau 1.1 – Relation santé-environnement et continuum des activités de prévention en santé au travail

Source	Substance	Élimination/Réduction à la source – Substitution – Réduction d'utilisation Maîtrise de l'émission – Isolation, confinement – Captage, ventilation locale
Milieu	Présence Exposition externe	Maîtrise dans le milieu – Ventilation générale – Maintenance, nettoyage Surveillance environnementale – Mesurage dans l'air
Travailleur	Contact	Maîtrise des contacts – Protection individuelle
	Absorption Exposition interne	Surveillance biologique de l'exposition – Substance, métabolite – Paramètre biochimique d'exposition
	Effet réversible ou précoce	Dépistage précoce – Paramètre biochimique d'effet – Examen fonctionnel – Questionnaire
	Maladie irréversible	Clinique – Identification des cas – Soins, réhabilitation Surveillance épidémiologique

nécessaires; des accidents, des pannes, des irrégularités, des défaillances matérielles et humaines, ou encore des travaux spéciaux ou irréguliers peuvent mener à des expositions importantes. Seule l'élimination à la source permet de réduire complètement le risque associé à un contaminant.

La substitution se définit donc comme une méthode de prévention consistant à éliminer l'utilisation d'une substance dangereuse en la remplaçant par une substance moins dangereuse ou par un autre procédé. C'est ce type de définition assez large de la substitution qui a été adopté par les auteurs danois qui ont beaucoup contribué au renouveau de l'intérêt sur ce sujet au cours des dix dernières années (*cf. chapitre 3*).

Il n'y a pas, en santé au travail, de réglementation s'adressant à la substitution des solvants en tant que tels. Cependant, certaines prescriptions ont un impact particulier sur les solvants. Le Bureau international du travail, par exemple, prescrit le choix de produits ou de techniques qui éliminent ou réduisent les risques au minimum (article 13 de la Convention C170, 1990). Diverses réglementations nationales, par exemple au Danemark, au Canada ou au Québec, prescrivent la substitution des substances dangereuses, dans la mesure des possibilités pratiques. Les substances cancérigènes sont particulièrement visées, notamment par la directive 90/394/CEE en Europe qui préconise leur remplacement, ou au Québec par l'obligation de réduire leur exposition au niveau le plus bas possible. En France, les substances toxiques pour la reproduction ou le développement, en plus des cancérigènes et des mutagènes, doivent être l'objet de mesures de réduction d'exposition notamment par la substitution [18]. Le droit de retrait des travailleuses enceintes des postes qui les exposent à des substances reprotoxiques favorise au Québec le remplacement de solvants rentrant dans cette catégorie.

■ Solvants, environnement et santé publique

● Déplétion de la couche d'ozone

L'ozone présent dans la stratosphère (15 à 45 km d'altitude) bloque le rayonnement ultraviolet solaire, principalement dans sa composante UV-B dangereuse pour les organismes vivants [25]. Les impacts potentiels sur la santé humaine d'un affaiblissement de cette couche protectrice sont des atteintes au système immunitaire, des cataractes et des atteintes cutanées incluant le cancer. À la suite de la découverte dans les années soixante-dix et quatre-vingts de l'effet dévastateur sur l'ozone stratosphérique de divers composés organiques halogénés, et de diminutions importantes dans l'intégrité de la couche d'ozone, les prescriptions du protocole de Montréal de 1987 sur les substances appauvrissant la couche d'ozone (SACO), révisé à plusieurs occasions, ont été intégrées à la réglementation des divers pays. L'impact de ces changements devrait permettre un retour à la normale de la couche d'ozone vers 2050. Les SACO sont des substances possédant des atomes de chlore, de brome ou d'iode et suffisamment stables chimiquement pour atteindre la stratosphère. La présence de fluor dans la molécule ajoute à leur stabilité. Les chlorofluorocarbures (CFC), halons (chlorobromofluorocarbures) et le tétrachlorure de carbone sont déjà bannis dans les pays industrialisés et à l'horizon de 2010 dans les pays en développement (PED). Les hydrochlorofluorocarbures (HCFC), produits de remplacement temporaire, dont certains sont des solvants, devront pratiquement disparaître d'ici 2015 ou 2020 selon les pays. Parmi les autres solvants touchés par les diverses réglementations, notons le CFC-113 (dégraissant en électronique) et le 1,1,1-trichloroéthane (méthylchloroforme, dégraissant industriel) qui sont bannis dans la plupart des utilisations.

● Smog photochimique

La grande majorité des solvants organiques sont des composés photochimiquement réactifs qui contribuent, en présence d'oxydes d'azote et du rayonnement solaire, à la formation du smog photochimique. Ce dernier est constitué d'oxydants tels que l'ozone qui sont à l'origine d'affections respiratoires diverses, d'irritations oculaires et de dommages aux plantes [26]. La dénomination de COV (composé organique volatil) est généralement associée aux substances qui contribuent à ce phénomène, bien que strictement parlant il faudrait préciser COV photochimiquement réactifs, pour les différencier des COV retrouvés par exemple dans l'air intérieur pour lesquels cette propriété n'est pas pertinente. Bien que la part la plus importante du smog photochimique revienne aux COV présents dans les gaz d'échappement des véhicules, il a été estimé que les solvants y participent à raison de 20 à 30 %. En Europe, la directive sur les émissions de solvants adoptée en 1999 a pour objectif de réduire de 67 % les émissions de COV des installations utilisatrices de solvants d'ici 2007 par rapport au niveau de 1990 [27, 28] (cf. *Annexe, chapitre 5, p. 140 pour le contexte français*). Les industriels établissent un plan de gestion des solvants qui en limite les émissions canalisées (cheminées, événements, bacs...), diffusées (fuites, transferts...) ou totales (la somme des deux) à des niveaux prédéfinis suivant les utilisations, et avec des horizons temporels différents selon qu'il s'agit de nouvelles installations ou d'installations existantes. À noter que les solvants classés cancérigènes, mutagènes ou toxiques pour la reproduction doivent être remplacés autant que possible par des substances moins toxiques, la substitution étant par ailleurs encouragée dans la Directive de façon générique. Au Canada, le plan de gestion des oxydes d'azote et des COV du Conseil canadien des ministres de l'environnement encadre des actions de réduction volontaire d'utilisation de COV selon les divers secteurs d'activité, alors que les émissions sont réglementées par des organismes provinciaux et municipaux. Il faut noter également qu'il est question d'ajouter les

COV sur la liste des substances toxiques selon la LCPE (Loi canadienne sur la protection de l'environnement).

● Pollution de l'air, effets spécifiques et odeurs

Au-delà de leur effet générique de contribution au smog photo-oxydant, de nombreux solvants sont réglementés quant à leur concentration dans l'air ambiant en vertu d'effets potentiels spécifiques sur la santé publique (p. ex. l'irritation, le cancer ou l'odeur). En Amérique du Nord, plusieurs juridictions (états, provinces, municipalités) ont adopté des valeurs limites d'exposition ambiante, souvent obtenues « mécaniquement » à partir des valeurs limites professionnelles, divisées par un facteur correcteur pour tenir compte des durées plus longues d'exposition et des populations plus hétérogènes. Cependant, la tendance est à la réévaluation de telles normes sur la base de nouvelles analyses quantitatives du risque. En Europe, le bureau régional de l'OMS a produit des lignes directrices sur la qualité de l'air portant sur une trentaine de substances dont huit sont des solvants [29]. Les limitations adoptées en Europe par la directive sur les émissions de solvants [28] permettent de réduire les émissions atmosphériques de l'ensemble des solvants qu'ils soient ou non photochimiquement réactifs.

● Réchauffement climatique

L'effet de serre résulte du piégeage par l'atmosphère de la partie du rayonnement solaire normalement retournée dans l'espace sous forme de rayonnement infrarouge. Phénomène naturel permettant de maintenir la température terrestre à un niveau modéré, son accentuation par des émissions accrues de gaz à effet de serre (GES) aurait pour conséquence d'augmenter la température au sol de 1,4 à 5,8 degrés centigrades au cours du XXI^e siècle, ce qui entraînerait des changements climatiques importants aux conséquences économiques et sanitaires catastrophiques pour une partie de la population mondiale [25, 30]. Le protocole de Kyoto, adopté en 1997, puis implanté progressivement dans les pays industrialisés comme en développement, a pour objectif de contrôler les émissions anthropiques de GES. L'effort porte principalement sur le bioxyde de carbone qui, par la quantité émise, contribue pour 65 % dans le réchauffement planétaire. Les produits fluorés ont cependant, molécule pour molécule, un potentiel de réchauffement global beaucoup plus élevé que le CO₂, le méthane ou l'oxyde nitreux. Les solvants fluorés, comme les perfluorocarbures (PFC), les hydrofluorocarbures (HFC), les hydrofluoroéthères (HFE) et les HCFC, en plus de ceux qui sont déjà en disgrâce de par leur effet sur la couche d'ozone, sont donc potentiellement visés. Notons que les COV en général, de par leur génération d'ozone troposphérique, contribuent au phénomène, l'ozone étant aussi un GES.

● Contamination des eaux et des sols

Les solvants, en raison de leur volatilité, se retrouvent principalement dans l'atmosphère. Cependant leur décharge dans le milieu à l'état liquide, du fait notamment de déversements accidentels ou de fuites de réservoirs, peut mener à une contamination des eaux et des sols nuisible à l'environnement (p. ex. écosystèmes aquatiques) et à la santé publique (p. ex. eau potable). Selon les familles de solvants la réglementation vise à contrôler les rejets à l'égout et à traiter les déchets par le recyclage ou l'élimination.

■ Prévention et substitution dans le cadre environnemental

● Production plus propre, prévention de la pollution

De la même façon que pour la protection de la santé des travailleurs, il est possible d'envisager, pour la protection de l'environnement, une hiérarchie des interventions préventives. Le tableau 1.2 en présente une synthèse [31-32]. Dans le domaine de la protection de l'environnement, l'approche de « production plus propre » ou de « prévention de la pollution » tend à être favorisée au détriment de l'approche d'élimination des déchets ou de celle du contrôle de la pollution, dite de « bout du tuyau », qui est le traitement des effluents et des émissions atmosphériques par des méthodes mécaniques, chimiques, thermiques ou biologiques. La production plus propre est un programme lancé en 1989 par le PNUE (Programme des Nations unies pour l'environnement). Elle est définie comme l'application continue d'une stratégie préventive intégrée à tous les procédés, produits et services dans une perspective de progrès dans le domaine de l'économie, de la vie sociale, de la santé, de la sécurité et de l'environnement. Elle comprend l'élimination ou la réduction à la source à la fois des quantités de produits toxiques et de leur toxicité [33]. La prévention de la pollution est un concept proche découlant de l'adoption en 1990 de la Loi sur la prévention de la pollution par les États-Unis. La prévention de la pollution est atteinte par la réduction à la source, laquelle est axée sur les matériaux, les procédés et les pratiques. Elle comprend la réduction des quantités de polluants générés (réduction des rejets), avant même tout recyclage ou traitement, et la réduction des dangers associés aux émissions (utilisation de produits moins toxiques) [32].

Tableau 1.2 – Hiérarchie des méthodes de protection de l'environnement

<p><i>Production plus propre</i> (Prévention de la pollution)</p> <p>1) Élimination à la source Substitution du procédé Substitution de la substance</p> <p>2) Réduction à la source Modifications réduisant l'utilisation</p> <p>3) Minimisation des déchets Recyclage, réutilisation sur place</p> <p><i>Recyclage</i> Recyclage extérieur, récupération, valorisation</p> <p><i>Contrôle de la pollution</i> (« bout du tuyau ») Captage, traitements chimiques, physiques, thermiques, biologiques</p> <p><i>Élimination des déchets</i> Enfouissement, stockage</p>
--

● Réduction des substances toxiques, éco-design, production durable, chimie verte

Comme éléments d'implantation des stratégies de production plus propre, on retrouve notamment les approches de « réduction des substances toxiques » et de « design pour l'environnement » ou éco-design. La première porte sur l'amélioration

des installations industrielles existantes afin de réduire leurs émissions toxiques par la substitution, la modification des procédés, la « reformulation » des produits, la modernisation de la production, l'amélioration de la maintenance et des opérations, et le recyclage dans le procédé [34]. L'éco-design vise à promouvoir la prise en considération des facteurs environnementaux dès la conception des produits et des procédés, notamment en procédant à des évaluations de cycle de vie [35]. Cette approche, plus proactive, est reliée au concept global de développement durable [36], c'est-à-dire un développement qui intègre les besoins environnementaux présents et futurs. Son pendant industriel appliqué à l'entreprise est l'écologie industrielle ou production durable [32, 37]. La « chimie verte » ou « chimie durable » est spécifiquement appliquée à l'industrie chimique : on y retrouve parmi ses douze principes celui d'utiliser des solvants plus sûrs [38].

L'élimination à la source et la substitution sont donc des points centraux dans les approches et les concepts modernes non seulement de la protection de l'environnement mais aussi du développement mondial. Nous avons vu de plus que les solvants ont des effets à la fois locaux et globaux sur l'environnement et la santé publique et sont donc à divers titres ciblés par les réglementations et les directives quant à leur utilisation et leur rejet dans l'environnement. On remarque cependant, comme plusieurs auteurs [37, 39, 40], que la dimension de la santé des travailleurs, souvent occultée, peine à trouver sa place dans ce schéma.

■ Solvants, travail, environnement : transferts de risque ou démarche intégrée?

Si l'on qualifie de verte la substitution motivée par des considérations environnementales, il faut éviter qu'elle ne se traduise par des effets pervers (ou « pervers ») pour la santé des travailleurs. Par exemple, l'utilisation de solvants de type essence minérale (« white spirit ») à la place du 1,1,1-trichloréthane (destructeur de la couche d'ozone) pour le dégraissage des métaux augmente le risque d'incendie. Quant au trichloréthylène, qui a souvent été adopté comme solution de remplacement au 1,1,1-trichloréthane, il s'agit d'un solvant notoirement plus toxique. Testud et coll., Antonsson et Wilson [41-43] présentent plusieurs exemples de tels cas de transferts de risque liés principalement à la substitution des hydrocarbures halogénés. Notons par exemple l'apparition récente en Californie de cas de neurotoxicité périphérique chez des mécaniciens automobiles en raison du remplacement des dégraissants à base de perchloréthylène par des dégraissants à base de n-hexane [41]. L'introduction de 2-bromopropane à la place de fréons dans une usine de l'industrie électronique en Corée a conduit à plusieurs cas d'atteinte à la fertilité chez les travailleurs des deux sexes [11]. L'utilisation accrue de nettoyeurs aqueux en remplacement de solvants volatils pour le dégraissage peut être perçue comme un transfert de risque entre le milieu de travail et l'air ambiant d'une part et l'eau d'autre part.

L'enjeu de la substitution consiste donc à associer procédés propres et procédés sûrs et à résoudre l'opposition entre prévention des risques professionnels et environnement pour progresser dans les deux directions [40]. L'effet « per-vert » de la substitution verte doit faire place à l'effet vertueux (ou « vert-ueux »). Pour y arriver, selon Quinn, les professionnels de la santé et de la sécurité du travail, sans abandonner leurs fonctions traditionnelles d'identification et de contrôle, doivent élargir leur champ d'action pour être plus présents dans la conception des postes de travail et des procédés de production [37]. La démarche à adopter doit intégrer les diverses dimensions de la santé et de la sécurité du travail, de l'environnement, de la technique, des coûts et des facteurs humains et organisationnels. Ces éléments sont repris en détail dans le chapitre 3.

Bibliographie

1. Gérin M., Bégin D., Goupil J., Garneau R., Sacks S. — *Substitution des solvants en milieu de travail : élaboration d'un outil pour l'intervention*. Institut de recherche en santé et en sécurité du travail du Québec (rapport R-098), Montréal, mai 1995.
2. Caldwell D.J., Armstrong T.W., Barone N.J., Suder J.A., Evans M.J. — Hydrocarbon solvent exposure data : compilation and analysis of the literature. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 2000, 61, 881-894.
3. Chen R., Seaton A.A. — Meta-analysis of mortality among workers exposed to organic solvents. *Occup. Med.*, 1996, 46, 337-344.
4. Tähti H., Aasmoe L., Syversen T. — Organic solvents. In : B. Ballantyne, T. Marrs, T. Syversen (éd.), *General and Applied Toxicology*, vol. 3. McMillan, Londres, 1999, 2030-2047.
5. Bruckner J.V., Warren D.A. — Toxic effects of solvents and vapors. In : C.D. Klaassen (éd.), *Casarett and Doull's Toxicology*. Mc Graw-Hill, New York, 6^e éd., 2001, 869-916.
6. Mergler D. — Le système nerveux, In : *Encyclopédie de sécurité et de santé au travail*. Bureau international du travail, 3^e éd. fr., 2000, Genève.
7. Danel V., Testud F. — Intoxications par les solvants et les hydrocarbures, In : A. Jaeger, J.A. Vale (éd.), *Intoxications aiguës*. Elsevier, Paris, 1999, 351-365.
8. Lauwerys R.R. — *Toxicologie industrielle et intoxications professionnelles*. Masson, Paris, 4^e édition, 1999.
9. Haguenoer J.M., Nisse C. — Physiopathologie. *Arch. mal. prof.*, 1995, 56, 2, 91-97.
10. Spurgeon A. — The validity and interpretation of neurobehavioural data obtained in studies to investigate the neurotoxic effects of occupational exposure to mixtures of organic solvents. *Health and Safety Executive, Contract Research report 355/2001*. HSE books, Sudbury, Royaume-Uni, p. 100.
11. Figà-Talamanca I., Traina M.E., Urbani E. — Occupational exposure to metals, solvents and pesticides : recent evidence on male reproductive effects and biological markers. *Occup. Med.*, 2001, 51, 174-178.
12. INSERM. — *Éthers de glycol. Quels risques pour la santé?* Les Éditions Inserm, Paris, 1999.
13. Veulemans H., Steeno O., Masschelein R., Groeseneken D. — Exposure to ethylene glycol ethers and spermatogenic disorders in man : a case-control study. *Br. J. Ind. Med.*, 1993, 50, 71-78.
14. Cherry N., Labrèche F., Collins J., Tulandi T. — Occupational exposure to solvents and male infertility. *Occup. Environ. Med.*, 2001, 58, 635-640.
15. Tielemans E., Burdof A., te Velde E.R., Weber R.F.A., van Kooij R., Veulemans H., Heederick D. — Occupational related exposures and reduced semen quality : a case-control study. *Fertil. Steril.*, 1999, 71, 690-696.
16. Khattak S., Moghtader G.K., McMartin K., Barrera M., Kennedy D., Koren G. — Pregnancy outcome following gestational exposure to organic solvents. *J. Am. Med. Assoc.*, 1998, 281, 1106-1109.
17. Cordier S., Bergeret A., Goujard J., Ha M.C., Aymé S., Bianchi F., Calzolari E., De Wale H.E.K., Knill-Jones R., Candela S., Dale I., Dananché B., de Vigan C., Févotte J., Kiel G., Mandereau L. — Congenital malformations and maternal occupational exposure to glycol ethers. *Epidemiology*, 1997, 8, 355-363.
18. INRS. — Produits chimiques cancérigènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction. Classification réglementaire. ND 2168-187-02. *Cahiers de Notes Documentaires. Hygiène et sécurité du travail*, 2002, 187, 5-59.
19. Stengel B., Cénée S., Limasset J.C., Protois J.C., Marcelli A., Brochard P., Hémon D. — Organic solvent exposure may increase the risk of glomerular nephropathies with chronic renal failure. *Int. J. Epi.*, 1995, 24, 427-434.
20. Arnaud J., De Gaudemaris R., Carpentier P., Hours M., Bergeret A. — Sclérodémie et facteurs professionnels et de l'environnement : étude cas-témoin en population générale. *Arch. Mal. Prof.*, 2002, 63, 144.
21. Lacey J.V., Laing T.J., Mayes M.D., Schottenfeld D. — Petroleum distillate solvents as risk factors for undifferentiated connective tissue disease. *Am. J. Epi.*, 1999, 149, 8, 761-770.

22. Auger P.L. — Intolérance multiple aux produits chimiques (ou polytoxico-sensibilité). *Bulletin d'information en santé environnementale*, 2000, 11, 1, 1-4 (www.inspq.qc.ca/bise/bise/index.htm).
23. Frisch C., Gimenez C., Choudat D., Conso F. — Le syndrome d'intolérance aux odeurs chimiques. *Arch. Mal. prof.*, 1992, 53, 371-373.
24. Prost G., Tell J.P., Bergeret A., Davezies P., Normand J.C. — Intolérance acquise aux solvants. *Arch. Mal. Prof.*, 1992, 53, 369-370.
25. Chevalier P., Gosselin P. — La planète et nous. In : M. Gérin, P. Gosselin, S. Cordier, C. Viau, P. Quénel, E. Dewailly (éd.), *Environnement et santé publique*, Edisem-Tec et Doc, Montréal-Paris, 2003.
26. Quénel P., Dab W., Festy B., Viau C., Zmirou D. — Pollution atmosphérique. In : M. Gérin, P. Gosselin, S. Cordier, C. Viau, P. Quénel, E. Dewailly (éd.), *Environnement et santé publique*. Edisem-Tec et Doc, Montréal-Paris, 2003.
27. ESIG. — L'Union européenne adopte la directive sur les émissions de solvants. *Solutions*, 1999, 5, European Solvents Industry Group, Bruxelles.
28. CCE. — Directive 1999/13/CE du conseil du 11 mars 1999 relative à la réduction des émissions de composés organiques volatils dans certaines activités et installations. Journal officiel des Communautés européennes, 29 mars 1999, L 85/1-L 85/22.
29. WHO. — *Air quality guidelines for Europe*, 2^e éd., WHO Regional Publications, European Series, 91, 2000, Copenhague.
30. Fortin L. — Changements climatiques et risques pour la santé : une première conférence canadienne. *Bulletin d'information en santé environnementale*, 2001, 12, 6, 1-4 (www.inspq.qc.ca/bise/bise/index.htm).
31. Cazalas F., Gautron R. — Les technologies propres. In : *Maîtriser les pollutions*. Les Éditions de l'environnement, Paris, 1993, 187-188.
32. Hammer W.B. — What is the relationship among cleaner production, pollution prevention, waste minimization and ISO 14000? In : *Proceedings of the first Asian conference on cleaner production in chemical industry*. Taipei, 9-10 décembre 1996, National Center for Cleaner Production, Taiwan.
33. PNUE. — *Déclaration internationale pour une production plus propre*. Programme des Nations Unies pour l'environnement, Paris, 2002 (www.unep.org/pc/cp/declaration).
34. TURI 1. — *Toxics use reduction. Fact sheet 1*. The Massachusetts Toxics Use Reduction Institute, Lowell, 1994.
35. TURI 2. — *Design for the environment. Fact sheet 2*. The Massachusetts Toxics Use Reduction Institute, Lowell, 1994.
36. Commission mondiale sur l'environnement et le développement. — *Notre avenir à tous*. Les Éditions du Fleuve, Montréal, 1988.
37. Quinn M.M., Kriebel D., Geiser K., Moure-Eraso R. — Sustainable production : a proposed strategy for the work environment. *Am. J. Ind. Med.*, 1998, 34, 297-304.
38. Ritter S.K. — Green chemistry. *Chem. Eng. News*, 2001, 79, N29, 27-34.
39. Armenti K. — The inability of OSHA and EPA coordination of occupational and environmental health concerns and how pollution prevention can serve as a model of primary prevention within both OSHA and EPA policy framework. *The 129th Annual meeting of APHA*. American Public Health Association, Atlanta, 21-25 octobre 2001.
40. André J.C., Héry M., Midoux N. — Protection de l'environnement et hygiène industrielle : vers des procédés propres et sûrs? *Cahiers de Notes Documentaires. Hygiène et sécurité du travail*, 1997, 168, 501-506.
41. Wilson M.P. — Peripheral neuropathy and n-hexane exposure among automotive mechanics : follow-up of a case study. In : *The 128th Annual meeting of APHA*. American Public Health Association, Boston, 12-16 novembre 2000.
42. Testud F., Martin J.C., Descotes J., Conso F. — Intoxications liées à la substitution des hydrocarbures halogénés. *Revue de la littérature. Arch. mal. prof.*, 2000, 61, 4, 278-281.
43. Antonsson A.B. — Substitution of dangerous chemicals. The solution to problems with chemical health hazards in the work environment? *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1995, 56, 394-397.