

3

Substitution : démarches et outils

par M. Gérin, D. Bégin

Nous avons défini, au chapitre 1, la substitution comme une méthode de prévention consistant à éliminer l'utilisation d'une substance dangereuse en la remplaçant par une autre moins dangereuse ou par un procédé différent. Cette approche permet à la fois une prévention des accidents et des maladies professionnelles et une protection de l'environnement et du public. Par ailleurs, pour éviter les transferts de risque entre travail et autres environnements, qui ont été largement étudiés dans le cas des solvants, toutes les dimensions doivent être intégrées.

Penser que la substitution ne serait, dans la plupart des cas, qu'un simple problème de remplacement au « pied levé » est illusoire. Il existe, il est vrai, de nombreuses solutions; le chapitre 4 présente, pour les solvants, les grands axes de substitution par remplacement de substance ou de procédé. Néanmoins, notre expérience, et celle des spécialistes du domaine, montre l'intérêt et même la nécessité d'aborder avec méthode les projets de remplacement de solvants en entreprise. Les enjeux de la substitution dépassent largement ceux de la santé, de la sécurité du travail et de l'environnement, et incluent des dimensions techniques, humaines, organisationnelles et financières (figure 3.1). L'implantation de méthodes de remplacement doit être adaptée au contexte de chaque entreprise. Beaucoup de solutions qui paraissent directement transposables ne sont décrites que de manière incomplète ou générale (solutions génériques). Elles ont parfois besoin d'être modifiées en raison de l'évolution des contextes réglementaires et techniques ou des connaissances scientifiques, notamment dans les domaines de la santé et de l'environnement.

Lorsque l'on souhaite éliminer l'utilisation d'une substance dangereuse, on doit entreprendre une analyse de substitution en tenant compte de l'ensemble des facteurs énumérés à la figure 3.1.

Ce chapitre fait le point sur ces dimensions et propose une démarche systématique d'implantation de la substitution s'appuyant sur les outils et les sources d'information disponibles. Cette démarche est décrite ici dans le cas des solvants, mais les grandes lignes sont applicables de façon plus générale à toute substitution de substance dangereuse.

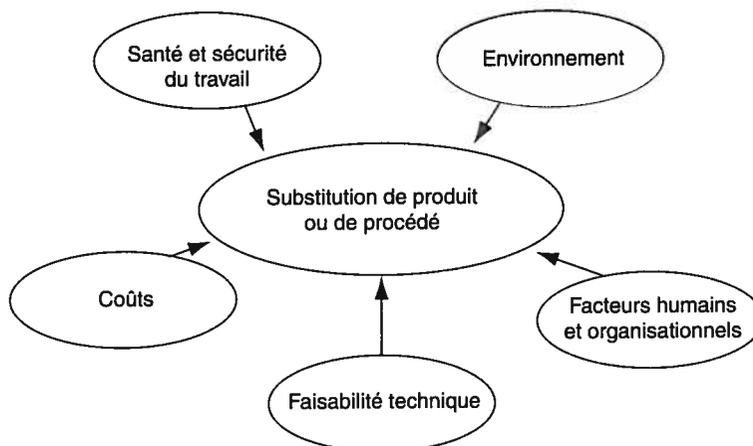


Figure 3.1 - Les dimensions de la substitution.

■ Facteurs de substitution

● Santé et sécurité du travail

Historiquement, les dangers qui concernent la santé et la sécurité des travailleurs ont été à l'origine de plusieurs substitutions. Ces substitutions vont encore se développer avec l'essor des connaissances dans le domaine de la toxicologie et l'évolution de la réglementation en matière de substances dangereuses en milieu de travail. Lorsque la substitution a lieu pour d'autres raisons, notamment environnementales, les conséquences sur la santé et la sécurité des travailleurs doivent être prises en compte et bien évaluées.

La situation pourrait paraître *a priori* plus simple dans le cas d'un changement de procédé. Il faut cependant estimer les implications du nouveau procédé utilisé et l'éventualité de l'introduction de nouveaux dangers (p. ex. contraintes ergonomiques, bruit, vibrations, autre catégorie d'agresseurs chimiques). Quand on élimine une substance dangereuse en la substituant par une autre, on doit pouvoir comparer directement les profils de danger des deux substances à l'aide d'informations adéquates.

Les *dangers physiques* des solvants (incendie, explosion) sont décrits grâce à un petit nombre de paramètres (point d'éclair, limites d'inflammabilité, température d'auto-ignition et propriétés de réactivité) applicables aussi bien à la sécurité des travailleurs qu'à celle du public. La densité du liquide et de sa vapeur, la miscibilité du solvant dans l'eau (cf. chapitre 8) sont d'autres données utiles. Les paramètres de base sont énumérés dans les fiches de données de sécurité. Ces caractéristiques sont associées à des contraintes particulières, notamment réglementaires, qui portent sur la manipulation (modes d'application, contenants, transvasements, déversements), la ventilation, les divers équipements (détecteurs, événements, appareillage antidéflagrant, matériel d'extinction), le stockage, le transport et les assurances, et peuvent avoir un retentissement financier important.

La situation est relativement complexe en ce qui concerne les *propriétés toxiques*. Les propriétés toxiques des solvants, comme celles de toute substance, sont décrites de façon plus ou moins détaillée. Il existe un classement rapide par grand type de danger pour l'étiquetage des contenants. En revanche, on peut, par la recherche bibliographique, trouver une description complète des voies d'absorption,

du métabolisme, des effets aigus, subchroniques et chroniques sur les divers organes et les systèmes biologiques chez l'animal et l'homme. Dans le cas de la substitution, il est essentiel de pouvoir accéder à des informations synthétiques pour réaliser une évaluation comparative aisée. Les paramètres le plus souvent recueillis portent sur l'absorption, les toxicités aiguë et chronique (si possible par voie d'inhalation), les effets cutanés, oculaires, génotoxiques, la classification de cancérogénicité, la toxicité sur la reproduction et le développement, les effets allergiques et la neurotoxicité. Une classification à partir de l'utilisation d'indices de danger est présentée p. 49.

● Facteurs environnementaux

Ces facteurs regroupent l'impact sur l'environnement global (couche d'ozone, réchauffement) et l'environnement local (qualité de l'air et des eaux principalement) dans leurs dimensions de protection du milieu et de la santé publique. Comme pour les aspects de toxicologie industrielle, des informations sur les propriétés environnementales et écotoxicologiques des substances doivent être synthétisées afin de comparer plus facilement les diverses solutions de remplacement. Il s'agit de paramètres tels que la tension de vapeur, la solubilité dans l'eau, les coefficients de partage carbone organique-eau et octanol-eau, la demi-vie atmosphérique, les demandes biologique et chimique en oxygène qui régissent le devenir environnemental des solvants. Les effets environnementaux sont notamment décrits par les résultats de tests de létalité sur diverses espèces de poissons, d'insectes et de crustacés ainsi que par les paramètres PFO, PDO et PRG. Les données de toxicologie décrites plus haut et applicables à l'homme sont également pertinentes en ce qui concerne la santé environnementale, dans la mesure où il existe un risque d'exposition humaine, par exemple par l'eau potable ou les émissions dans l'air ambiant. Les aspects réglementaires ont un rôle capital en tant que filtre dans la décision d'utiliser un solvant ou de comparer un solvant et des substituts potentiels. Comme le souligne Certin [1], l'approche environnementale est plus directive que l'approche de la santé au travail, particulièrement en France, ce qui se traduit par des interdictions et des préconisations pour limiter les rejets et traiter les déchets. Ces éléments réglementaires régissent entre autre les conventions internationales liées aux effets globaux, l'assainissement de l'air, le transport des matières dangereuses, la gestion des déchets et des matières résiduelles, le rejet des eaux usées.

La comparaison des paramètres environnementaux est essentielle, par-delà la dimension réglementaire, en raison de l'impact économique engendré par les changements, par exemple des modes de traitement des effluents et de la gestion des déchets.

Des outils intégrant la dimension environnementale comme *SUBTEC*, *SAGE*, *Coatings Guide*, *PARIS II* et *IRCHS* sont présentés p. 47.

● Faisabilité technique

Les paramètres techniques caractéristiques varient beaucoup selon l'utilisation des solvants. Le chapitre 2 définit les principales propriétés physico-chimiques pertinentes; leurs valeurs pour 76 solvants sont présentées aux chapitres 2 et 4. Ces paramètres permettent de les classer et de choisir des solvants de remplacement. Certaines applications pourraient, par exemple, favoriser le pouvoir de solubilisation aux dépens de la vitesse d'évaporation. Le point d'ébullition et la chaleur de vaporisation permettent également d'évaluer les dépenses énergétiques associées à l'utilisation des solvants. Depuis les années 1960, l'industrie utilise les paramètres de solubilité (ou de miscibilité) de Hansen pour la formulation des peintures, des encres et des adhésifs; des logiciels ont été développés par les fabricants de solvants pour aider leurs clients à élaborer des mélanges techniquement performants. Divers logiciels et outils

tenant compte de la dimension technique, notamment *SUBTEC*, *SAGE*, *Coatings Guide* et *PARIS II*, sont présentés p. 47.

● Coûts

La réussite du processus de substitution dépend de la capacité de la solution de remplacement à répondre, pour un coût raisonnable, aux besoins techniques que la solution initiale satisfaisait. Le calcul des coûts, simple à première vue en cas de remplacement sans changement dans l'équipement, doit cependant intégrer l'impact des modifications effectuées (p. ex. ventilation, protection individuelle, recyclage, récupération et contrôle des émissions, décharge), sans omettre les impacts plus complexes quand les méthodes ou les procédés ont été modifiés. Les bénéfices à court et à long terme de la substitution et des programmes de prévention de la pollution pour l'entreprise sont repris ci-dessous [2-5]. Même si les bénéfices sont réels, le processus peut être long et coûteux; il est en effet nécessaire de faire appel à une expertise extérieure, même si cela n'aboutit pas [5]. Les frais de recherche et de développement peuvent être importants, surtout pour les plus petites entreprises [4]. Kennedy présente une évaluation des coûts totaux liés à la substitution des solvants, avec des exemples d'application en milieu industriel [6]. Le logiciel *P2/Finance* est présenté p. 51.

● Facteurs humains et organisationnels

Toute intervention en milieu de travail comporte nécessairement une dimension sociale. Le processus de substitution va se heurter à des formes d'inertie et de résistance au changement souvent bien ancrées dans les entreprises. Certains auteurs suggèrent même que les aspects psychologiques et politiques constituent un plus grand obstacle à la substitution que les aspects techniques [3, 7, 8].

Divers aspects sociaux et organisationnels ont été décrits par Goldchmidt [9, 10]. Le point de départ du processus est souvent relié à des plaintes ou une certaine anxiété des travailleurs, lesquels doivent être impliqués dans la suite de la démarche. Le travailleur est celui qui connaît souvent le mieux les particularités des procédés et des méthodes; il peut ainsi suggérer des idées de substitution. C'est lui qui à son tour devra subir et faire fonctionner les changements opérés; ils seront mieux acceptés si le travailleur a participé à cette démarche [9, 11]. Celle-ci, pour réussir, doit impliquer plusieurs catégories de personnels et de spécialistes : personnel d'entretien, services techniques, ingénieurs et chimistes, spécialistes en santé-sécurité et environnement, contremaîtres, fournisseurs, clients et utilisateurs. Les spécialistes en santé-sécurité peuvent jouer dans cette équipe le rôle de directeur de projet [9, 12] ou tout au moins celui de rassembleur et de moteur, comme Brun et Loiseau l'ont montré pour le métier de préventionniste [13]. Olsen insiste sur le rôle clé joué par les techniciens qui sont souvent très impliqués dans la recherche et l'essai de substituts éventuels [7].

L'opération de substitution doit recevoir l'appui explicite, sinon l'impulsion initiale, des plus hautes instances décisionnelles dans l'entreprise, dans la mesure où des coûts initiaux peuvent devoir être engagés, où des changements importants dans l'organisation du travail peuvent en découler et où la compétitivité de l'entreprise peut être modifiée. Forbes présente des exemples de programmes de prévention planifiés de la pollution (dont la substitution) au Canada dans divers secteurs industriels [2]. Les bénéfices que les entreprises peuvent en retirer sont multiples et modifier de manière positive leur compétitivité [2, 5] : amélioration de la qualité des produits, bénéfices environnementaux (environnement général et milieu de travail), bénéfices financiers directs (coûts de prévention, coûts énergétiques, coûts des matières premières, coûts d'assurance diminués), meilleures relations de travail, meilleure productivité, meilleure image publique, meilleures relations avec la communauté, avantages au niveau du marketing.

■ Analyse de substitution

● Revue de la littérature

Plusieurs auteurs se sont attachés depuis une douzaine d'années à la formulation de démarches de substitution [1, 14-23]. Les Danois, appuyés par diverses législations, ont, au départ, mis l'accent sur les problèmes de santé du travail [9, 14, 24]. La procédure en sept étapes proposée par Filskov et Goldschmidt [11] et reprise par le HSE [16] est à l'origine de la démarche proposée ci-dessous. Sørensen et Styr Petersen décrivent une méthode générique pour la recherche de solutions de substitution adaptées aux procédés complexes [24]. Certin, en France, met l'accent sur la contribution des fournisseurs à qui les entreprises soumettent des cahiers des charges intégrant les dimensions incendie, toxicologie et environnement [1].

Les Américains se sont penchés en priorité sur les aspects environnementaux dans une perspective de prévention de la pollution. La procédure en huit étapes de Callahan et Green [17] se rapproche conceptuellement de celle de Goldschmidt [9] et sert également de base à notre démarche. Joback a développé une procédure en quatre étapes faisant largement appel aux paramètres physico-chimiques des solvants et surtout applicable aux industries chimiques et pharmaceutiques [22]. Shapiro propose lui aussi un cadre de décision pour la substitution en quatre étapes, mettant l'accent sur les aspects techniques et économiques avant de prendre en considération les dimensions de santé-sécurité et de l'environnement [20]. La méthode de l'évaluation du coût total (*total cost assessment*) doit permettre de tenir compte de l'ensemble des coûts, des revenus et des économies incluant la conformité réglementaire, la surveillance environnementale, la formation, la responsabilité et l'image de l'entreprise. Gray et Hartwell ont développé un arbre de substitution pour faciliter le processus complexe de décision et tenant compte à la fois des dimensions de l'exposition et du danger [21]. L'exposition peut avoir lieu lors de l'utilisation des produits et de la gestion des déchets et toucher dans chaque cas l'environnement, avec des effets globaux ou locaux, les travailleurs, la communauté et les consommateurs avec des effets sur la sécurité et la santé. L'approche la plus systématique et la plus détaillée provient de l'USEPA¹ qui propose les méthodes et les ressources nécessaires à la conduite d'une évaluation des substituts, dans le cadre de projets à portée sectorielle visant l'implantation de technologies plus propres [23]. Les dix étapes d'un projet vont de l'établissement de partenariats avec les diverses parties prenantes jusqu'à la diffusion des résultats aux mêmes interlocuteurs, en passant par l'évaluation elle-même, appuyée sur vingt-deux modules d'information couvrant les six domaines suivants : le procédé, l'amélioration environnementale, le choix entre solutions de remplacement, le risque, la compétitivité et la conservation. Fortement axée sur la participation et l'information, cette approche ne va cependant pas jusqu'à recommander formellement une solution particulière.

● Démarche proposée

Bégin et Gérin [25] ont proposé une approche en neuf étapes dérivée d'une synthèse des méthodes de Goldschmidt et Filskov [9, 14] d'une part et de Callahan et Green [17] d'autre part, et de l'étude approfondie de sept cas de substitution dans des entreprises québécoises. Cette démarche est rédigée du point de vue d'un intervenant extérieur à l'entreprise, qu'il appartienne au secteur privé ou public, et appelé à résoudre un cas de substitution de solvant. Toutefois les grandes lignes sont

1. <http://www.epa.gov/dfe/pubs/tools/ctsa/index.html>

également applicables dans le cas d'une prise en charge complète du projet de substitution par l'entreprise elle-même.

Première étape : identification du problème

L'objectif de cette étape est de faire le point sur le problème à résoudre. Cette étape comprend essentiellement l'établissement des premiers contacts avec l'entreprise et la discussion du problème à l'origine de l'idée de substitution d'un solvant. L'entreprise explicite les raisons motivant son désir d'éliminer le solvant incriminé : santé, sécurité, environnement, réglementation, coûts ou autres. Une visite de reconnaissance des locaux de travail est effectuée afin de rencontrer les personnes concernées : ingénieurs, contremaîtres et travailleurs effectuant la tâche impliquant le(s) solvant(s) incriminé(s).

Valable lors d'une expertise externe, cette étape initiale reste relativement théorique dans le cas d'une démarche interne à l'entreprise, les paramètres étant nécessairement déjà connus.

Deuxième étape : formation du comité de substitution

L'objectif de cette étape est d'assurer une base administrative solide au projet de substitution. Il s'agit de constituer un comité de substitution et de signer un accord avec l'entreprise et le ou les organismes externes. Le comité de substitution est composé au minimum d'un responsable, technique dans l'idéal, de la compagnie et d'un spécialiste en hygiène industrielle de l'organisme externe. Au Québec, l'inspecteur de la CSST devrait être invité à participer au comité. De plus, l'équipe pourra s'adjoindre diverses personnes pouvant s'y impliquer de façon ponctuelle comme un contremaître, un délégué du personnel, un représentant du service de l'assurance-qualité, une personne du service des achats ou un spécialiste du service des finances de l'entreprise. Les objectifs et la démarche du projet de substitution sont clairement présentés dans une courte lettre d'entente ainsi que la liste des membres du comité de substitution. L'appui sans réserve de la direction de l'entreprise pour la réalisation du projet est essentiel.

Comme pour l'étape précédente, la formation et la formalisation d'un comité de substitution correspondent à la situation d'une expertise externe permettant de s'assurer de la collaboration pleine et entière de l'entreprise. En pratique, quelle que soit la situation, il est clair que la démarche doit être coordonnée à toutes les étapes par une seule et même personne, qui devra s'appuyer sur des compétences multiples à l'intérieur de l'entreprise et faire état de l'avancement de ses travaux. En France, le médecin du travail devrait nécessairement y être impliqué et pourrait même jouer le rôle de coordonnateur du projet. Certin recommande plutôt que la démarche soit menée par l'entreprise [1]. Au Québec, dans les cas de surexposition, l'implication de l'inspecteur de la CSST peut constituer une motivation importante pour l'entreprise, démontrant sa volonté de correction du problème. La rédaction d'un plan d'action détaillé est irréalisable à ce stade. Cependant, en raison de l'implication souhaitable de divers cadres, professionnels et employés sur une assez longue période, il est essentiel que l'entreprise s'engage au plus haut niveau hiérarchique possible, par exemple par une lettre d'entente. En pratique, les étapes 1 et 2 sont souvent réalisées simultanément.

Troisième étape : étude du problème et définition des critères de sélection

Cette étape comprend l'étude détaillée du procédé et des tâches impliquant le solvant à remplacer. L'annexe, p. 57, rappelle les différents points à contrôler dans la collecte d'information sur le procédé. La littérature spécialisée apporte un complément d'information assurant ainsi une compréhension optimale dans le cas des procédés complexes. Le comité de substitution effectue une analyse fonctionnelle du solvant à remplacer, c'est-à-dire se penche notamment sur les raisons de l'utilisation du solvant et sur les procédures de travail. Plusieurs visites de l'entreprise sont

nécessaires afin d'observer le procédé et les employés à des moments différents. Des entretiens avec des employés peuvent s'avérer nécessaires afin d'obtenir des renseignements non connus. Les rapports d'hygiène industrielle pertinents sont étudiés et, si nécessaire, des mesures sont effectuées pour établir les niveaux d'exposition des travailleurs au solvant à remplacer. Les données quantitatives sur l'utilisation des solvants sont obtenues des services concernés. Cette étape se poursuit par la rédaction d'un texte décrivant le procédé et les méthodes de travail, l'utilisation du solvant et l'exposition des travailleurs. Les critères de sélection d'un nouveau solvant ou d'un changement de procédé sont également définis à cette étape par le comité de substitution à la lumière des aspects techniques du procédé, des coûts, du cahier des charges des produits finis mais également des facteurs sanitaires, de sécurité et environnementaux.

Étape essentiellement technique et laborieuse, elle ne doit pas cependant se limiter à la seule description du procédé et du solvant incriminés. Il est souhaitable en effet de remonter le plus loin possible la filière des exigences techniques pour établir les besoins satisfaits par l'utilisation du solvant et leur pertinence. Par exemple, il ne suffit pas de dire qu'un solvant donné est utilisé pour nettoyer des pièces en cours de production, il faut aussi se poser la question de l'origine des salissures et de l'utilité de la propreté de la pièce dans le processus de production. La liste de contrôle s'avère utile mais ne remplace pas un certain travail de détective pour rassembler une information disparate et généralement documentée de façon peu systématique dans l'entreprise.

Quatrième étape : proposition d'options de rechange

L'objectif de cette étape est de faire un inventaire aussi large que possible des solutions envisageables. C'est la phase des idées faisant appel à un « remue-ménages » et une remise en question approfondie. La série d'options, que ce soit des produits de remplacement ou des procédés de substitution, doit être la plus large possible. Cette étape fait appel à une panoplie de sources d'information (*cf. p. 51*). De nombreuses personnes-ressources sont contactées, notamment le personnel technique de l'entreprise ou d'autres usines affiliées, les travailleurs utilisant les solvants à remplacer, les membres d'associations industrielles et les spécialistes chez les fournisseurs de solvants. Des recherches documentaires sont effectuées dans des bases de données bibliographiques générales et spécialisées. Des recherches sur l'Internet : sites web en sécurité et en santé du travail mais aussi en prévention de la pollution sont également effectuées. Des groupes de discussion sur l'Internet dans les mêmes domaines sont mis à contribution. Des logiciels spécialisés peuvent être utilisés pour trouver des pistes de solution si le problème étudié s'y prête (*cf. p. 47*). Les options sont ensuite sélectionnées en éliminant le plus grand nombre sur la base de critères de sécurité, sanitaires, environnementaux ou techniques évidents (p. ex. inflammabilité de la méthyléthylcétone, cancérogénicité du perchloréthylène, destruction de la couche d'ozone par les hydrochlorofluorocarbures, temps de gommage inadéquat d'un adhésif, aspects réglementaires, coûts exorbitants).

Il s'agit ici d'une étape importante car elle gouverne l'ouverture de la démarche et témoigne de son sérieux. Bien que les fournisseurs jouent un rôle critique de proposition [1], leur seule contribution ne peut être retenue en raison de leur possible partialité et de la richesse de plus en plus grande de l'information disponible ailleurs (*cf. p. 51*). Il est clair d'autre part que plus la démarche est sensible, plus les solutions proposées risquent d'être irréalistes. Un premier tri doit être documenté et consensuel, permettant de restreindre le nombre d'options pour les étapes ultérieures. Il implique que la multidisciplinarité de l'équipe soit respectée.

Cinquième étape : essais à petite échelle

Lorsqu'une multiplicité d'options a été retenue à l'étape précédente, il est primordial de réduire leur nombre en procédant à des tests de laboratoire. S'il existe un nombre limité d'options, les tests sont aussi nécessaires pour permettre de

s'engager dans les étapes ultérieures. Dans certains cas, les essais peuvent être effectués directement au poste de travail mais toujours à petite échelle. Un protocole de test est élaboré par le comité de substitution en collaboration avec le laboratoire de recherche et développement ou le service d'assurance qualité de l'entreprise. Les tests sont effectués en prenant toutes les précautions nécessaires pour éviter une exposition induite des travailleurs par toutes les voies d'absorption. Les options sont alors sélectionnées sur la base de leur aptitude à satisfaire les exigences techniques de l'entreprise.

Ce tri par essais, qui se doit de rester simple mais rigoureux, reflète l'importance essentielle de la dimension technique [1] et assure la crédibilité de la démarche auprès de l'entreprise. Shapiro propose que seules les solutions ayant fait leur preuve technique ailleurs soient sélectionnées mais reconnaît que les essais permettent l'analyse la plus complète des effets de nouvelles formulations sur la production [20]. Les études de cas au Québec [25] ont montré l'intérêt de cette étape avant de se lancer dans la recherche intensive des impacts potentiels d'un grand nombre d'options retenues dans l'étape précédente (de 7 à 23 selon les cas).

Sixième étape : évaluation des conséquences des options retenues

L'objectif de cette étape est de documenter les impacts potentiels des options retenues. Ces dernières sont évaluées en fonction de leurs conséquences sur les facteurs suivants : sécurité et santé du travail, environnement, coûts, méthode de travail, formation des employés. Une recherche dans les bases de données bibliographiques et les banques de données factuelles est effectuée pour chacune des solutions envisagées. Par ailleurs, les fiches de sécurité des substances et des techniques ou autres documentations sont obtenues des fournisseurs de solvants et des produits de remplacement. L'expérience collective d'hygiénistes industriels, d'ingénieurs et de chimistes étrangers est mise à contribution par l'intermédiaire des groupes de discussion sur l'Internet spécialisés en SST, en prévention de la pollution et en technologie, pour s'enquérir des problèmes potentiels rencontrés avec les « nouveaux » solvants ou les procédés (cf. p. 51). Des visites peuvent être organisées dans des entreprises où le solvant ou le procédé a déjà été mis en œuvre avec succès. Les fournisseurs de solvants peuvent servir de personnes-ressources pour établir ces contacts. Il peut aussi être nécessaire de contacter les clients de l'entreprise afin de discuter de leurs exigences quant au produit fini.

Il s'agit ici de recueillir un profil le plus complet possible de données externes sur un petit nombre d'options retenues. Les conséquences toxicologiques et environnementales découlent de la liste des ingrédients obtenue des fiches de sécurité des substances. La plupart des informations pertinentes proviennent de sources facilement accessibles telles que les documents critères de l'AIHA [26] ou de l'ACGIH [27] et de banques de données disponibles sur le web comme HSDB¹ et SOLV-DB (cf. p. 51). Des bases de données sur l'écotoxicologie comme *Aquatic Sciences and Fisheries Abstracts, Part 3 : Aquatic Pollution and Environmental Quality*² sont utiles pour identifier des éléments concernant la toxicologie environnementale de certaines substances.

Septième étape : comparaison des options et choix

L'objectif de cette étape est de comparer les diverses solutions entre elles et avec la situation originale afin de procéder au choix final. L'information est synthétisée de façon à faire ressortir les principaux avantages et inconvénients, par exemple sous la forme de tableaux. La meilleure option est sélectionnée en fonction des critères définis à la troisième étape.

1. *Hazardous Substances Data Bank* : <http://toxnet.nlm.nih.gov/>

2. *Cambridge Scientific Abstracts, Bethesda* : <http://www.csa.com>

Cette étape est critique car elle gouverne le choix final mais parfois complexe, mettant en jeu plusieurs dimensions de la décision. Tous les auteurs s'accordent sur le fait qu'il n'y a pas de recette unique, les situations étant très différentes selon la taille et les moyens de l'entreprise, son type d'activité, le contexte réglementaire et l'appui des autorités publiques. Certains des outils présentés ci-dessous peuvent guider la décision. L'équilibre entre les diverses dimensions (p. ex. santé, environnement et coûts) ayant mené au choix initial des critères, pourrait être remis en question lors de cette étape. Des compromis sont souvent nécessaires, mais la décision finale doit être explicitée et expliquée, si elle n'est pas adoptée de manière consensuelle (cf. aussi p. 54).

Huitième étape : implantation

L'objectif de cette étape est de mettre en œuvre la solution retenue. L'entreprise sollicite le support du fournisseur pour la formation des utilisateurs. L'implantation est faite de façon graduelle sur un poste de travail puis sur l'ensemble. L'exposition des travailleurs au nouveau produit est mesurée afin de s'assurer de la salubrité du milieu de travail. La collecte des commentaires techniques sur l'utilisation d'un nouveau produit ou procédé est effectuée systématiquement par les contremaîtres.

Lors de l'implantation, étape essentiellement technique, il faut néanmoins s'assurer du respect de l'ensemble des règles d'hygiène et de sécurité applicables à la nouvelle situation (p. ex. ventilation, protection personnelle) en utilisant l'information détaillée recueillie aux étapes antérieures. Cette étape demande donc une vigilance particulière en ce qui concerne la prévention, comme l'a souligné Certin [1].

Neuvième étape : évaluation

Cette dernière étape doit permettre de mesurer l'atteinte des objectifs de départ et d'apporter des corrections éventuelles. Un bilan des divers aspects reliés à la nouvelle procédure est préparé qui peut comprendre notamment la qualité technique, les résultats de mesure de contaminants nouveaux et le bilan de masse des solvants, en comparaison avec la situation antérieure. La survenue possible de nouveaux problèmes de santé et sécurité du travail doit être documentée notamment par une surveillance sanitaire, particulièrement importante en cas d'introduction de nouveaux produits. Il est souhaitable que l'information sur les substitutions réussies puisse être diffusée pour profiter au plus grand nombre.

■ Outils

Nous présentons ici certains des outils qui facilitent le choix d'options et en prenant en compte une ou plusieurs des dimensions de la substitution.

● SAGE et Coatings Guide

*SAGE (Solvent Alternatives Guide*¹) est un système expert utilisé pour le remplacement des solvants dans le nettoyage de surfaces métalliques ou autres. À travers une série de questions telles que les dimensions des pièces à nettoyer, la nature du substrat et des salissures, le degré de propreté exigé, l'internaute est guidé vers un choix de solutions de remplacement tenant compte des caractéristiques des objets à nettoyer et des conditions à respecter. *SAGE* a été développé au début des années

1. <http://clean.rti.org>

1990 pour aider les entreprises aux États-Unis à éliminer les solvants détruisant la couche d'ozone tel que le 1,1,1-trichloréthane.

De la même façon, *Coatings Guide*¹ (guide des revêtements) est un système expert utilisé pour le remplacement des peintures, des laques et des vernis contenant des solvants volatils ou toxiques par des revêtements moins volatils ou dangereux dans une perspective de prévention de la pollution. À travers une série de questions telles que la nature du système de peinture utilisé et du subjectile, la dimension des pièces à peindre, le rôle de la peinture, l'utilisateur pourra faire un choix parmi diverses solutions de rechange qui tiennent compte des exigences du système de revêtement actuellement utilisé. Il pourra même estimer les coûts d'un changement de système de peinture et d'équipement et obtenir les caractéristiques techniques de certains revêtements commerciaux de remplacement incluant leur concentration en COV.

SAGE et *Coatings Guide* constituent des outils utiles pour obtenir une vue d'ensemble des différentes solutions de rechange pour le remplacement des solvants de nettoyage et des revêtements. Ces systèmes experts devraient être les premiers outils utilisés dans des projets de substitution mettant en œuvre des solvants de nettoyage de surfaces ou des revêtements organiques. Malgré le fait que ces logiciels ont été développés d'abord pour protéger l'environnement extérieur, la dimension santé et sécurité du travail est abordée sommairement dans plusieurs fiches présentant les solutions de rechange.

● BP Solve et Shell BlendPro

Certaines sociétés pétrolières proposent aux clients utilisant leurs solvants, en particulier les fabricants de peintures industrielles, des logiciels pour les aider à reformuler leurs produits pour des raisons techniques, de coûts ou en raison de nouvelles réglementations environnementales. C'est le cas de la société BP Chemicals avec le logiciel *BP Solve* et de la société Shell Chemical avec son logiciel *Shell BlendPro*. Ces outils permettent de remplacer des solvants en estimant les propriétés des nouveaux mélanges de solvants tels que le pouvoir de solubilisation et l'évaporation à partir de modèles comme les paramètres de solubilité ou les coefficients d'activité UNIFAC [28, 29]. D'autres logiciels semblables existent (p. ex. *Co-Solve-it!*²) dont l'un est disponible en ligne sur un site web³. Qu'il utilise l'un ou l'autre des logiciels de formulation des solvants (p. ex. *BP Solve*, *Shell BlendPro*, *Co-Solve-it!*), l'utilisateur n'identifiera probablement pas un nouveau mélange acceptable de remplacement dès la première fois. Il devra fonctionner par essai-erreur. Des compromis devront occasionnellement être faits. Par exemple, il faudra accepter un temps de décapage un peu plus long quand on remplace le dichlorométhane, solvant traditionnel toxique dans les décapants à peintures, par les « nouveaux » solvants tels que la NMP ou le DMSO. Cependant, ce genre de logiciels ne prend pas en compte, du moins de façon approfondie, les propriétés toxiques des divers solvants proposés, d'où l'importance pour l'utilisateur de faire appel à d'autres sources d'information en ce qui concerne les questions sanitaires⁴.

1. <http://cage.rti.org>

2. www.engineering.com/freewares/cosolvit.zip

3. <http://www.solventcentral.com>

4. Signalons la présentation récente d'une stratégie, dite des vecteurs tournants, qui permet d'optimiser la formulation de mélanges en fonction de quelques variables techniques, de toxicité et de coût (S. Alex : Utilisation de vecteurs tournants pour l'optimisation de la formulation de mélanges de solvants, *Can. J. Chem.*, 2002, 80, 350-361).

Il est important de retenir que l'indice SUBFAC en soi n'a pas de signification absolue mais qu'il n'est utile que dans la comparaison entre diverses solutions de rechange. Nous renvoyons le lecteur aux articles d'Olsen et coll. [7, 31] pour une description plus complète des indices SUBFAC et de l'usage du logiciel *SUBTEC*. Un des grands avantages de ce logiciel est qu'il permet également, sur la même base que les logiciels purement techniques vus plus haut (cf. p. 48), de suggérer des solutions de remplacement ayant des propriétés de dissolution proches de celles d'un solvant déterminé que l'on veut éliminer.

● PARIS II

Le logiciel *PARIS II*¹, développé par l'USEPA et commercialisé par la société *Technical Database Services* (New York), est semblable à *SUBTEC* mais plus convivial. Il utilise les coefficients d'activité UNIFAC pour prédire la solubilité et les propriétés chimiques des mélanges de solvants. Il n'emploie pas les paramètres de solubilité de Hansen (Mildred R. Green, TDS, communication personnelle, 1^{er} mai 2001). *PARIS II* donne la possibilité à l'utilisateur d'assigner un poids relatif sur une échelle ordinale aux huit catégories d'effets potentiels suivants, concernant le solvant ou le mélange de solvants qu'il propose comme solution de rechange au produit initial : toxicité humaine par ingestion, toxicité humaine par inhalation ou contact cutané, PDO, PRG, PFO, potentiel de génération de pluies acides (PPA), toxicité aquatique et toxicité terrestre. L'utilisateur peut ainsi choisir les priorités de la solution de remplacement en fonction de sa situation concrète, par exemple en mettant l'accent sur la protection de l'air atmosphérique en région urbaine tout en acceptant des produits substitutifs relativement toxiques pour les plans d'eau parce qu'aucun effluent aqueux n'est envisagé. Pour les effets sanitaires, *PARIS II* utilise la DL₅₀ par voie orale chez le rat pour estimer la toxicité humaine par ingestion et les TLV de l'ACGIH, les PEL d'OSHA ou les REL de NIOSH pour estimer la toxicité humaine par inhalation ou par contact cutané. Le logiciel permet à l'utilisateur de fixer des limites pour les propriétés désirées du solvant ou du mélange de substitution comme le point d'ébullition, la tension de vapeur, la tension superficielle, la viscosité, la conductibilité thermique et le point d'éclair.

● IRCHS

Afin de simplifier le problème de comparaison des divers dangers des solvants l'*Indiana Clean Manufacturing Technology and Safe Materials Institute*² de l'université Purdue (West Lafayette) propose l'indice de danger chimique relatif de l'État de l'Indiana³ (IRCHS), indice qui prend en compte de façon détaillée l'impact des substances chimiques sur l'environnement (air, eau, sol) ainsi que sur la santé et la sécurité des travailleurs qui les manipulent. Un score IRCHS a été calculé pour quelque 1 150 substances. Une documentation détaillée est disponible concernant la méthodologie d'élaboration des scores, notamment pour l'impact sur la santé et la

1. *Program for Assisting the Replacement of Industrial Solvents* : programme informatique pour aider au remplacement des solvants industriels. Les renseignements techniques concernant *PARIS II* ont été obtenus de la fiche de données du logiciel et d'un fichier au format RTF accompagnant le logiciel de démonstration que l'on peut télécharger gratuitement à partir du site web du distributeur (<http://www.tds-tds.com>).

2. Institut pour les technologies de fabrication propre et les matériaux sécurisés de l'État de l'Indiana.

3. *Indiana Relative Chemical Hazard Score* : indice de danger chimique relatif de l'État de l'Indiana : <http://www.ecn.purdue.edu/CMTI/> et cliquer successivement sur les hyperliens *Solvent Substitutions* et *3P2M*.

● Indices de danger toxique, rapport de danger de vapeur

Même avec des informations toxicologiques complètes, la comparaison entre une substance et des substituts éventuels n'est pas toujours facile. Une des approches consiste à comparer les « indices de danger » dérivés des valeurs limites d'exposition en milieu de travail (VLE) [7, 9, 14, 30]. Tout d'abord, les VLE elles-mêmes peuvent être comparées, avec l'idée que plus la VLE est basse plus le danger est grand. Cette approche, beaucoup trop simpliste, ne tient pas compte, entre autres, du fait que le niveau de danger ne dépend pas uniquement de la toxicité mais aussi de la volatilité d'une substance. Ainsi un solvant pourrait avoir une VLE deux fois plus grande qu'un autre (donc apparaître « moins dangereux ») mais une volatilité dix fois plus grande, ce qui donne une situation d'exposition plus dangereuse. Il faut donc pouvoir corriger la VLE par la volatilité. C'est ce qui est obtenu en utilisant le VHR (*vapour hazard ratio* ou rapport de danger de vapeur). Le VHR est le rapport entre la concentration de vapeur saturante d'une substance et sa VLE. La concentration de vapeur saturante est la concentration de la vapeur en équilibre avec la substance pure, valeur obtenue directement à partir de la pression de vapeur saturante¹. Le VHR exprime donc combien de fois, au maximum, une substance peut dépasser sa VLE de par ses propriétés intrinsèques de volatilité. C'est une sorte de propension de la substance à dépasser la VLE. Ce concept a été décrit par Pependorf comme guide pour les opérations de ventilation et pour la substitution [30]. Par exemple le VHR du disulfure de carbone est de 47 500 contre 87 pour le xylène.

Pour les mélanges, il est en théorie possible de calculer un VHR qui soit la somme des valeurs individuelles de VHR pour chacune des substances, pondérée par leur fraction molaire [9]. Cette approche, inspirée de la pratique de calcul des VLE pour les mélanges en hygiène industrielle, ne convient cependant, dans le cas du VHR, qu'aux mélanges dits « idéaux » du point de vue physico-chimique, c'est-à-dire ceux pour lesquels la pression de vapeur n'est gouvernée que par leur proportion dans le liquide. La grande majorité des solvants sont des mélanges et la très grande majorité des mélanges de solvants sont loin d'être « idéaux », ce qui rend l'approche VHR potentiellement trompeuse. En effet, ces déviations par rapport à l'idéal peuvent être très importantes. Elles font, par exemple, que la concentration dans l'air d'un solvant dissout en faible quantité dans l'eau peut être beaucoup plus importante que celle qui serait calculée sur une base idéale [9].

Olsen propose un type d'indice de danger appelé SUBFAC (*substitution factor*) qui répond au problème de la non-idéalité des mélanges et qui est une généralisation de l'approche VHR à divers types de valeurs limites [7]. L'approche plus complexe nécessite l'utilisation du logiciel SUBTEC présenté ci-dessous.

● Logiciel SUBTEC

Par rapport à l'approche VHR pour un mélange, SUBFAC introduit trois changements. Tout d'abord, on tient compte de la non-idéalité en introduisant des coefficients d'activité. Ceux-ci sont calculés à partir d'un modèle physico-chimique basé sur la structure chimique, la température et la composition du mélange. D'autre part, on remplace l'usage de la concentration de vapeur saturante par l'utilisation du taux d'évaporation qui reflète mieux les conditions dynamiques de l'évaporation. Le taux d'évaporation est relié à la concentration de vapeur saturante et au coefficient de transfert de masse. Finalement, on donne la possibilité de calculer une variété d'indices correspondant à divers standards ou normes de qualité de l'air : VLE professionnelle, VLE pour l'air ambiant extérieur, concentration maximale dans l'air émis à l'extérieur et taux d'émission dans l'air extérieur.

1. Une formule simple pour cette transformation est présentée au chapitre 2.

sécurité des travailleurs [32]. L'IRCHS a l'avantage d'être un outil simple : l'utilisateur n'a qu'à comparer les scores entre eux pour choisir une substance moins dangereuse.

● Codes danois MAL

C'est une procédure pour la détermination du code qui doit apparaître sur tout contenant de peinture, encre, adhésif, décapant, dégraissant et diluant utilisé au Danemark. Le code ayant la désignation MAL est formé de deux chiffres séparés d'un tiret. Le premier chiffre désigne le risque pour la santé provenant de l'inhalation des vapeurs de la substance en question. Le chiffre après le tiret désigne le risque pour la santé provenant du contact cutané ou oculaire ou encore à cause de l'inhalation d'un brouillard ou d'une poussière formée par la substance. La substance peut être un mélange [33]. Hansen affirme que les codes MAL sont très utiles en substitution car il est plus facile de les comparer entre eux que de comparer les ingrédients sur les fiches signalétiques [34].

● P2/Finance

Développé par le Tellus Institute (Boston), *P2/Finance* est un logiciel d'aide à la prise de décision en ce qui concerne les projets d'investissement de prévention de la pollution, se basant sur une évaluation des charges totales [35]. Cet outil permet d'évaluer la faisabilité financière d'un changement de procédé. Il met en lumière les avantages financiers d'un changement de procédé à partir de l'analyse des coûts d'investissement (p. ex. achat d'équipement, installation) et d'opération (p. ex. achat des matériaux, main d'œuvre), des économies réalisées (p. ex. suppression des coûts d'élimination d'un solvant chloré) et de la rentabilité. Ce logiciel fournit des chiffres concrets permettant de convaincre la direction d'une entreprise de la faisabilité d'un projet de substitution.

■ Ressources concernant la substitution des solvants sur l'Internet

Les sources d'information sur les solvants et leur substitution sont abondantes comme en témoignent la bibliographie et les notes des chapitres 2, 3 et 4. Nous ne reviendrons pas ici sur les sources déjà citées, ni sur les outils présentés p. 47.

● Sites web

Le réseau Internet comporte une grande quantité d'informations sur les solvants. Les sites web répertoriés concernent partiellement ou exclusivement la substitution des solvants. Les sites de fiches de données sur la sécurité des substances ou de données toxicologiques ne sont pas recensés. Pour accéder à des sources d'information plus générales en hygiène et en toxicologie industrielles, l'internaute ira consulter le portail de référence en santé et en sécurité du travail (PRESST¹) ou la liste des liens utiles² de l'Institut national de recherche et de sécurité.

1. <http://www.presst.qc.ca>

2. <http://www.inrs.fr/indexliens.html>

Canada

Substitution des solvants en milieu de travail

http://ps.dgtic.umontreal.ca :2040/begind/phase1/la_substitution_des_solvants.htm

Texte intégral au format HTML d'une revue rédigée par les auteurs du présent chapitre concernant les grandes pistes de solution à l'utilisation des solvants dans les secteurs de la peinture, de l'imprimerie, du dégraissage, du décapage et des adhésifs.

Centre canadien d'hygiène et de sécurité du travail

<http://www.ccohs.ca/oshanswers/chemicals/substitution.html>

Résumé des points importants à considérer dans un projet de substitution d'une substance toxique.

Europe

Agence européenne pour la santé et la sécurité du travail

<http://europe.osha.eu.int>

Ce site web comporte une section décrivant des études de cas de remplacement de solvants (cliquer successivement sur *Good Practice*, *Dangerous Substances* et *By Process*).

Bureau européen de prévention intégrée et de contrôle de la pollution

<http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

Cette page web permet de télécharger plusieurs documents de référence présentant les meilleures technologies de prévention de la pollution par secteur industriel. L'utilité de ces documents pour un projet de substitution se situe au niveau de la compréhension fine des procédés industriels.

European Solvents Industry Group

<http://www.esig.org>

Association industrielle de l'industrie européenne des solvants oxygénés et des hydrocarbures.

États-Unis

Agence américaine de protection de l'environnement (USEPA)

<http://www.epa.gov>

Site web extrêmement complet où l'on peut trouver des études de cas et des données sur les procédés et les substances, p. ex. :

Solvent Substitution Data Systems : <http://es.epa.gov/ssds/ssds.html>

Cette page web est un portail vers diverses ressources en substitution des solvants.

EPA Sector Notebooks : <http://es.epa.gov/oeca/sector/index.html>

Cette page web permet de télécharger plusieurs documents de référence décrivant les procédés par secteurs industriels. Ces textes sont utiles pour comprendre les procédés industriels.

Design for the Environment : <http://www.epa.gov/dfe/pubs/allpubs.htm>

Il s'agit de la liste des publications d'un programme de partenariat de l'USEPA avec le secteur privé qui vise à comparer et améliorer les performances, la santé humaine, les risques pour l'environnement et les coûts des substances, les procédés et les pratiques par secteur industriel. Plusieurs documents traitent de substitution des solvants.

Significant New Alternatives Policy (SNAP) :
<http://www.epa.gov/spdpublic/title6/snap/snap.html>

Liste des produits de remplacement pour les substances appauvrissant la couche d'ozone stratosphérique incluant les solvants.

Aqueous Cleaning Technology Review

<http://www.pprc.org/pprc/p2tech/aqueous/aqintro.html>

Pages web du *Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center* décrivant la problématique des nettoyants aqueux pour le dégraissage de surfaces métalliques.

CleanTech For Cleaning Process Improvement

<http://cleantechcentral.com>

Site web privé (*Witter Publishing Corporation, Flemington*) contenant les articles de la revue mensuelle *CleanTech* qui traite de tous les aspects du nettoyage/dégraissage en industrie. Ce site web comporte également des résumés des principales technologies de nettoyage.

Institute for Research and Technical Assistance (IRTA)

<http://home.earthlink.net/~irta/>

Site web d'une organisation californienne à but non lucratif vouée au remplacement des solvants dangereux par des technologies plus propres.

SOLV-DB

<http://solvdb.ncms.org>

Banque de données sur les solvants élaborée par le *National Center for Manufacturing Science* (Ann Arbor) comprenant des informations sur les propriétés physico-chimiques et d'autres données utiles en santé et en sécurité du travail et en protection de l'environnement.

Les sites web des fabricants de solvants sont également des sources d'information utile.

● Groupes de discussion

Les groupes ou les forums de discussion permettent à l'internaute d'entrer facilement et rapidement en contact avec des collègues à travers le monde. Il en existe deux grandes catégories : les groupes de discussion par gestionnaire de liste de diffusion (*list-serv*) et les groupes de discussion situés sur des sites web. Nos travaux nous ont appris que les groupes de discussion peuvent être extrêmement utiles dans un projet de substitution. Il est en effet possible de communiquer avec des spécialistes dans des domaines très pointus. À titre d'exemple, l'*Institute for Interconnecting and Packaging Electronic Circuit*, une association industrielle œuvrant dans le domaine de la fabrication des circuits électroniques aux États-Unis, propose divers forums de discussion spécialisés sur son site web (<http://www.ipc.org/html/forum.htm>). L'abonnement est gratuit de sorte que l'internaute peut s'inscrire pour trouver une réponse à ses questions techniques puis

se désabonner. Il existe des milliers de groupes semblables dont plusieurs sont répertoriés sur <http://tile.net>.

Il existe un groupe de discussion concernant exclusivement les solvants. On y traite des questions techniques, de santé et de sécurité du travail et d'environnement.

The Solvents Group : http://groups.yahoo.com/group/solvents_group/

De plus, le site web *CleanTech* mentionné plus haut comporte un forum de discussion sur les questions de nettoyage industriel.

Plusieurs groupes de discussion existent dans le domaine de la santé et de la sécurité du travail. Ces groupes peuvent être utilisés pour discuter des conséquences de l'utilisation d'un « nouveau » solvant ou d'un changement de procédé.

AQHSSTLST : http://www.aqhsst.qc.ca/index_forum.htm

Groupe de discussion de l'Association québécoise pour l'hygiène, la santé et la sécurité du travail.

Hygiène et sécurité Canada : <http://www.cchst.ca/hscanada/hscanada.html>

Groupe de discussion parrainé par le Centre canadien d'hygiène et de sécurité du travail.

Forums de MEDITRAV : <http://www.meditrav.com>

Groupes de discussion pour les médecins du travail et autres spécialistes en santé et sécurité du travail.

AIHAIH-List : <http://www.aiha1.org/Committees/CAC/ih-list-FAQ.htm>

Groupe de discussion de l'*American Industrial Hygiene Association*.

Occ-Env-Med-L : <http://occ-env-med.mc.duke.edu/oem/occ-env-.htm>

Groupe de discussion pour les professionnels de la santé du travail et de la santé environnementale.

SAFETY : <http://siri.uvm.edu/mail/safety/join.html>

Groupe de discussion parrainé par Ralph Stuart de l'université du Vermont, un pionnier dans l'utilisation de l'Internet en santé et en sécurité du travail.

Le groupe de discussion suivant traite de technologie en prévention de la pollution. Il regroupe de nombreux spécialistes (p. ex. ingénieurs, chimistes) habilités à fournir de l'information technologique aux sociétés privées, principalement aux États-Unis. Ce forum est utile pour discuter avec des spécialistes qui connaissent bien les nouvelles technologies propres.

P2TECH : <http://www.great-lakes.net/lists/p2tech/search.html>

■ Conclusion

Depuis l'accélération apportée dans les années quatre-vingt par la réglementation environnementale, la problématique de la substitution des solvants a pénétré tous les secteurs d'activité économique et fait l'objet d'un nombre grandissant de rapports. Ce chapitre visait à faire le point sur les approches adoptées ou recommandées dans l'implantation de la substitution en entreprise. La nature multifactorielle de la substitution implique une approche structurée, visant à éviter les dérapages qui pourraient résulter de décisions hâtives, mal informées ou négligeant une des diverses dimensions critiques.

Il ressort de la revue de littérature un certain nombre de modèles d'implantation, adaptés à des contextes divers : entreprise ou secteur industriel, PME ou grande entreprise, priorité environnementale ou sanitaire, type de prise en charge de la SST. La démarche proposée en neuf étapes se veut une synthèse validée par des études de cas en PME au Québec, qui ne s'applique donc pas nécessairement directement à d'autres contextes. Cependant les grands paramètres restent constants. De plus, comme le soulignent la plupart des auteurs, la structuration en étapes est compatible

avec une démarche non linéaire, impliquant des allers-retours entre étapes, ou la réalisation simultanée de plusieurs d'entre elles.

C'est l'étape de comparaison entre solutions alternatives qui présente souvent le plus de difficultés au préventionniste. Au-delà des considérations financières et organisationnelles, qu'il faut aborder dans le contexte particulier de chaque entreprise, une fois la faisabilité technique établie, le choix se fait en fonction de critères de santé et de sécurité du travail et d'environnement et nécessite de consulter les sources et les outils divers présentés ci-dessus. Il n'existe pas cependant de méthode unique qui soit à la fois rapide et complète. On doit connaître par exemple les limitations des divers indices de danger ou des scores présentés p. 47, mais qui ne peuvent être les seuls critères de décision. En raison des incertitudes qui accompagnent ces choix, les améliorations doivent être importantes pour qu'une substitution soit considérée comme intéressante. Certains logiciels sont spécialisés (p. ex. nettoyage, peinture), d'autres sont peu abordables pour une PME. Chaque situation devra donc faire l'objet d'une analyse propre avec les outils disponibles, et le choix sera souvent effectué qualitativement en fonction d'informations provenant de diverses sources. L'Internet est à cet égard d'une grande richesse. On peut cependant déplorer le peu d'études de cas publiées explicitant les méthodologies mises en œuvre.

Le respect de la réglementation peut constituer la principale motivation d'une démarche de substitution, mais en l'absence de réglementation, les coûts jouent un rôle presque exclusif dans cette démarche. Une attitude proactive apparaît donc souhaitable. N'oublions pas que l'élimination des dangers à la source demeure l'objectif de la prévention. À moyen terme, l'anticipation des tendances, notamment internationales, constitue un élément de motivation et de marketing. Au-delà de la réglementation c'est un des défis du préventionniste que de persuader l'entreprise et ses travailleurs des bénéfices qu'ils peuvent retirer de cette démarche.

Bibliographie

1. Certin J.F. — Solvants : la démarche de substitution. *Arch. mal. prof.*, 1998, 59, 270-271.
2. Forbes S. — Substituting for hazardous substances. Occupational health and safety '93. Toronto, 1993. *Environment Canada. Great Lakes Pollution Prevention Centre, Sarnia*, 1993.
3. Huisingh D. — Cleaner technologies through process modifications, material substitutions and ecologically based ethical values. *UNEP Industry and Environment*, 1989, 12, 4-8.
4. Laden F., Gray G.M. — Toxics use reduction : pro and con. *Risk. Issues in Health and Safety*, 1993, 4, 213-234.
5. Russell J. — Substitution under COSHH. *Industrial relations review and report*, 1992, 517, 5-7.
6. Kennedy M.L. — Getting to the bottom line : how TCA shows the real cost of solvent substitution. *Pollution Prevention Review*, 1994, 4, 155-164.
7. Olsen E., Olsen I., Wallstrom E., Rasmussen D. — On the substitution of chemicals. Use of the *Subfac*-index for volatile substances. *Ann. Occup. Hyg.*, 1992, 36, 637-652.
8. Sørensen F., Styhr Petersen H.J. — Substitution of organic solvents. *Staub. Reinhaltung der Luft*, 1992, 52, 113-118.
9. Goldschmidt G. — An analytical approach for reducing workplace health hazards through substitution. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1993, 54, 36-43.
10. Goldschmidt G., Olsen E., Svane O. — On the substitution of carcinogens in the working environment. *Pharmacology and Toxicology*, 1993, 72, 139-143.
11. Filskov P., Goldschmidt G., Hansen M.K., Höglund L., Johansen T., Pedersen C.L., Wibroe L. — *Substitution in practice : Company Health Service experiences (Substitution i praksis - erfaringer fra BST)*. United Kingdom Health and Safety Executive translation number 14350I (may 1992). Working Environment Fund (Arbejds miljøfondet), Copenhagen, 1989, 191 p. (155 p. dans l'édition danoise).
12. Bradley K., Hager F. — A change for the better. How to replace hazardous materials with less dangerous substitutes. *Occupational Health and Safety Canada*, 1990, 6, 86-88, 90,92.

13. Brun J.P., Loïselle C.D. — Les habiletés préventives. Un métier de préventionniste en transformation. *Travail et Santé*, 2000, 16, 10-12, 14-15.
14. Filskov P., Goldschmid G., Hansen M.K., Höglund L., Johansen T., Pedersen C.L., Wibroe L. — *Substitutes for Hazardous Chemicals in the Workplace*. CRC Press, Inc./Lewis Publishers, Boca Raton, 1996, 175 p.
15. Goldschmid G., Filskov P. — Substitution. A way to obtain protection against harmful substances at work. *Staub. Reinhaltung der Luft*, 1990, 50, 403-405.
16. HSE — *Seven Steps to Successful Substitution of Hazardous Substances*. United Kingdom Health and Safety Executive, HSE Books, Sudbury, 1994, 24 p.
17. Callahan M.S., Green B. — *Hazardous Solvent Source Reduction*. McGraw-Hill, New York, 1995, 355 p.
18. Sørensen F., Styhr Petersen H.J. — Substitution of hazardous chemicals and the Danish experience. *Occup. Hyg.*, 1995, 1, 261-278.
19. Wolf K. — The generic classification system : a simplified approach to selecting alternatives to chlorinated solvents. *Pollution Prevention Review*, 1993-1994, 4, 15-29.
20. Shapiro K., Little R., White A. — To switch or not to switch : A decision framework for chemical substitution. *Pollution Prevention Review*, 1993-1994, 4, 3-13.
21. Gray G.M., Kassalow Hartwell J. — *The Role of Risk in Chemical Substitution Decisions*. Toxics Use Reduction Institute, University of Massachusetts (Methods and Policy Report n° 8), Lowell, 1994, 18 p.
22. Joback K.G. — Solvent substitution for pollution prevention. In : M.M. El-Halwagi et D.P. Petrides (éd.). *Pollution Prevention via Process and Product Modifications (AIChE Symposium series number 303, volume 90)*. American Institute of Chemical Engineers, New York, 1994, 98-103.
23. Kincaid L.E., Meline J.D., Davis G.A. — *Cleaner Technologies Substitute Assessment. A Methodology and Resource Guide*. United States Environmental Protection Agency, Office of Pollution Prevention and Toxics (EPA744-R-95-002). Produced under EPA Grant Number X821-543 to The University of Tennessee, Center for Clean Products and Clean Technology, Washington, 1996.
24. Sørensen F., Styhr Petersen H.J. — A process-based method for substitution of hazardous chemicals and its application to metal degreasing. *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 1991, 8, 69-84.
25. Bégin D., Gérin M. — *Substitution des solvants. Études de cas d'implantation*. Institut de recherche Robert-Sauvé en santé et en sécurité du travail (R-269), Montréal, 2001.
26. AIHA. — *Workplace Environmental Exposure Level Guides*. American Industrial Hygiene Association, Fairfax, 1999.
27. ACGIH. — *Documentation of the Threshold Limit Values and Biological Exposure Indices*. American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, 7^e ed, 2001.
28. Shell. — *Shell BlendPro™ Computer Blend Program*. Shell Chemical Company, Houston, 1996, 6 p.
29. BP Chemicals. — *BP Solve Version 3 for Windows*. BP Chemicals Limited, Londres, 1996.
30. Pependorf W. — Vapor pressure and solvent vapor hazards. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 1984, 45, 719-726.
31. Olsen E., Olsen I., Wallstrøm E., Rasmussen D. — The Subtec Software Package : A tool for risk assessment and risk reduction by substitution. *Occup. Hyg.*, 1998, 4, 333-353.
32. Whaley D.A. — *Project Report : Development of a Worker Hazard Score for Individual Chemicals*. Indiana Pollution Prevention and Safe Materials Institute, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, 1996, 56 p.
33. DWES. — *Executive Order n° 301 of 13 May 1993 on the Determination of Code Numbers*. Arbejdstilsynet (Danish Working Environment Service), Copenhagen, 1993, 65 p.
34. Hansen M.K. — Substitution of Organic Solvents in Denmark. Substitution of Organic Solvents from the view of Occupational Safety and Health : Information-Needs in EU Member States and Industries. Hambourg, 11 et 12 octobre 1999. *Kooperationsstelle Hamburg*, Hambourg, 1999, 30-35.
35. Tellus. — *P2/Finance for Canadian Operations*. Tellus Institute, Boston, 1997.

Annexe

Annexe

Fiche de collecte des informations (étape 3)

Renseignements généraux sur l'entreprise

Raison sociale

Code d'activité économique de l'entreprise¹

- code principal
- code secondaire

Titre de l'activité économique

- activité principale
- activité secondaire

Produits fabriqués²

Type de client de l'entreprise

Description complète et détaillée du procédé général de fabrication

Plan de l'usine (indiquer où le solvant à remplacer est utilisé)

Organigramme du procédé (indiquer où le solvant à remplacer est utilisé)

Liste des équipements (nom et modèle) (si pertinent)

Conditions d'opération (p. ex. température de l'étape de séchage)

Liste des matières premières (si pertinent)

Liste des produits finis (si pertinent)

Formes d'énergie utilisée dans le procédé à chaque étape (p. ex. four au gaz naturel pour le séchage de la peinture)

Description spécifique de l'étape du procédé où le solvant à remplacer est mis en œuvre

Nom commercial du solvant

Nom générique

Composition (fiche de sécurité des substances)

1. Classification des activités économiques du Québec.
2. Centre de recherche industrielle du Québec.

- Fabricant (adresse, téléphone)
- Historique de l'utilisation du solvant
- Autres solvants utilisés auparavant
- Solvants déjà essayés
- Coût du solvant à substituer
- Quantité totale utilisée par unité de temps
- Quantité utilisée pour effectuer la tâche par travailleur
- Bilan de masse (quantité achetée, quantité évaporée, déchet dangereux)
- Système d'évacuation et de traitement des vapeurs du solvant à remplacer
- Description de la tâche effectuée par le travailleur manipulant le solvant (existence d'un manuel des procédures?)
- Coût de la gestion des déchets dangereux de solvants à substituer
- Rôle du solvant
- Description de l'objet, de la pièce sur laquelle est appliqué le solvant (forme, dimension, nombre, matériaux)
- Cahier des charges (« recueil des caractéristiques que doit présenter un matériel, une réalisation technique à l'étude ou en cours de réalisation », p. ex. spécifications militaires américaines MILxxxx)
- Contrôle de la qualité (p. ex. test de propreté, inspection visuelle)
- Nature du substrat
- État du substrat
- Nature de la salissure à enlever ou de la peinture à décaper (s'il y a lieu)
- Origine de la salissure à enlever ou de la peinture à décaper (où dans le procédé?)
- Contrainte technique particulière lors de l'utilisation du solvant (p. ex. risque de dégradation thermique du solvant en contact avec des pièces chaudes)
- Description du poste de travail (p. ex. dimension, ventilation, équipement)
- Nombre de travailleurs effectuant cette tâche
- Horaire de travail et fonctionnement
- Caractéristique(s) recherchée(s) pour le solvant substitutif
 - essentielle(s)
 - souhaitable(s) mais non essentielle(s)
- Moyens de protection personnelle (gants, tablier, lunettes, visière, respirateur)

- Documentation existante dans l'entreprise*
- Rapports techniques de l'entreprise
- Documents commerciaux (entreprise, fournisseurs de solvants)
- Rapports d'hygiène industrielle (publics, privés)
- Audits environnementaux (procédure de contrôle de la gestion environnementale)
- Problèmes de santé documentés (p. ex. irritation des yeux, de la peau, intolérance à l'alcool, étourdissement)