

Que deviennent les déchets chimiques de laboratoire ?

Jean-Pierre Alazard* chargé de recherche au CNRS, André Picot* directeur de recherche au CNRS

Summary : *The management of chemical wastes released from laboratories*

Any chemist or occasional user of chemicals must have the sense of his own responsibility regarding the release of toxic or dangerous effluents in the environment. The present article examines a few usual chemical wastes from laboratories and recommends good practices for their management. A first part deals with « dangerous wastes » (order 91/689/CEE) and recalls a few regulations concerning them. A second part deals with the distinction to be made between « neutralisable wastes » (neutralised in situ) and the real « non neutralisable » ones, from which depends their subsequent handling. The last section indicates a few methods to reduce the volume of chemical wastes in order to make their management by qualified professionals less expensive.

Mots clés : *Déchets dangereux, directive 91/689/CEE, DTQD, résidus neutralisables, détoxification in situ, résidus non neutralisables, réduction des déchets chimiques.*

Key-words : *Hazardous wastes, order 91/689/CEE, DTQD, neutralisable wastes, in situ chemical treatment, non neutralisable wastes, reducing the waste volume.*

L'activité d'un laboratoire utilisant des produits chimiques, à finalité de recherche, d'enseignement, d'analyse ou de contrôle, est naturellement génératrice de déchets toxiques et dangereux.

Rappelons que les chimistes ont identifié plus de 15 000 000 de molécules (Chemical Abstracts System 1997) [1], dont ils connaissent généralement bien les propriétés physico-chimiques et spectrales ainsi que la réactivité. En revanche, il leur est souvent plus difficile de trouver des données sur leur toxicité chez l'Homme et les animaux ainsi que sur leurs effets néfastes au niveau des écosystèmes. Parmi tous ces composés, seulement 250 000 d'entre eux ont été soumis à une évaluation toxicologique correcte ; les informations les plus précises concernant les produits doués d'activité génotoxique sont répertoriées et régulièrement classées par le Centre International de Recherche sur le Cancer (CIRC) de Lyon¹, le dernier classement datant de mars 1997. Aussi, en l'absence de données toxicologiques, il est prudent de considérer toute nouvelle substance (réactifs, intermédiaires de synthèse, produits finis ou sous-produits), comme potentiellement dangereuse pour l'Homme, les animaux ou les écosystèmes.

Une telle inflation de produits est donc génératrice de déchets qui doivent être gérés de manière très rigoureuse.

Dans tout travail de laboratoire mettant en jeu des produits chimiques, il est donc essentiel de prendre en considération leur destinée, de la naissance (extraction, synthèse...)

à leur élimination finale (recyclage, transformation, stockage, élimination...).

Le rejet des déchets toxiques dans les éviers ou les poubelles de laboratoire étant interdit, le problème se pose donc de leur devenir : détoxification *in situ*, stockage en sécurité sur site ou plus simplement piégeage (cas des effluents gazeux notamment). Le stockage sur site étant généralement la solution adoptée, la difficulté consistera donc à gérer en sécurité les multiples produits et sous-produits de l'activité normale d'un laboratoire de chimie pure (organique ou minérale), ou d'un laboratoire utilisant plus occasionnellement les produits chimiques (biochimie, biologie, micro-électronique, physique...).

Qu'est ce qu'un déchet dangereux ?

Selon le Programme des Nations Unies pour l'Environnement (PNUE), les déchets dangereux correspondent à tous les déchets énumérés dans une nomenclature ou bien possédant des propriétés dangereuses. La plupart sont issus de l'industrie, mais l'agriculture, les transports, les hôpitaux, les laboratoires de recherche, d'analyse, d'enseignement (salles de travaux pratiques), et même les foyers domestiques génèrent des déchets de ce type [2].

Si répertorier les textes réglementaires (lesquels sont souvent une transposition de directives européennes) apparaît

* Unité de Prévention du risque chimique, UPS 831, ICSN-CNRS, avenue de la Terrasse, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex. Tél : 01.69.82.30.15/30.65. Fax : 01.69.82.43.84/01.69.07.72.47. E-mail : picot@dedale.icsn.cnrs-gif.fr

toujours comme un exercice laborieux, leur connaissance n'en est pas moins indispensable.

Ainsi, la directive 91/689/CEE du 12 décembre 1991 [3], décrit le déchet dangereux dans trois annexes dont on peut résumer l'essentiel.

Annexe I de la directive 91/689/CEE

Celle-ci classe les déchets dangereux en fonction de leur nature ou de l'activité qui les a produits.

Concernant cette annexe, nous nous limiterons à signaler les lignes 2 et 14 qui traitent plus particulièrement des activités de laboratoire :

- ligne 2 : produits pharmaceutiques, médicaments et produits vétérinaires,

- ligne 14 : substances chimiques non identifiées et/ou nouvelles qui proviennent d'activité de recherche et de développement ou d'enseignement, et dont les effets sur l'Homme et/ou sur l'environnement ne sont pas connus.

Annexe II de la directive 91/689/CEE

Celle-ci liste les composés chimiques dangereux (*tableau I*), c'est-à-dire ceux possédant l'une ou l'autre des caractéristiques de dangerosité (*tableau II*). Le classement est effectué par grandes familles chimiques : métaux, non métaux, biocides, médicaments...

Cette liste, devant être connue de tout manipulateur de produits chimiques, sera donc décrite *in extenso* (*tableau I*).

Tableau I - Constituants qui rendent les déchets dangereux (Annexe II de la Directive 91/689/CEE).

C1	Le béryllium, les composés du béryllium
C2	Les composés du vanadium
C3	Les composés du chrome hexavalent
C4	Les composés du cobalt
C5	Les composés du nickel
C6	Les composés du Cuivre
C7	Les composés du zinc
C8	L'arsenic, les composés de l'arsenic
C9	Le sélénium, les composés du sélénium
C10	Les composés de l'argent
C11	Le cadmium, les composés du cadmium
C12	Les composés de l'étain
C13	L'antimoine, les composés de l'antimoine
C14	Le tellure, les composés du tellure
C15	Les composés du baryum, à l'exception du sulfate de baryum
C16	Le mercure, les composés du mercure
C17	Le thallium, les composés du thallium
C18	Le plomb, les composés du plomb
C19	Les sulfures inorganiques
C20	Les composés inorganiques du fluor, à l'exclusion du fluorure de calcium
C21	Les cyanures inorganiques
C22	Les métaux alcalins ou alcalino-terreux suivants : lithium, sodium, potassium, calcium, magnésium sous forme non combinée
C23	Les solutions acides ou les acides sous forme solide
C24	Les solutions basiques ou les bases sous forme solide
C25	L'amiante (poussières et fibres)
C26	Le phosphore, les composés du phosphore à l'exclusion des phosphates minéraux
C27	Les métaux carbonyles
C28	Les peroxydes
C29	Les chlorates
C30	Les perchlorates
C31	Les azotures
C32	Les PCB (polychlorobiphényles) et/ou les PCT (polychloroterphényles)
C33	Les composés pharmaceutiques ou vétérinaires
C34	Les biocides et les substances phytopharmaceutiques (les pesticides...)
C35	Les substances infectieuses
C36	Les créosotes
C37	Les isocyanates, les thiocyanates
C38	Les cyanures organiques (par exemple les nitriles...)
C39	Les phénols, les composés phénolés
C40	Les solvants halogénés
C41	Les solvants organiques, à l'exclusion des solvants halogénés
C42	Les composés organohalogénés, à l'exclusion des matières polymérisées inertes et des autres substances figurant dans cette annexe
C43	Les composés aromatiques, les composés organiques polycycliques et hétérocycliques
C44	Les amines aliphatiques
C45	Les amines aromatiques
C46	Les éthers
C47	Les substances à caractère explosif, à l'exclusion des substances figurant par ailleurs dans la présente annexe
C48	Les composés organiques du soufre
C49	Tout produit de la famille des dibenzofuranes polychlorés (PCDF)
C50	Tout produit de la famille des dibenzo-para-dioxines polychlorées (PCDD)
C51	Les hydrocarbures et leurs composés oxygénés, azotés et/ou sulfurés non spécifiquement repris dans la présente annexe

Tableau II - Propriétés qui rendent les déchets dangereux.

H1	Explosif : substances et préparations pouvant exploser sous l'effet de la flamme ou qui sont plus sensibles aux chocs et aux frottements que le dinitrobenzène
H2	Comburant : substances et préparations qui au contact d'autres substances, notamment de substances inflammables, présentent une réaction fortement exothermique
H3A	Facilement inflammable : substances et préparations - à l'état liquide (y compris les liquides extrêmement inflammables), dont le point d'éclair est inférieur à 21 °C ou - pouvant s'échauffer au point de s'enflammer à l'air à température ambiante sans apport d'énergie ou - à l'état solide, qui peuvent s'enflammer facilement par une brève action d'une source d'inflammation et qui continuent à brûler ou à se consumer après éloignement de la source d'inflammation ou - à l'état gazeux, qui sont inflammables à l'air à une pression normale ou - qui au contact de l'eau ou de l'air humide, produisent des gaz facilement inflammables en quantités dangereuses
H3B	Inflammable : substances et préparations liquides, dont le point d'éclair est égal ou supérieur à 21 °C et inférieur ou égal à 55 °C
H4	Irritant : substances et préparations non corrosives qui, par contact immédiat, prolongé ou répété avec la peau ou les muqueuses, peuvent provoquer une réaction inflammatoire
H5	Nocif : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques de gravité limitée
H6	Toxique : substances et préparations (y compris les substances et préparations très toxiques) qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent entraîner des risques graves, aigus ou chroniques voire la mort
H7	Cancérogène : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire le cancer ou en augmenter la fréquence
H8	Corrosif : substances et préparations qui, en contact avec des tissus vivants, peuvent exercer une action destructrice sur ces derniers
H9	Infectieux : matières contenant des micro-organismes viables ou leurs toxines, dont on sait ou dont on a de bonnes raisons de croire qu'ils causent des maladies chez l'Homme ou chez d'autres organismes vivants
H10	Tératogène : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée peuvent produire des malformations congénitales non héréditaires ou en augmenter la fréquence
H11	Mutagène : substances et préparations qui, par inhalation, ingestion ou pénétration cutanée, peuvent produire des défauts génétiques héréditaires ou en augmenter la fréquence
H12	Substances et préparations qui, au contact de l'eau, de l'air ou d'un acide, dégagent un gaz toxique ou très toxique
H13	Substances et préparations susceptibles, après élimination, de donner naissance, par quelque moyen que ce soit, à une autre substance, par exemple un produit de lixiviation, qui possède l'une des caractéristiques énumérées ci-avant
H14	Écotoxique : substances et préparations qui présentent ou peuvent présenter des risques immédiats ou différés pour une ou plusieurs composantes de l'environnement

Annexe III de la directive 91/689/CEE

Celle-ci résume les propriétés qui confèrent aux composés listés dans le *tableau I*, leur caractère de dangerosité. Importante à connaître par le praticien, elle sera aussi entièrement reportée (*tableau II*).

Les exemples suivants, qui concernent plus particulièrement les déchets de sodium et de phénol, montrent comment peuvent être interprétées les données des *tableaux I et II*.

Exemple 1 :

Considérons C22 (*tableau I*), qui concerne les métaux alcalins et alcalino-terreux sous forme non combinée (donc au degré d'oxydation 0).

Dans le cas du sodium, il faudra nettement distinguer le sodium élémentaire Na⁰ (élément très électropositif donc très réactif) de ses sels inorganiques, l'ion sodium Na⁺ étant généralement peu réactif.

- Na⁰ ne sera jamais rejeté à l'évier ou à la poubelle, car il réagit violemment avec l'eau (ou avec l'air humide) avec libération de dihydrogène (H₂) inflammable. Ce caractère de dangerosité entraîne son classement en H-3A (*tableau II*). Il faudra donc stocker le Na⁰ dans un endroit sec, et prévoir la destruction des déchets en petite quantité au fur et à mesure de leur production (*vide infra*).

- Des sels comme NaCl, Na₂SO₄, Na₃PO₄, NaHCO₃..., non souillés par ailleurs d'autres composés toxiques, pourront être rejetés à l'évier car neutres ou faiblement alcalins.

- En revanche, des sels comme Na₂S (C19 du *tableau I*), NaCN (C21 du *tableau I*) et NaN₃ (C31 du *tableau I*) qui, outre leur toxicité propre, libèrent respectivement H₂S, HCN et HN₃ (trois gaz toxiques), par traitement en milieu acide², ne seront jamais rejetés à l'évier. Ce caractère de dangerosité s'exprime par leur appartenance à la classe H-12 du *tableau II*.

Exemple 2 :

Considérons C39 qui concerne les phénols...

- Ces composés ne seront jamais rejetés à l'évier car la détoxification des eaux usées est souvent effectuée par chloration, ce qui entraîne la formation de chlorophénols. Ces derniers présentent un goût désagréable et sont, en outre, difficiles à éliminer et toxiques pour les milieux aquatiques. Outre la toxicité propre des phénols, ce caractère de dangerosité s'exprime par leur appartenance aux classes H-13 et H-14 du *tableau II*.

- Les solutions aqueuses de phénol faiblement concentrées pourront être détoxiquées avant rejet, par simple percolation sur une colonne de charbon actif (noir Norit...).

- En revanche, la destruction par voie chimique de lots conséquents de phénol, par oxydation (H₂O₂ en présence de

Fe) est souvent très laborieuse, et il sera plus approprié de les donner à détruire par un tiers agréé.

Les caractéristiques et classes de danger, décrites dans le *tableau II*, recouvrent sensiblement celles du « *Guide de classification et d'étiquetage des substances et préparations dangereuses* » [4]. Pour comparaison, les 15 catégories de danger de ce Guide sont rappelées succinctement dans le *tableau III*, à l'exclusion des phrases de risque, symboles et lettres de danger.

Tableau III - Critères de classification des substances et préparations dangereuses.

I	Explosible
II	Comburant (peroxydes organiques et inorganiques)
III	Extrêmement inflammable (point d'éclair < 0 °C)
IV	Facilement inflammable (point d'éclair < 21 °C)
V	Inflammable (21 °C < point d'éclair < 55 °C)
VI	Très toxique (toxicité aiguë)
VII	Toxique (toxicité aiguë)*
VIII	Nocif (toxicité aiguë)*
IX	Corrosif (destruction tissulaire)
X	Irritant (peau, yeux, système respiratoire)
XI	Sensibilisant (par inhalation ou contact cutané)
XII	Cancérogène** : cat 1 (avéré) cat 2 (forte présomption) cat 3 (possible)
XIII	Mutagène** : cat 1, 2 et 3
XIV	Toxique pour la reproduction** : cat 1, 2 et 3
XV	Dangereux pour l'environnement : - aquatique : poissons, daphnies, algues - non aquatique : flore et faune (abeilles, organismes du sol) - couche d'ozone

* L'emploi du terme « nocif » apparaît ici un peu incohérent car la toxicité aiguë correspond en fait à une toxicité létale (DL 50).

** La réglementation européenne classe les substances génotoxiques (cancérogènes, mutagènes et toxiques pour la reproduction) en trois catégories : cat 1 (avérées) ; cat 2 (forte présomption) ; cat 3 (préoccupantes pour l'Homme).

La lecture des *tableaux I, II et III* montre clairement, que la très grande majorité des déchets chimiques ne peut être rejetée dans l'environnement (*via* les évier ou les poubelles), la plupart répondant aux critères de « déchets dangereux ».

Le principe de dilution qui a longtemps prévalu, en particulier dans les laboratoires de recherche, n'est plus acceptable. A titre indicatif, l'Institut de Chimie des Substances Naturelles du CNRS de Gif-sur-Yvette, à dominante synthèse organique (200 chimistes), produit par an en moyenne : 1 tonne de déchets chimiques (réactifs obsolètes et sous-produits solides et liquides) et 15 000 L de solvants organiques usés en mélange dont le quart correspond à des solvants chlorés (essentiellement du dichlorométhane).

De telles quantités ne sont évidemment pas négligeables et donnent, par extrapolation, une idée de ce que représente ce type de gisement en France pour les nombreux centres de recherche de ce type, certain n'ayant pas encore de stratégie élaborée dans ce domaine.

En résumé, tout composé chimique muni d'une étiquette informative réglementaire indiquant son appartenance à l'une et/ou l'autre des 15 classes de danger du *tableau III*, ne sera jamais rejeté dans l'environnement (eau, air, sol). Il en sera de même de tout nouveau produit ou sous produit de toxicité inconnue.

Seul sera autorisé le rejet des déchets ne présentant aucune toxicité pour l'Homme et les écosystèmes.

Les déchets chimiques de laboratoire

Leur place dans l'ensemble des déchets

Le législateur et l'inspecteur des Installations Classées considèrent en fait trois grandes catégories de déchets, ceux de l'agriculture³ ne semblant pas poser de problème particulier [5] :

- **Les déchets ménagers**, qui comprennent les ordures ménagères (OM), les déchets encombrants, et les déchets toxiques en quantités dispersées (DTQD) provenant des laboratoires, des artisans et des particuliers.

- **Les déchets industriels** comprenant les déchets industriels banals (DIB), les déchets industriels spéciaux (DIS) et les déchets dangereux.

- **Les déchets hospitaliers** comprenant les déchets à risque, les déchets spécifiques hospitaliers ainsi que les déchets domestiques propres à ce type d'établissement.

Les déchets ultimes (déchets de déchets), prévus par la loi de 1992 (*vide infra*), sont des déchets stabilisés et de faible toxicité, qui seront les seuls admis dans les décharges contrôlées à partir de l'an 2002. Il faut signaler cependant que, dès 1995, les cendres volantes riches en métaux lourds issues des unités d'incinération, devaient déjà être inertées.

Les déchets toxiques et dangereux des laboratoires appartiennent donc à la famille des DTQD (*vide supra*), laquelle inclut également les déchets toxiques de l'agriculture (produits phytosanitaires), des artisans et des ménages.

Si la plupart des déchets banals de laboratoire peuvent être collectés par les services de ramassage municipaux, il n'en est pas de même des DTQD. Contrairement aux déchets dangereux issus de l'industrie, lesquels représentent environ 10 % des DIS (*vide supra*), les DTQD ne donnent pas lieu à un ramassage organisé. Les producteurs de ce type de déchets doivent donc faire appel à une société spécialisée et agréée par l'une ou l'autre des six agences de l'eau, pour leur destruction (*vide infra*).

Les déchets chimiques et la protection de l'environnement

La protection de l'environnement et la sécurité du voisinage d'un laboratoire utilisant des produits chimiques reposent sur le respect d'un certain nombre de textes législatifs (lois, décrets et textes d'application) [6].

Le *tableau IV* rappelle quelques textes importants qu'il n'est pas de notre propos de développer.

Tableau IV.

- Loi du 2 août 1961 sur la pollution de l'air,
- Loi du 15 juillet 1975 sur les déchets, qui définit le déchet et précise la responsabilité du producteur (pollueur-payeur),
- Loi du 19 juillet 1976 sur les installations classées pour la protection de l'environnement,
- Loi du 16 décembre 1964 modifiée le 31 décembre 1991 sur l'eau,
- Loi du 13 juillet 1992 modifiant la loi du 15 juillet 1975 sur les déchets, qui introduit la notion de « déchet ultime ».

La réglementation des installations classées prendra en compte la maîtrise de l'urbanisation autour des sites à risque, les conditions de stockage des produits dangereux ou toxiques ainsi que l'information du personnel en cas de classement de l'activité.

Le contrôle de la pollution de l'air autour des sites impliquera :

- la limitation des effluents gazeux *via* les sorbonnes de laboratoires et donc le piégeage à la source des oxydes d'azote (NO)_x, des composés soufrés (sulfure de dihydrogène, thiols...), des composés organiques volatils (COV)...

- la prise en compte du voisinage lors de l'implantation des conduits d'évacuation.

Le contrôle de la pollution de l'eau impliquera :

- le non-rejet dans les éviers des solutions concentrées en métaux (Pb, Cd, Hg, Tl, Cr, Ni, Sn...), en non-métaux (Se, Te...), en acides, en sels comme les cyanures, sulfures, azotures (*vide supra*), en solvants chlorés, en solvants aromatiques...

- la condensation efficace des solvants lors des opérations d'évaporation et de distillation mettant en œuvre les trompes à eau,

- la mise en place de bacs à rétention dans les aires de stockage des produits et des déchets chimiques.

En cas de rejets inconsidérés dans les éviers, de réactifs ou produits finis toxiques, une bonne partie de cette pollution se retrouvera dans l'eau des rivières, les usines de retraitement des eaux usées apparaissant en effet incapables de fixer ces multiples polluants... or l'eau des rivières constitue parfois la matière première de nos futures eaux de boisson !

En l'absence d'un ramassage spécifique, les déchets toxiques contenus dans les poubelles de laboratoire prendront la destination des ordures ménagères (OM), c'est-à-dire soit celle d'une unité d'incinération d'ordures ménagères (UIOM), soit celle d'une décharge de classe 2. Dans le premier cas, ils participeront à la pollution de l'environnement par l'intermédiaire des effluents gazeux ou des résidus solides (cendres volantes, scories...) des UIOM, dans le second à la pollution des rivières ou des nappes phréatiques *via* les lixiviats.

En l'absence d'une réglementation spécifique concernant les DTQD (*vide supra*), on retiendra que le laboratoire de recherche producteur est considéré par l'inspecteur des Installations Classées comme une PME-PMI. En conséquence, une gestion adaptée aux différents types de déchets produits devra obligatoirement être mise en place, le producteur du déchet restant *in fine* responsable devant la loi de sa bonne gestion (loi du 15 juillet 1975 modifiée 1992) (*vide supra*).

La réglementation concernant les déchets chimiques est analysée dans plusieurs articles qui pourront être consultés avec intérêt [7-9]. Par ailleurs, le *Code permanent Environnement et Nuisances* [10] et le *Lamy Environnement* [11a] consacrent des rubriques importantes aux déchets, et seront donc d'excellents ouvrages de référence. Le récent ouvrage belge « *Le droit communautaire et les déchets* » [11b] constitue également un document très utile.

Typologie des déchets chimiques de laboratoire

En dehors des déchets inertes (bois, carton, papier, caoutchouc, verre, plastique...), les résidus à problème d'un laboratoire de chimie appartiennent à l'une ou l'autre des catégories suivantes :

a) solvants usés non chlorés : acétate d'éthyle, acétone, pentane, heptane, éther-oxyde diéthylique, tétrahydrofurane (THF), 1,2-diméthoxyéthane (DME)...

b) solvants usés chlorés : chlorure de méthylène, chloroforme, 1,2-dichloroéthane...

c) réactifs de collection obsolètes ou considérés comme tels,

d) résidus de distillation de solvants anhydres : Na^o (THF, DME...), LiAlH₄ ou CaH₂ (éther-oxyde diéthylique), P₂O₅ (solvants chlorés)...

e) têtes et résidus de distillation de réactifs et produits finis liquides,

f) résidus de recristallisation de réactifs et produits finis solides,

g) phases aqueuses neutres, acides ou basiques, souillées ou non de produits toxiques (métaux lourds⁴, métaux de transition, non-métaux, solvants chlorés ou aromatiques...),

h) huiles de bain-marie et de pompes à vide,

i) bouteilles vides de réactifs gazeux de laboratoire : Cl₂, HCl, H₂S, COCl₂, NH₃...

j) supports solides de purification (célite, noirs...) et de chromatographie (silice, alumine...),

k) matériel amianté (cordons, rubans, plaques, chauffeballons, grilles pour bec Bunsen...),

l) mercure élémentaire (Hg^o)...

m) objets coupants et piquants.

Cette liste n'est évidemment pas exhaustive mais résume somme toute, une situation assez courante.

La dichotomie des déchets de laboratoire en « résidus neutralisables » et « résidus non neutralisables »

Toutes les précédentes catégories de déchets de laboratoire ne correspondent pas réellement à des déchets. En effet, comme le préconise le Dr W. Rennerts du service de sécurité de l'Université Catholique de Louvain (Belgique), une dichotomie de ces derniers en « résidus neutralisables » et « résidus non neutralisables » peut être effectuée [12].

Le schéma 1 explicite ce point de vue et précise le devenir de ces deux types de résidus.

Les résidus neutralisables

Seront considérés comme « résidus neutralisables » tous les déchets pouvant être détoxiqués au sein du laboratoire (détoxication *in situ*).

Ces résidus, rendus ainsi non toxiques pour l'Homme et l'environnement, pourront donc être rejetés à l'évier.

Quelques exemples vont permettre d'illustrer le propos.

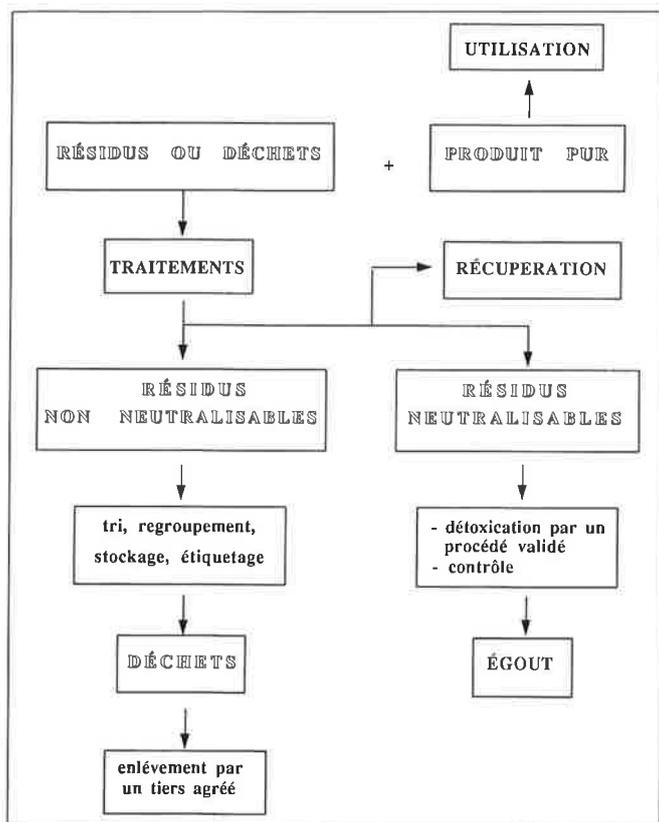
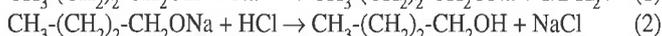
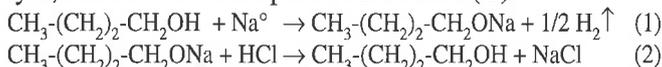


Schéma 1.

Les résidus de sodium métal (Na°)

Leur traitement par du butan-1-ol (butanol) conduit à du butan-1-oate de sodium (butylate de sodium) avec dégagement de dihydrogène. Si l'addition de Na° est suffisamment lente, la réaction est bien contrôlable à température ambiante et peut donc être effectuée sans danger (1).

Le butan-1-oate de sodium libérant de la soude par hydrolyse, doit être neutralisé par de l'HCl dilué (2).



Le butanol étant biodégradable, la solution neutralisée pourra donc être rejetée à l'évier sous un courant d'eau, si les quantités ne sont pas trop importantes évidemment.

La simplicité de ce traitement, sans risque sur de petites quantités, fait qu'il ne devrait plus subsister de déchets de Na° stockés en attente de destruction par une entreprise spécialisée, laquelle facturera contenu (parfois quelques grammes) et contenant, au prix du Na°.

Ce même traitement de détoxification *in situ* s'applique aux résidus de Li°.

Pour les résidus de K° et Cs°, plus réactifs, on utilisera du butan-1-ol rendu anhydre par passage sur une colonne d'Al₂O₃ basique par exemple. Ces métaux alcalins sont en effet très électropositifs, donc extrêmement réactifs avec une tendance à l'inflammation spontanée au contact des solvants polaires. Par précaution, cette destruction s'effectuera sous balayage d'un gaz inerte (N₂, Ar...).

Les résidus d'hydrure d'aluminium et de lithium (LiAlH₄)

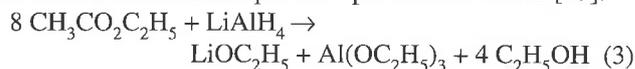
Cet hydrure mixte est couramment utilisé dans les laboratoires de chimie comme agent réducteur nucléophile, mais

également parfois comme agent de déperoxydation et de déshydratation des éthers, lorsqu'une longue conservation l'a rendu moins réactif.

Comme il réagit violemment avec l'eau, avec production de dihydrogène inflammable, il doit être manipulé avec précaution.

A l'issue d'une réaction mettant en jeu LiAlH₄, l'excès d'hydrure pourra être décomposé par addition progressive et successive sous atmosphère inerte (N₂, Ar...), sous agitation et à 0 °C de : n ml d'eau, n ml de NaOH à 10 % puis 3n ml d'eau, pour n g de LiAlH₄ à détruire [13].

Quant aux petites quantités de LiAlH₄ subsistant dans les culots de distillation des solvants anhydres, elles pourront être détruites par addition lente d'acétate d'éthyle. Cette réaction, qui s'effectue sans production de dihydrogène, peut être réalisée sans risque à température contrôlée [13].



Les résidus de cyanure de sodium (NaCN)

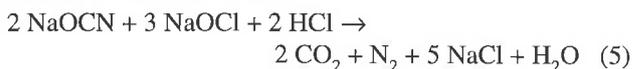
NaCN solide et ses solutions aqueuses libèrent par acidification de l'acide cyanhydrique (HCN) qui est un gaz très toxique rapidement mortel.

Une détoxification *in situ* des solutions aqueuses peu concentrées en NaCN peut aisément être réalisée par simple addition d'hypochlorite de sodium (NaOCl), lequel provoque une oxydation du NaCN toxique en cyanate (NaOCN) non toxique (4).



Cette réaction s'accompagne cependant de la formation intermédiaire de chlorure de cyanogène (ClCN), composé très toxique. Il importe donc de détruire ce dernier au fur et à mesure de sa formation, en opérant toujours en milieu franchement alcalin.

Le cyanate de sodium issu de la réaction précédente (4) peut être ultérieurement dégradé en CO₂ et N₂ par traitement avec un excès de NaOCl, suivi d'une acidification contrôlée par de l'HCl dilué (5). La solution résultante sera éliminée à l'évier sous un courant d'eau.



Naturellement, ce procédé n'est pas destiné à la détoxification *in situ* des vieux flacons de NaCN, lesquels seront stockés en sécurité avant enlèvement par une entreprise spécialisée⁵.

Le piégeage des effluents soufrés

La plupart des composés soufrés ont une odeur nauséabonde. Cependant de nombreuses réactions chimiques nécessitent l'emploi de ce type de composés : oxydation de Swern (produisant du diméthylsulfure), thiocétalisation (mettant en œuvre de l'éthanedithiol), thiolactamisation, réactions radicalaires...

Le rejet direct d'effluents soufrés dans les sorbonnes de laboratoire est souvent source d'odeur désagréable pour le voisinage. De même, le rejet dans les éviers de résidus soufrés (directs ou indirects via leur entraînement par l'eau des trompes à eau), provoque souvent des odeurs nauséabondes

dans les laboratoires voisins. Ces phénomènes se produisent notamment lorsque les sorbonnes fonctionnent bien et que l'apport d'air de compensation est insuffisant entraînant parfois un désamorçage spontané des siphons de sol.

Il est donc impératif de piéger efficacement les effluents soufrés à la source, soit par la mise en place de barboteurs lors des réactions, soit par la détoxification *in situ* des résidus avant rejet.

Nous rappellerons donc à ce propos que le chlorate de sodium I (ou hypochlorite de sodium : NaOCl) oxyde les sulfures (Na₂S, K₂S...) en sulfate, le disulfure de carbone (CS₂) en CO₂ et H₂SO₄, le thiophénol (C₆H₅-SH) en phényl-disulfure (C₆H₅-S-S-C₆H₅) et les autres composés soufrés : thiols (R-SH), dialkylsulfures (R₂S) et dialkydisulfures (RS-SR) en acides sulfoniques (R-SO₃H) correspondants [13a] [15].

L'étape initiale d'oxydation d'un thiol est la formation d'un disulfure. Dans certain cas, ce disulfure sera insoluble et l'addition de triton X-100 sera nécessaire pour le solubiliser et par suite mener l'oxydation à son terme (cas du butane-thiol et du dibutylsulfure notamment). Le diméthylsulfure, sous produit des oxydations de type Swern, peut également être oxydé par le KMnO₄ en milieu alcalin.

Ces procédés de détoxification *in situ* sont aisés à mettre en œuvre et leur application systématique améliorera beaucoup l'atmosphère des laboratoires... et donc le confort de chacun.

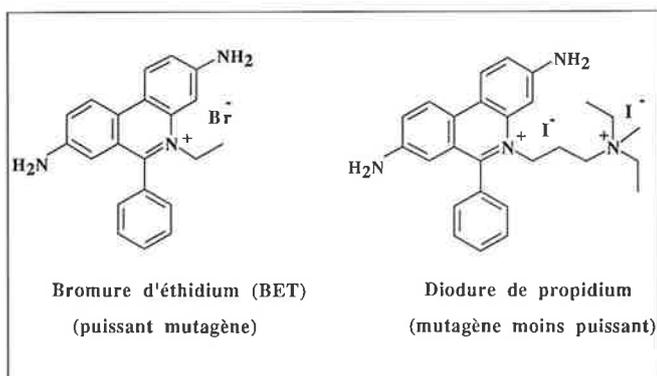
Mais la méthodologie de détoxification *in situ* concerne également des molécules plus élaborées.

Les résidus de bromure d'éthidium

Le bromure d'éthidium (BET), colorant rouge fluorescent appartenant à la famille des sels de phénanthridinium, est un mutagène puissant, couramment utilisé dans les laboratoires de biologie moléculaire, comme agent intercalant permettant la visualisation des acides nucléiques, en particulier de l'ADN.

On précisera que le BET peut être remplacé dans ces usages par le diiodure de propidium (*encadré 1*), colorant appartenant à la même famille chimique, mais de mutagénicité plus faible ; seul son coût élevé en limite l'utilisation.

Les déchets de BET peuvent être détoxiqués *in situ* après diazotation (action du nitrite de sodium en milieu acide), suivie d'une réduction du sel de diazonium intermédiaire par l'acide hypophosphoreux (H₃PO₂). Cette séquence réaction-



Encadré 1.

nelle se traduit par l'élimination des deux fonctions amines primaires aromatiques du BET, le produit final ne présentant plus d'activité mutagène [14].

Le schéma 2 donne le principe de cette réaction de déamination nitreuse.

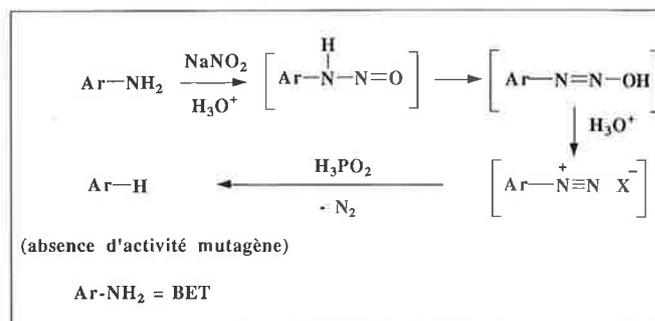


Schéma 2.

Naturellement, ce type de traitement nécessitera la compétence d'un chimiste et devra, en outre, s'accompagner du contrôle de l'absence de mutagénicité des résidus, avant leur rejet à l'évier (test de B. Ames sur *Salmonella typhimurium*, par exemple).

Aussi, en pratique courante et pour diminuer le coût de la destruction, on se bornera à une simple adsorption du BET à partir de ses solutions diluées sur du noir animal ou sur Amberlite (*vide infra*).

En conclusion, les techniques de détoxification *in situ* peuvent s'appliquer à de multiples petits résidus de laboratoire (chlorures et anhydrides d'acide, composés organométalliques, sulfures inorganiques et organiques, hydrures, azotures, agents alkylants...) qui seront détruits au fur et à mesure de leur production. L'application de ces techniques permet des économies substantielles mais nécessite souvent le savoir-faire d'un chimiste.

Le lecteur intéressé par ces procédés de détoxification *in situ* pourra se reporter aux ouvrages de A. Picot et P. Grenouillet [15], M.A Armour [16], G. Lunn et E.B. Sansone [14], ainsi qu'au fascicule de l'INRS de X. Rousselin, J. Dayan-Kenigsberg, C. Pleven, M. Castegnaro, A. Picot et F. Zajdela [17], qui concerne plus particulièrement les substances génotoxiques.

Les résidus non neutralisables

Les résidus de laboratoire, non justiciables d'une détoxification *in situ* sont donc des résidus « non neutralisables ». Ils deviennent de ce fait des « déchets » qu'il faudra gérer en sécurité.

La voie d'élimination dans ce cas sera celle des entreprises spécialisées dans la destruction des déchets chimiques qui devront, en outre, être agréées par l'une ou l'autre des six agences de l'eau.

Les lecteurs intéressés par les problèmes concernant la gestion des DTQD sur le site (tri, conditionnement, étiquetage, collecte interne, stockage sur des aires étanches...), pourront se reporter à l'excellent article de J.-P. Guenier dans cette même revue [18a] et à la mise au point de I. Muranyi-Kovacs [18b].

Concernant le stockage en sécurité des déchets, nous nous contenterons de rappeler quelques points essentiels :

a - la nécessité d'achat (ou de location) de conteneurs homologués

- bidons en polyéthylène haute densité (PEHD) ou polypropylène (PP) pour les liquides (solvants usés, solutions acides, basiques ou neutres souillées de produits toxiques...),
- bacs à couvercle avec vermiculite pour le stockage des petits déchets chimiques solides et liquides (réactifs obsoletés, sous produits de manipulation...)⁶,
- conteneurs adaptés aux objets piquants et coupants (aiguilles, scalpels...),
- conteneurs pour la verrerie cassée.

b - la nécessité de disposer d'une aire de stockage bien ventilée avec extincteurs et système de rétention en cas d'incident.

c - la prise en compte des incompatibilités chimiques (tableau V) [8].

La principale difficulté concernant la gestion des déchets chimiques de laboratoire réside dans leur multiplicité (cf. le paragraphe sur la typologie des déchets chimiques de labora-

toire, p. 24). Ainsi, un catalogue de produits chimiques dit de « chimie fine » répertorie plus de 37 000 produits, et la collection d'un seul laboratoire de recherche spécialisé en synthèse organique peut atteindre quelques milliers d'échantillons.

Dans l'impossibilité de disposer d'un conteneur particulier pour chaque déchet, il s'agira donc de les rassembler par famille chimique, en tenant évidemment compte des incompatibilités chimiques (tableau V).

On rappellera qu'un bidon de solvants usés (chlorés ou non chlorés) ne constitue en aucune manière une « poubelle » pouvant recevoir également des déchets de toute nature. L'explosion d'un bidon à déchets liquides contenant du chloroforme, du dichlorométhane, du phénol, de l'ammoniaque, de l'acide chlorhydrique..., survenue dans un laboratoire universitaire après ajout d'anhydride acétique puis fermeture, illustre bien un des risques associés à un comportement inconscient.

Le tri et l'identification des déchets au sein du laboratoire par le chimiste ou la personne habilitée assurant la collecte interne, est une étape essentielle. Un tri préalable sérieux est en effet un gage de sécurité pour le stockage ultérieur des déchets chimiques sur le site. Il constitue en outre un gain de temps lors de leur enlèvement par la société spécialisée, ce qui se traduit finalement par des économies.

Tableau V - Guide des incompatibilités chimiques pour le stockage des déchets.

01 Acides minéraux	01																		
02 Acides organiques	X	02																	
03 Bases	X	X	03																
04 Amines. Éthanolamines	X	X		04															
05 Composés halogénés	X		X	X	05														
06 Alcools. Glycols	X					06													
07 Aldéhydes	X	X	X	X		X	07												
08 Cétones	X		X	X			X	08											
10 Arènes	X								10										
11 Oléfines	X				X					11									
13 Esters	X		X	X							13								
14 Monomères	X	X	X	X	X	X						14							
15 Phénols			X	X		X						X	15						
16 Époxydes	X	X	X	X		X	X					X	X	16					
17 Cyanhydrines	X	X	X	X	X		X							X	17				
18 Nitriles	X	X	X	X										X		18			
19 Ammoniac	X	X					X	X			X	X	X	X	X		19		
20 Halogènes				X		X		X	X	X	X	X	X				X	20	
24 Anhydrides d'acide	X		X	X		X	X					X		X	X	X	X		24

Non indiqués : 9 : Hydrocarbures saturés ; 12 : Huiles de phénol ; 21 : Éthers ; 22 : P₄^o ; 23 : S₈^o à l'état de mélange. Les x signalent les mélanges à éviter.

Quelques propositions visant à diminuer la quantité des déchets chimiques

Principes de base

La réduction des déchets toxiques résultera :

- d'une gestion rigoureuse des stocks de produits chimiques, commandés souvent en trop grande quantité, parfois en double, et qui deviennent trop souvent des déchets avant même d'être utilisés,
- de la récupération de certains catalyseurs onéreux (Pd, Pt, Rh, Ru, Os...),
- du retour au fournisseur des bouteilles vides de réactifs gazeux de laboratoire,
- du recyclage des solvants non mélangés par distillation,
- du recyclage des solvants de nettoyage de la verrerie (alcool éthylique ou acétone) par distillation,
- de l'achat systématique du réactif le moins dangereux donc susceptible d'être aisément détoxiqué *in situ*,
- de la destruction systématique des petits résidus neutralisables au fur et à mesure de leur production (*vide supra*),
- de la réduction du volume des déchets à traiter par concentration du polluant. Un bon exemple sera celui du BET, dont les déchets sont souvent constitués par des solutions diluées qui seront décontaminées par adsorption sur charbon actif ou sur résine échangeuse d'ions (résine sulfonique de type Amberlite XAD-16 par exemple).

Réduction des déchets chimiques dans les laboratoires d'enseignement

La gestion responsable des déchets chimiques toxiques et dangereux concerne également les laboratoires d'enseignement qui, trop souvent encore, les éliminent dans les éviers ou les poubelles de laboratoire. On remarquera en outre, que les fascicules de travaux pratiques, ne signalent généralement pas les techniques de détoxification *in situ* se rapportant à la manipulation concernée.

La réduction de la quantité des déchets dans ces laboratoires peut résulter :

- de la diminution de l'échelle des manipulations,
- de la mise au point de réactions permettant un recyclage des sous produits toxiques formés.

Les exemples suivants illustrent ces deux possibilités.

Réduction des déchets par la mise au point de micro-manipulations

Des réactions de ce type sont développées au « National Microscale Chemistry Center » (NMC2) de Merrimack College (North Andover, Mass.,) aux États-Unis. Le but poursuivi par ses promoteurs, les professeurs R.M. Pike et Z. Szafran, consiste, d'une part, à réduire la quantité des déchets (source d'économie) et, d'autre part, à faire prendre en compte les problèmes d'environnement par les étudiants en chimie [19].

Dans des manipulations de ce type, les quantités de produits mises en jeu sont réduites : de 10 à 50 g jusqu'à 25 ou 500 mg pour les solides, et de 100 à 500 mL jusqu'à 100 à 2 000 μL pour les liquides.

Cette échelle de réaction nécessitera naturellement un appareillage approprié mais sera en contrepartie très économe en réactifs et peu productrice de déchets. Elle impliquera de la part des étudiants d'être, en outre, très méticuleux, qualité de base du futur expérimentateur en chimie.

Les précurseurs de ces méthodes font remarquer que les étudiants apprécient ces manipulations qui diminuent leur exposition aux produits chimiques et sont par ailleurs respectueuses de l'environnement.

Réduction des déchets par la mise au point de réactions prenant en compte les sous-produits toxiques

Les réactifs d'oxydation contenant du Cr^{6+} sont d'utilisation courante en laboratoire de chimie organique : CrO_3 - H_2SO_4 (réactif de Jones) ; CrO_3 -pyridine (réactif de Sarett), chlorochromate de pyridinium (PCC), dichromate de pyridinium (PDC)...

Pourtant, les dichromates ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), l'acide chromique (H_2CrO_4) et les chromates (CrO_4^{2-}) sont du point de vue toxicologique :

- de puissants allergènes (dermatoses, eczéma, asthme...),
- des mutagènes et cancérigènes en expérimentation animale et chez l'Homme (cancer de la peau et des poumons...) (cancérigène du groupe 1 dans le classement du CIRC)¹,
- des polluants majeurs des milieux aquatiques par : consommation de la réserve de dioxygène (O_2), destruction des microorganismes nécessaires aux stations d'épuration et bioaccumulation dans les organismes vivants,
- à l'origine de maladies professionnelles (dont les cancers) inscrites aux tableaux 10, 10bis et 10ter.

Il apparaît pourtant possible d'utiliser ces oxydants toxiques, tout en respectant l'environnement.

Considérons la suite réactionnelle décrite dans le schéma 3 qui commence par une oxydation chromique de

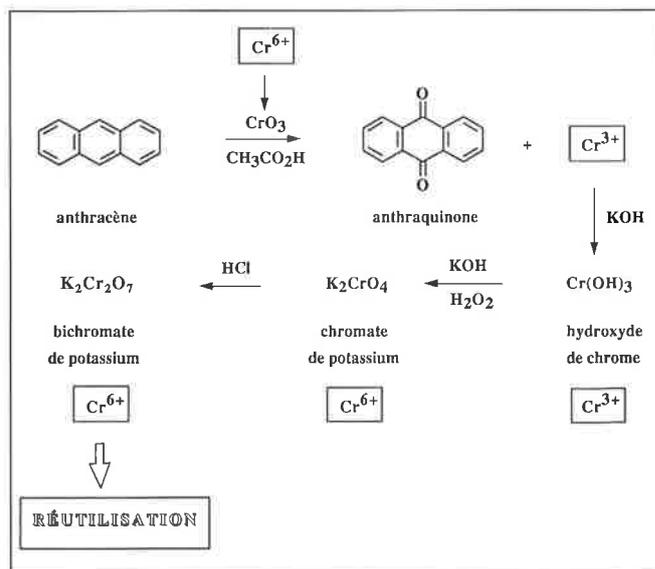


Schéma 3.

l'anthracène en anthraquinone [20]. Cette réaction présente un intérêt didactique évident pour les étudiants, car l'anthraquinone est à la base de l'industrie des colorants dits « anthraquinoniques », squelette qui se retrouve d'ailleurs dans un colorant naturel : l'alizarine. Dans cette suite réactionnelle, les sels de Cr^{3+} issus de la première réaction d'oxydation sont tout d'abord précipités sous forme d'hydroxyde, puis réoxydés en sels de Cr^{6+} par le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2). Après acidification, on obtient du bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), nouvel agent oxydant utilisable pour d'autres réactions d'oxydation.

L'ensemble de ce processus peut donc être considéré comme un « éco-processus » puisqu'il ne rejette aucun produit toxique dans l'environnement.

Ce type de réaction prenant en compte la protection de l'environnement, proposé initialement par H. Fischer [21], est connu en Europe sous le nom de « Modèle de Zurich ».

Compte tenu de la toxicité des sels de chrome hexavalents (*vide supra*), on ne rejettera jamais à l'évier les phases aqueuses contenant du Cr^{VI} et en particulier le « mélange sulfochromique » (H_2SO_4 conc., + $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ + H_2O) encore utilisé dans certains laboratoires pour nettoyer la vaisselle. Ce mélange sera remplacé par des agents tensio-actifs (type TFD4, RBS...) ou par du persulfate d'ammonium en milieu sulfurique dilué [15]. L'utilisation de bacs à ultrasons est recommandée de même que l'emploi de matériel jetable dans certains cas.

Les travaux pratiques de chimie minérale constituent un autre domaine où le concept de réactions chimiques intégrant l'environnement s'applique également [22].

Ainsi, en analyse quantitative, la caractérisation des métaux du groupe des sulfures (Hg, Pb, Cd, Bi, Cu), qui s'effectue traditionnellement par précipitation, peut être remplacée par une simple analyse chromatographique sur papier, ce qui a pour effet de réduire considérablement la quantité des déchets toxiques et par conséquent les coûts de destruction tout en évitant l'utilisation de H_2S toxique [20].

Le principe de concentration du polluant (*vide supra*) peut être appliqué sur les phases aqueuses contenant des métaux toxiques :

- par précipitation sous forme d'hydroxydes dans le cas de : Fe^{3+} , Cr^{3+} , Al^{3+} ,

- par précipitation sous forme de sulfures (par addition de thiourée en milieu acide), dans le cas de : Ni^{2+} , Co^{2+} , Cu^{2+} [20].

Ces manipulations, peuvent être intégrées dans un cursus de travaux pratiques de chimie minérale [23], comme une illustration des techniques mises en œuvre, à plus grande échelle, dans la filière de destruction des déchets chimiques dite « physicochimique ».

Conclusion

La gestion des déchets chimiques de laboratoire est un problème complexe du fait de la multiplicité des produits.

Cependant, en fonction de l'activité du laboratoire producteur, des solutions adaptées existent, qui vont de la détoxification *in situ* des petits résidus chimiques (résidus

neutralisables), jusqu'au stockage en sécurité de l'ensemble des déchets (résidus non neutralisables) avant enlèvement par une entreprise spécialisée et agréée.

Bien entendu, la gestion responsable des déchets chimiques nécessitera quelques moyens financiers et humains supplémentaires, que les responsables devront impérativement trouver malgré les rigueurs budgétaires.

Cette gestion n'est évidemment pas perçue comme une activité noble de recherche, il faudra donc la considérer comme tout simplement nécessaire. Sa réussite impliquera obligatoirement la prise de conscience préalable des problèmes environnementaux par les responsables.

L'évier et la poubelle des laboratoires de chimie ne doivent plus être les exutoires d'un certain nombre de produits dangereux et/ou toxiques. Le principe du « rejet zéro » doit être appliqué, car il est seul susceptible d'éviter une pollution diffuse et continue de notre environnement... toute économie de pollution étant bonne à prendre.

L'information de l'ensemble des personnels sur une bonne application des règles élémentaires de sécurité et de protection de l'environnement demeure donc actuellement la seule approche capable de supprimer certaines pratiques dangereuses voire coupables.

Notes

¹Le Centre International de Recherche sur le Cancer de Lyon, organisme dépendant de l'OMS, classe les agents cancérigènes en cinq groupes : groupe 1 (l'agent est cancérigène pour l'Homme); groupe 2A (l'agent est probablement cancérigène pour l'Homme) ; groupe 2B (l'agent est peut-être cancérigène pour l'Homme) ; groupe 3 (l'agent ne peut être classé quant à sa cancérigénicité) ; groupe 4 (l'agent n'est probablement pas cancérigène chez l'Homme). La liste réactualisée en février 1997 des produits génotoxiques classés par le CIRC, préparée par Picot A., Zerbib J.-C., Castegnaro M. et Guery J., est disponible sur simple demande auprès de l'Unité de Prévention du risque chimique, ICSN-CNRS, 91198 Gif-sur-Yvette Cedex.

²On précise que les effluents industriels doivent être neutralisés à un pH compris entre 5,5 et 8,5. A titre exceptionnel, lorsque la neutralisation est faite à l'aide de chaux, le pH pourra être compris entre 5,5 et 9,5 (Arrêté du 1er mars 1993, JO du 28 mars 1993, p. 5283).

³Hormis les produits phytosanitaires et les lisiers naturellement.

⁴Du point de vue toxicologique, sont considérés comme métaux lourds, le mercure, le plomb et le cadmium. L'argent et le thallium, de par leur affinité pour les protéines à fonction thiol, présentent une toxicité proche de celle des éléments précédents. Cette toxicité concerne les éléments mais aussi leurs combinaisons (sels, oxydes, sulfures...).

⁵Pour les autres cyanures ainsi que les hexacyanoferrates (II) et (III) se reporter aux ouvrages [14-15].

⁶Les déchets de silice, alumine, célite... peuvent être stockés économiquement dans leur emballage d'origine (flacons plastiques à large col).

Références

- [1] Blumberg A.A., Risks and chemical substances, *J. Chem. Ed.*, **1994**, 71, n° 11, p. 912.
- [2] *Politiques et stratégies de gestion des déchets dangereux. Manuel de Formation*, PNUÉ CAP/IE GEFE, Rapport technique n° 10, publié en collaboration avec The International Solid Waste and Public Cleansing Association (ISWA).
- [3] *Journal Officiel des Communautés Européennes, JOCE*, n° L 377/20.
- [4] Classification, emballage et étiquetage des substances et préparations chimiques dangereuses. Guide de classification et d'étiquetage (annexe IV de l'arrêté du 20 avril 1994 pris en application de la directive de base 67/548/CEE), INRS, *Cahiers de notes documentaires*, 2e trimestre **1994**, n° 155, p.195.
- [5] Les grandes catégories de déchets, Compte rendu de la table ronde sur la sécurité dans les laboratoires, organisée par *L'Actualité Chimique*, Paris-Nord, Villepinte, **1993**.
- [6] Renaud R., Les laboratoires et la protection de l'environnement, Compte rendu de la table ronde sur la sécurité dans les laboratoires, organisée par *L'Actualité Chimique*, Paris-Nord Villepinte, **1993**.
- [7] Durand R., Roussille F., Élimination des déchets de laboratoires : aspects réglementaires et recommandations, *Spectra Analyse*, janvier-février **1995**, n° 182, p. 23.
- [8] Furno P., Millot N., Pour une gestion régulière des déchets chimiques dangereux dans les laboratoires, *Spectra Analyse*, mars-avril **1995**, n° 183, p. 20.
- [9] Lauliac H., Les déchets toxiques produits dans les laboratoires, *Spectra 2000*, juin-juillet **1988**, 16, n° 131, p. 61.
- [10] Code permanent Environnement et Nuisances, Éditions législatives, 80 avenue de la Marne, 92546 Montrouge Cedex.
- [11] a) London C., Navarro A., *Lamy environnement : Les déchets*, Édité par Lamy, 187-189 rue de Valmy, 75490 Paris Cedex 10 ; b) De Sadeleer N., *Le droit communautaire et les déchets*, Bruylant, Bruxelles, **1995**.
- [12] Rennerts T.W., De Craecker W., Picot A., *Déchets chimiques de laboratoires et de PME (DCLP) : guide pratique de sécurité, hygiène et de neutralisation*, Tec-Doc Lavoisier, à paraître en **1997**.
- [13] a) Lunn G., Sansone E.B., Safe disposal of highly reactive chemicals, *J. Chem. Ed.*, november **1994**, 71, n° 11, p. 972 ; b) Fieser L.F., Fieser M., *Reagents for organic synthesis*, John Wiley and Sons Inc, **1967**, p. 583 et 584.
- [14] Lunn G., Sansone E.B., *Destruction of hazardous chemicals in the laboratory*, Wiley interscience publication, Wiley J. Sons Inc, New York, **1990**.
- [15] Picot A., Grenouillet P., *La sécurité en laboratoire de chimie et de biochimie*, 2e éd, Tec-Doc Lavoisier, Paris, **1992** et VCH, Londres, New York, **1993**.
- [16] Armour M.A., *Hazardous laboratory chemicals : disposal guide*, CRC Press Inc, Boca Raton, Ann Arbor, **1991**.
- [17] Rousselin X., Dayan-Kenigsberg j., Pleven C., Castegnaro M., Picot A., Zajdela F., *Manipulation des substances génotoxiques utilisées au laboratoire : prévention et sécurité*, INRS éd., **769, 1994**.
- [18] a) Guenier J.P., Les problèmes posés par le stockage et l'élimination des déchets de laboratoire, *L'Actualité Chimique*, septembre **1994**, p. 47 ; b) I. Muranyi-Kovacs, *La gestion des déchets de laboratoire*, Les cahiers techniques Sigma-Aldrich, 2e édition.
- [19] Ross L., New center promotes microscale chemistry to cut wastes, *Chem. and Eng. News*, August 9 **1993**, p. 21.
- [20] Schneider J., Wiskamp V., Environmental protection in practical chemistry courses, *J. Chem. Ed.*, June **1994**, 71, n° 6, p. 587.
- [21] Fischer H., *Praktikum in Allgemeiner Chemie*, Verlag Helv. Chim. Act. et Verlag Chemie, Basel Weinheim, **1992**.
- [22] Petty J.T., A short qualitative analysis scheme without hazardous wastes, *J. Chem. Ed.*, November **1991**, 68, n° 11, p. 943.
- [23] Nash J.J., Meyer J.A.R., Nurrenbern S.C., Waste treatment in the undergraduate laboratory : let the students do it !, *J. Chem. Ed.*, décembre **1996**, 73, 12, p. 1183.

Le numéro 7 de décembre 1996 de *L'Actualité Chimique* « **Chimie de coordination aux frontières de la réactivité, des matériaux et de la biologie** » peut faire l'objet d'une commande au numéro.

Prix : membres de la SFC (n° de sociétaire :) 50 F
 non-membres de la SFC 100 F

NOM : Prénom :

Adresse d'expédition :

Code postal : Ville :

Nombre d'exemplaires souhaités :

Ci - joint :

- bon de commande
 chèque postal
 chèque bancaire

Ce bulletin est à adresser, accompagné du règlement ou d'un bon de commande, à la Société Française de Chimie, 250, rue Saint-Jacques, 75005 Paris.