

Usages multiples des produits chimiques, armes chimiques et codes de déontologie Peter Mahaffy (peter.mahaffy@kingsu.ca)

Une usine chimique

Pour beaucoup de personnes, cela évoque à juste titre un grand ensemble de bâtiments où l'on synthétise des polymères, des médicaments ou des produits pétrochimiques à partir de matières premières plus simples. Mais les plantes botaniques sont également des usines chimiques. Elles utilisent des matières premières simples comme les molécules de gaz carbonique de l'air pour synthétiser des substances chimiques complexes qui ont une importance capitale dans notre écosystème et notre économie. En médecine et en alimentation, nous dépendons quotidiennement des produits chimiques fabriqués en usine ou par les plantes. De nombreux produits pharmaceutiques sont à l'origine des extraits de plantes connues pour leurs vertus médicinales ou restent proches de ces composés extraits. On estime que 80 % de la population mondiale s'en remet totalement à la phytothérapie pour guérir les maladies.

Ainsi, les usines chimiques, qu'elles soient créées par l'homme ou qu'elles existent à l'état naturel, produisent des substances chimiques essentielles à la vie quotidienne. Souvent, la même substance peut être employée à sauver des vies ou à les détruire, selon la dose utilisée, les transformations chimiques que nous lui faisons subir et la manière dont elle est utilisée dans la société. Considérons un exemple.

1. La pseudoéphédrine et la méthamphétamine en cristaux (crystalmet)

L'éphédra : une plante médicinale ancienne et bénéfique. Ma-Huang, un arbuste à feuillage persistant originaire de Chine du Nord, est une des espèces d'éphédra. On le surnomme le plus vieux médicament du monde et il est employé dans la médecine traditionnelle chinoise depuis plus de 5 000 ans. Les médecins traditionnels l'utilisent pour tout un éventail d'affections, des rhumes, asthmes et rhumes des foins aux problèmes rénaux. Au fil du temps, plusieurs composés purs de type amphétamine appelés alcaloïdes ont été extraits de l'éphédra. Cela inclut les molécules isomères et fortement bioactives, l'éphédrine et la pseudoéphédrine, qui sont remarquablement similaires et ne diffèrent que par la disposition spatiale en trois dimensions d'atomes liés aux deux centres de chiralité.

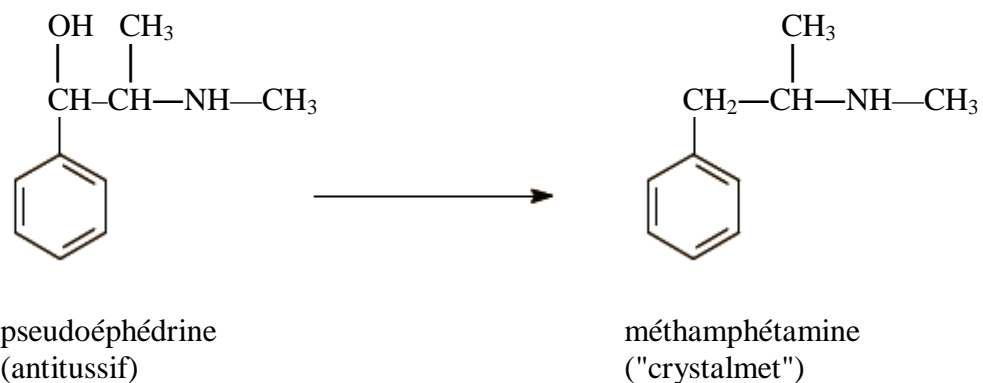
L'éphédrine serait un des premiers constituants actifs de nombreuses préparations chinoises à base de plantes médicinales à être largement utilisé dans la médecine occidentale. Après des milliers d'années d'utilisation médicale de l'éphédra pour la préparation de remèdes à base de plantes médicinales, l'éphédrine a été reconnue comme médicament par l'*American Medical Association* (société médicale américaine) en 1927 et synthétisée en laboratoire. Cependant, la demande d'éphédrine augmenta si brutalement qu'on ne put en synthétiser suffisamment. Treize ans après la reconnaissance de l'*American Medical Association*, 700 000 kg de la plante *Ephedra sinica* en provenance de Chine étaient importés aux États-Unis. Dès les années 1940, les États-Unis commencèrent à cultiver cette plante et à l'importer d'Inde et du Pakistan.

Pendant la seconde moitié du XX^e siècle, l'utilisation de l'éphédra et de ses extraits phyto-actifs continua de se développer. Depuis peu, des préparations à base d'éphédra sont commercialisées à titre de stimulants amplificateurs de sensations et de produits amaigrissants. Une de ces formulations s'appelle "ECA Stack", un acronyme pour **E**phédra, **C**aféine et **A**spirine (AAS). D'après la publicité, ces trois substances se combinent pour brûler les graisses.

Autre extrait d'éphédra, pouvant également être produit synthétiquement, la pseudoéphédrine a des effets stimulants moins importants que l'éphédrine sur le système nerveux. La pseudoéphédrine est utilisée dans de nombreux décongestionnants et antiasthmatiques car c'est un décongestionnant nasal et un bronchodilatateur qui détend et dilate les voies respiratoires.

Les extraits d'éphédra : mésusage d'une plante médicinale bénéfique. Néanmoins, en cas de consommation excessive, les composés bénéfiques extraits de cette plante médicinale peuvent occasionner des effets secondaires indésirables graves. Le danger des effets secondaires et des interactions médicamenteuses des extraits d'éphédra ont récemment suscité de vives inquiétudes dans le monde, ce qui a conduit à des mesures restrictives comme l'interdiction en 2004 par la *United States Food and Drug Administration* (US FDA) (organisme gouvernemental de contrôle pharmaceutique et alimentaire) de vendre des compléments alimentaires contenant des alcaloïdes d'éphédra (interdiction levée en 2005) et une interdiction analogue aux Pays-Bas en 2004.

Le côté obscur du cristal : l'abus de l'éphédra, plante médicinale bénéfique. La pseudoéphédrine que l'on met dans les décongestionnants peut facilement être extraite de nouveau et transformée chimiquement. En conséquence, elle est en train de se faire une mauvaise réputation car c'est un précurseur que l'on peut se procurer facilement pour produire une des drogues de toxicomanes qui se répandent le plus rapidement dans le monde : la méthamphétamine ou "crystalmet". La pseudoéphédrine et la méthamphétamine ont des structures très proches : pour obtenir de la méthamphétamine à partir de pseudoéphédrine, il suffit de réduire ou de remplacer sur la chaîne carbonée un groupement fonctionnel alcool par un atome d'hydrogène. C'est la seule transformation nécessaire.



À l'aide de "recettes" de cette transformation chimique qui sont disponibles sur Internet, et de fournitures et de matériel que l'on trouve facilement dans le commerce, dans le monde entier de petits laboratoires clandestins de quartier transforment des comprimés de décongestionnant en cristaux transparents de méthamphétamine. Le crystalmet peut être fumé, inhalé ou injecté. C'est à l'heure actuelle la plus courante des drogues synthétiques fabriquées aux États-Unis. La très forte demande de ce produit a engendré des industries d'exportation illicite dans nombre de pays. Certains pays auraient augmenté en quelques années leurs importations de médicaments contre le rhume de centaines de tonnes, ce qui dépasse largement les besoins légitimes des patients souffrant d'asthme et de rhume.

Les effets de l'abus de méthamphétamine sont semblables à ceux de la cocaïne mais ils durent plus longtemps. Les utilisateurs peuvent souffrir d'un comportement changeant et violent, d'inappétence, de troubles du sommeil, de changements d'humeur et d'imprévisibilité, de tremblements et de convulsions, d'hypertension artérielle et d'arythmie. Le coma, une congestion cérébrale et la mort sont des conséquences possibles en cas d'utilisation à long terme.

Les toxicomanes à la méthamphétamine ne sont pas les seuls à pâtir de leur addiction. Les municipalités et d'autres niveaux de gouvernement de nombreux pays doivent prévoir dans leurs budgets d'importants crédits pour le traitement et la réhabilitation des toxicomanes. Parmi ceux-ci, les plus dépendants laissent souvent dans leur sillage violence familiale et activités criminelles. Les laboratoires où se fabrique le crystalmet sont souvent de petits locaux de petite envergure, dans des garages ou des sous-sols; ils constituent un risque d'explosions et d'incendies en raison des conditions d'insécurité dans lesquelles sont entreposés certaines substances et appareils de synthèse. Pour chaque kilo de méthamphétamine finie, l'on produit quelque cinq kilos de déchets toxiques pour l'environnement. Étant donné que leur élimination dans des conditions réglementaires pourrait permettre de repérer un laboratoire clandestin, ces déchets sont souvent déversés illégalement, provoquant ainsi des dommages écologiques.

Substances à multiples usages : le bonheur d'user et le pouvoir d'abuser. Comme nous l'avons vu dans l'exemple ci-dessus, l'éphédra et les produits chimiques qui en sont extraits peuvent être utilisés pendant des millénaires par des humains pour des effets bénéfiques et, en très peu de temps, être détournés par d'autres humains à des fins nuisibles et destructrices. Il en va de même pour un grand nombre des produits chimiques que nous tirons de la nature, naturellement ou par synthèse. Nous appelons ces produits chimiques substances à multiples usages. C'est à nous qu'il appartient d'en faire un bon ou un mauvais usage, ou d'en abuser.

Le rôle de l'enseignement des sciences. Quel rôle doivent jouer l'éducation institutionnelle et l'éducation du public dans la sensibilisation à la nécessité de faire une utilisation responsable de substances telles que les extraits de l'éphédra ? On peut imaginer plusieurs niveaux différents auxquels il pourrait y avoir un échange entre les éducateurs d'un côté et les étudiants et le grand public de l'autre au sujet de leur responsabilité éthique vis-à-vis de produits chimiques à multiples usages comme la pseudoéphédrine. Toutefois, un grand nombre de ces questions sont difficiles, notamment :

- **Accès à l'information.** Si un enseignant présente à de jeunes étudiants des exemples de substances à multiples usages comme la pseudoéphédrine ou le crystalmet, y a-t-il un risque que des gens qui n'avaient jamais entendu parler de cette drogue utilisée par les toxicomanes non seulement apprennent l'existence d'une nouvelle drogue mais que ces personnes obtiennent des formules pour les fabriquer ?
- **Détournement de substances facilement disponibles.** D'autre part, si les étudiants et le grand public sont informés de la combinaison de substances du commerce qui sont nécessaires à la fabrication d'une drogue de toxicomane comme le crystalmet, cette information leur donne-t-elle le pouvoir de jouer un rôle significatif dans la prévention d'un usage indu par d'autres personnes ?

Il est intéressant de noter que la police et autres protecteurs de la sécurité publique en Amérique du Nord publient parfois sur Internet une foule de renseignements sur la façon de fabriquer du crystalmet, avec des photos de matériel, afin que les parents et d'autres personnes puissent reconnaître des laboratoires clandestins le cas échéant.

- **À qui incombe la responsabilité ?** À qui incombe la responsabilité de surveiller les approvisionnements et matières afin d'en empêcher le détournement à des fins clandestines telles que la fabrication de drogues utilisées par les toxicomanes ? Les administrations au niveau national ou local ? Les services médicaux ou sociaux ? Les pharmacies qui vendent des décongestionnants et les supermarchés qui vendent des ciseaux, des tubes, des bouchons, de la teinture d'iode et de l'alcool à friction ?
- **Comprendre et reconnaître la responsabilité déontologique.** Les étudiants et enseignants ont-ils des responsabilités déontologiques qui découlent des connaissances scientifiques qu'ils possèdent de l'usage ou du mauvais usage potentiels de produits chimiques d'usage courant ? Le fait que vous ne connaissiez personne qui abuse du crystalmet diminue-t-il votre responsabilité déontologique ?

2. Autres exemples

Parlez avec d'autres personnes de votre groupe et relevez d'autres exemples de substances à multiples usages dans votre communauté qui sont bénéfiques, mais qui pourraient être utilisées ou mal utilisées. Quels sont les meilleurs moyens de présenter ces exemples en classe ou dans le cadre de l'éducation du public ?

3. Armes chimiques et biologiques

L'exemple de la pseudoéphédrine/crystalmet est curieusement analogue à celui d'autres substances à multiples usages qui offrent de nombreuses applications bénéfiques, mais dont on a également fait un usage impropre au siècle dernier en les transformant en armes de destruction. Nous pourrions difficilement reconnaître la plupart de ces substances tant elles sont couramment utilisées pour nous faciliter la vie. Un solvant comme l'isopropanol ou l'alcool à friction, par exemple, est un liquide transparent et inflammable qui sert de désinfectant dans les hôpitaux et les maisons, et c'est aussi un solvant bon marché avec de nombreuses applications. L'on peut notamment citer comme exemple :

l'extraction des principes actifs (produits naturels) des plantes,

la fabrication de produits alimentaires,

la dissolution et l'application de revêtements et de colorants,

un dégraissant et un déshydratant dans la fabrication de composants électroniques et de métaux,

la distribution de produits pharmaceutiques et cosmétiques qui sont appliqués sur la peau,

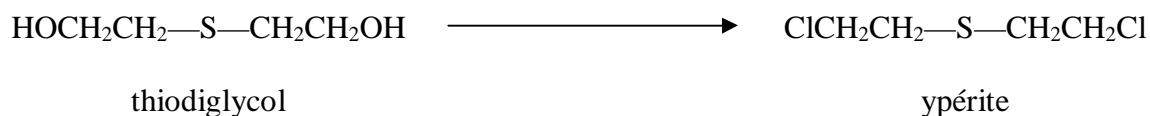
un solvant en aérosol pour les produits de nettoyage, les cires, les produits pharmaceutiques, les déodorants et les pesticides.

Toutes les propriétés qui font de l'isopropanol un excellent solvant à effets bénéfiques sont exploitées dans la synthèse de certains des agents neurotoxiques les plus puissants qui aient été fabriqués par l'homme. L'un d'entre eux est le sarin qui a été utilisé en réalité lors d'une attaque dans le métro de Tokyo pendant l'heure de pointe le matin du 20 mars 1995. Les

agents neurotoxiques tels que le sarin, le soman et le VX attaquent le système nerveux du corps humain, avec des effets dévastateurs. Dans l'incident de Tokyo, 12 personnes ont péri et 5 000 autres ont été blessées. La dernière étape de la fabrication de sarin consiste à mélanger de l'isopropanol à deux précurseurs pour produire l'agent neurotoxique; celui-ci a été transporté dans le métro dans 11 sacs en plastique qui ont été perforés à l'aide de pointes de parapluies pour diffuser l'agent.

Le thiodiglycol est un autre produit chimique qui est communément utilisé dans l'industrie textile de pays en développement et d'autres pays, pour les colorants à base d'eau. Il s'agit d'un composant clé des encres à base aqueuse utilisées dans la fabrication de feutres et de certaines encres d'imprimerie. Il est aussi utilisé dans la fabrication de résines de spécialité et d'adhésifs et en tant qu'additif pour les lubrifiants.

Pourtant, une opération chimique transforme le thiodiglycol en ypérite, l'arme chimique qui a donné naissance à une nouvelle façon de tuer pendant la première guerre mondiale.



Le rôle de l'enseignement des sciences

Quel est le rôle des systèmes d'enseignement et des centres d'éducation dans la sensibilisation à la fabrication d'armes chimiques comme le sarin et aux utilisations multiples de produits chimiques tels que l'isopropanol utilisé dans leur fabrication ? Devrait-on protéger les informations relatives aux précurseurs, aux réactions et aux matériels nécessaires à la synthèse, de sorte que le public n'apprenne pas le mode de fabrication des armes chimiques ? Qui devrait être responsable de la surveillance des précurseurs et des matériels nécessaires à la fabrication d'armes chimiques ou biologiques ? Le fait que vous ne connaissiez personne qui fabrique des armes chimiques modifie-t-il votre responsabilité éthique ?

Références :

La plupart des informations susmentionnées proviennent de sources disponibles sur l'Internet. Au nombre des principales références figurent :

1. <http://www.opcw.org> – Site Web de l'Organisation pour l'interdiction des armes chimiques.
2. http://www.deadiversion.usdoj.gov/pubs/brochures/pseudo/pseudo_trifold.htm
Ministère de la Justice des États-Unis d'Amérique. Méthodes pour empêcher l'utilisation de pseudoéphédrine à des fins de production de crystalmet.
3. <http://www.newhousenews.com/archive/suo060605.html> Reportage sur la production de crystalmet au Mexique pour sa vente sur le marché américain.
4. <http://www.chemicaland21.com/> Entreprise coréenne qui achète et vend des produits chimiques, notamment de la pseudoéphédrine.
5. <http://nccam.nih.gov/health/alerts/ephedra/consumeradvisory.htm> Conseils de la Food and Drug Administration des États-Unis d'Amérique pour l'interdiction de la vente de compléments alimentaires contenant des alcaloïdes d'éphédrine.
6. <http://www.botgard.ucla.edu/html/botanytextbooks/economicbotany/Ephedra/>
Informations botaniques sur l'éphédra, extraites de "Mildred Mathias Botanical Garden" à UCLA (États-Unis d'Amérique).
7. <http://www.ephedra.nu>. Guide complet élaboré par des personnes et entités qui sont intéressées par l'éphédra.
8. http://www.drugfree.org/Portal/drug_guide/Crystal_Meth# Informations sur le crystalmet émanant d'un groupement non lucratif de professionnels de la communication, de la santé, de la médecine et de l'enseignement, qui vise à réduire l'utilisation illicite de drogues et à aider l'homme à vivre une vie saine sans drogue.
9. http://www.healthyplace.com/Communities/Thought_Disorders/schizo/articles/crystal_meth.htm. Information sur le crystalmet émanant d'un site Internet sur la santé mentale, qui a pour objectif de fournir des informations exhaustives sur les troubles psychologiques et les médicaments psychiatriques du point de vue à la fois des consommateurs et des experts.
10. <http://www.isp.state.il.us/crime/whatismeth.cfm>. Informations émanant de la police de l'État de l'Illinois (États-Unis d'Amérique) sur le crystalmet, y compris des photographies des appareils utilisés pour le fabriquer.
11. http://www.totse.com/en/drugs/speedy_drugs/howtomanufactu172921.html - Une recette de fabrication de crystalmet.

Toxicologie des agents de guerre chimique

Pendant la première guerre mondiale (1914-1918) des produits chimiques toxiques ont été massivement utilisés en tant qu'armes. Plus de cent mille tonnes de produits chimiques ont ainsi été déversées sur les champs de bataille. Au début, il s'agissait davantage de harceler que de blesser grièvement ou de tuer. Environ 10 pour cent du volume total d'agents de guerre chimique utilisés lors de la première guerre mondiale étaient des produits chimiques répondant à cet objectif, à savoir des gaz lacrymogènes, des irritants pulmonaires et des agents émétiques. Le recours à des produits chimiques plus létaux a suivi l'utilisation des agents incapacitants. Ceux-ci ont fait quelque 1,3 million de victimes pendant la guerre, dont on estime que 90 000 environ sont mortes.

Lors de la seconde guerre mondiale, entre 1939 et 1945, d'importants stocks d'armes chimiques ont été accumulés. Toutefois, le Japon a été le seul pays à utiliser des armes chimiques lors de la seconde guerre mondiale, et ce, en Chine. Après la fin de la seconde guerre mondiale, des études systématiques ont été poursuivies afin de trouver des agents de guerre chimique idéaux.

Des milliers de produits chimiques ont été examinés, mais seuls quelque 60 d'entre eux environ avaient les propriétés physiques, chimiques et toxicologiques appropriées pour être utilisés en tant qu'agents de guerre chimique. Quelque deux tiers de ces produits ont été utilisés pendant la première guerre mondiale, et les champs de bataille étaient de véritables terrains d'essai. L'analyse des pertes causées par les divers produits chimiques lors de la première guerre mondiale a réduit le nombre d'agents de guerre chimique efficaces comme armes à environ 12. D'autres agents ont été ajoutés à cette liste depuis et certains des agents de guerre chimique du début ont été remplacés par de nouveaux types.

Classification des agents de guerre chimique

Les agents de guerre chimiques peuvent être classés de diverses manières. Une méthode consiste à distinguer les agents létaux des agents incapacitants. Les agents létaux sont utilisés pour tuer l'ennemi ou le blesser si grièvement qu'il doive être évacué et recevoir des soins médicaux. Les agents incapacitants, d'un autre côté, visent à rendre l'ennemi inoffensif et inapte au combat et les personnes touchées peuvent se remettre sans intervention médicale.

Outre les agents de guerre chimique connus, il existe de nombreux produits chimiques industriels toxiques qui, bien que moins toxiques que les agents de guerre chimique connus, pourraient causer de graves dommages. On peut citer les rejets d'isocyanate de méthyle à Bhopal, en Inde, qui ont provoqué la mort de milliers de personnes et fait un plus grand nombre encore de victimes souffrant de problèmes de santé à long terme. Ainsi, lors que nous pensons aux produits chimiques en tant qu'armes, il importe donc de considérer non seulement les agents de guerre chimique standard, mais aussi d'autres produits chimiques industriels toxiques.

Produits chimiques létaux

Les produits chimiques létaux qui ont été utilisés pour fabriquer des agents de guerre chimique (produits chimiques toxiques et industriels) peuvent être divisés en deux autres catégories. Il y a les irritants tissulaires et les poisons à action systémique. Les irritants tissulaires entraînent des lésions de la peau et des surfaces des voies respiratoires. Les poisons à action systémique sont des substances qui entravent des fonctions vitales de l'organisme. Les irritants tissulaires comprennent les gaz asphyxiants (comme le chlore et le phosgène) et les gaz vésicants (comme l'ypérite). Les poisons à action systémique comprennent des produits chimiques comme ceux qui étaient précédemment classés dans les

gaz hémotoxiques, par exemple l'acide cyanhydrique. Ils comprennent également les gaz neurotoxiques (comme le sarin et le VX).

Le chlore, qui est un asphyxiant, a été le premier produit chimique létal utilisé lors de la première guerre mondiale. En avril 1915 des attaques surprises massives ont été lancées par l'armée allemande, faisant des milliers de victimes parmi les troupes franco-algériennes qui n'avaient aucune protection contre les produits chimiques aéroportés. Même s'il est ressorti de l'interrogation de prisonniers que des cylindres de produits chimiques étaient placés dans les tranchées, il semble que ces avertissements n'aient pas été suffisamment pris au sérieux par tout un chacun. Certaines preuves donnent à penser que les hauts commandements britannique et canadien ont pris plus au sérieux les rapports, ce qui a permis aux Britanniques de réagir plus rapidement aux attaques initiales. Les masques respiratoires utilisés au début pour protéger les troupes furent d'abord rudimentaires mais devinrent de plus en plus perfectionnés. En même temps, la recherche s'orientait vers la mise au point d'agents plus agressifs que le chlore, et ainsi se répandit largement l'emploi d'un autre irritant pulmonaire, le phosgène.

L'acide cyanhydrique qui était disponible n'a pas été beaucoup utilisé car les petites munitions disponibles à l'époque ne livraient pas de concentrations assez élevées de ce gaz (qui est plus léger que l'air) pour provoquer suffisamment de victimes.

Le fait nouveau le plus marquant lors de la première guerre mondiale a été l'emploi de ce que l'on appelle les agents vésicants. Ceux-ci provoquent des phlyctènes et entraînent de graves lésions de tout tissu touché. L'ypérite figure dans cette catégorie et provoque l'empoisonnement aussi bien par inhalation que par pénétration percutanée.

Sans nul doute l'activité dans le domaine des agents létaux a culminé avec la fabrication des agents neurotoxiques organo-phosphorés. Des recherches effectuées en Allemagne dans les années 1930 afin de trouver des composés organo-phosphorés qui pourraient être utilisés comme insecticides ont permis d'identifier le premier agent neurotoxique. En 1945, quelque 12 000 tonnes de cet agent, connu sous le nom de tabun, avaient déjà été produites, dont une grande partie avait été utilisée pour remplir des munitions. Mais l'Allemagne n'a pas utilisé de tabun pendant la seconde guerre mondiale. Le tabun fait partie des agents neurotoxiques "non persistants". Après 1945, les recherches sur les agents neurotoxiques se sont poursuivies dans plusieurs pays et ont abouti à la découverte d'une autre classe d'agents neurotoxiques organo-phosphorés beaucoup plus persistants (dont l'un est connu comme étant le VX). Les agents persistants restent très longtemps au sol. Ils s'évaporent dans les milieux chauds et beaucoup plus lentement dans les milieux froids. La pluie les transforme également, car l'eau aide à dissocier l'agent (par hydrolyse) et le dilue. De nombreuses tonnes d'agents persistants ont été utilisées pour le remplissage de munitions.

Caractéristiques de certains produits chimiques

Phosgène

Le phosgène n'est pas produit naturellement, mais depuis sa préparation initiale au début des années 1800, il est devenu largement disponible dans l'industrie chimique, où il est utilisé comme intermédiaire dans la fabrication d'une vaste gamme d'autres substances, notamment dans la chimie des colorants, des pesticides et des polymères. La production mondiale annuelle est de l'ordre de millions de tonnes. L'exposition au phosgène se fait principalement par inhalation. Le poumon est le principal organe cible et les dommages faisant suite à une exposition aiguë dépendent à la fois de la concentration et de la durée de l'exposition. À forte concentration surviennent des irritations cutanées et oculaires. L'odeur du phosgène rappelle celle de fruits pourris, d'herbe fraîchement coupée ou de foin moisi. Lorsque les

concentrations sont supérieures à 3 parties par million (3 ppm), il survient rapidement une irritation des yeux, du nez et de la gorge, accompagnée d'une gêne respiratoire, et ces symptômes sont suivis d'un essoufflement puis d'une toux. Ces symptômes, s'ils sont seuls, disparaissent rapidement après la fin de l'exposition. Si la dose est supérieure à 30 ppm par minute, il survient alors des dommages respiratoires et pulmonaires graves, sous la forme d'un œdème pulmonaire parfois fatal. Même si l'on peut former des personnes à la détection du phosgène à de faibles concentrations, l'odorat n'est que très peu utile pour interpréter ce qui pourrait se trouver dans l'air. À forte concentration, certaines personnes perdent leur sens de l'odorat et leur aptitude à évaluer le danger.

Acide cyanhydrique

Agent létal à action rapide, l'acide cyanhydrique provoque l'empoisonnement en empêchant les cellules individuelles d'utiliser l'oxygène. Tout le monde ne peut pas détecter l'acide cyanhydrique à des faibles concentrations, mais ceux qui le peuvent décrivent une odeur d'amandes amères ou de pâte d'amandes.

L'acide cyanhydrique est très répandu dans l'industrie chimique et est utilisé comme intermédiaire, ainsi que comme pesticide, comme rodenticide et comme fumigant. Dans certains pays où la peine capitale est encore en vigueur, l'acide cyanhydrique est utilisé pour tuer. Une exposition plus générale à l'acide cyanhydrique survient par la fumée du tabac et l'inhalation de fumées d'incendie. La voie la plus probable d'exposition est l'inhalation. La vapeur d'acide cyanhydrique ne traverse pas la peau, mais l'acide cyanhydrique liquide la pénètre, tout comme le ferait un aérosol du produit chimique. L'exposition à une teneur de 60 milligrammes par mètre cube (60 mg/m^3) ne produit pas nécessairement de symptômes graves, mais l'exposition à des teneurs supérieures à 200 mg/m^3 entraîne la mort en dix minutes. Au dessus de $2\,500 \text{ mg/m}^3$, la mort peut survenir en une minute.

Le gaz passe rapidement des poumons dans le sang et les symptômes d'empoisonnement apparaissent tout aussi vite. La respiration devient rapide, puis s'accélère avec la dose d'acide cyanhydrique inhalé, ce qui conduit à une rapide perte de connaissance. La mort survient soit par arrêt cardiaque soit par défaillance respiratoire. En principe il n'y a pas d'incidence à long terme sur la santé de ceux qui sont exposés à de faibles concentrations. Toutefois, à des concentrations qui sont proches de la dose mortelle, les effets de l'acide cyanhydrique sur l'aptitude de la cellule à utiliser l'oxygène peuvent compromettre les fonctions cérébrales.

Ypérite

L'ypérite (connue également sous le nom d'ypérite au soufre) est un agent vésicant. C'est un irritant tissulaire général, qui affaiblit également les fonctions internes de l'organisme. De tous les agents vésicants étudiés en vue d'en faire des armes chimiques, c'est l'ypérite qui a suscité le plus d'intérêt. D'abord synthétisée en 1860, elle a été mise au point comme agent de guerre chimique pendant la première guerre mondiale et n'a pratiquement aucune autre application. À fortes concentrations, elle dégage une odeur piquante qui rappelle celle du raifort, de l'oignon ou de l'ail. L'ypérite n'est que légèrement hydrosoluble mais est soluble dans certains solvants organiques et dans les graisses. L'exposition à la fois au liquide et aux vapeurs se fait principalement par inhalation et par contact avec l'épiderme. L'exposition pendant une minute à des concentrations de 100 mg/m^3 peut provoquer des lésions oculaires incapacitantes. [Cette donnée est souvent représentée sous la forme 100 mg-min/m^3]. Vers 200 mg-min/m^3 , d'importantes brûlures cutanées surviennent. La dose létale par voie respiratoire est évaluée à $1\,500 \text{ mg-min/m}^3$.

Les vapeurs d'ypérite peuvent être transportées sur de longues distances par le vent. L'ypérite a fait un grand nombre de victimes lors de la première guerre mondiale, lors de la guerre Irak

- Iran entre 1980 et 1988 et chez les Kurdes irakiens en 1988. Chez les personnes exposées et en l'absence de protection, les signes et symptômes de l'exposition à l'ypérite n'apparaissent que progressivement, après un intervalle de plusieurs heures. Ce temps de latence varie d'une personne à l'autre et dépend du mode d'exposition et de la température ambiante.

Généralement les symptômes oculaires apparaissent les premiers et débutent par une impression de sable sous les paupières, avec les yeux injectés de sang. Puis les yeux se mettent à couler et sont très douloureux. Les fonctions visuelles sont touchées. Ensuite apparaissent des sécrétions nasales, des éternuements, des maux de gorge, des toux et une certaine raucité de la voix. Des problèmes respiratoires peuvent également survenir, avec, chez certains, des nausées et des vomissements. Dans les 16 à 24 heures après l'exposition commencent des démangeaisons, et des érythèmes brunâtres apparaissent sur les parties exposées du corps. Des phlyctènes peuvent apparaître sur les aisselles et les organes génitaux. En cas d'exposition modérée à grave, de grandes phlyctènes apparaissent, remplies de liquide jaune clair. Lorsque les phlyctènes crèvent, il y a érosion de la peau et des risques d'ulcérations. Celles-ci peuvent guérir en deux à trois semaines, mais si l'érosion de la peau est grave, la guérison peut prendre six à douze semaines et laisser beaucoup de cicatrices. Dans la région épidermique touchée il peut survenir une intense pigmentation, presque comme à la suite d'une exposition prolongée au soleil. Le site réel de la brûlure à l'ypérite est également très sensible à toutes sortes de traumatismes physiques. Les personnes qui ont gardé de nombreuses cicatrices se plaignent de démangeaisons persistantes.

L'exposition à l'ypérite peut entraîner de graves lésions des voies respiratoires et les tissus touchés favorisent les infections. Cela peut entraîner une pneumonie, qui à son tour pourrait être mortelle. La guérison des lésions pulmonaires est lente. L'ypérite est absorbée et distribuée par la circulation sanguine; elle affaiblit l'immunité de l'organisme qui devient ainsi vulnérable aux infections, avec risque de pneumonie et de septicémie.

Les effets à long terme de l'exposition ont été observés chez les victimes iraniennes de l'exposition à l'ypérite. Il y a des problèmes cutanés persistants et des graves maladies pulmonaires comme la bronchite et l'emphysème. Les lésions oculaires sont également évidentes dans certains cas et l'effet, retardé, a entraîné la cécité. L'ypérite peut également toucher l'ADN et est un agent cancérigène potentiel. On a observé une forte incidence de cancers des voies respiratoires chez des ouvriers travaillant dans des usines d'ypérite.

Il existe un dérivé de l'ypérite, l'ypérite à l'azote, qui est en fait utilisé pour la prévention des cancers. Les ypérites ont au moins deux groupements 2-chloroéthyl attachés soit à des résidus de thioéther (les ypérites au soufre) ou à des résidus amines comme dans les ypérites à l'azote. Le groupement N (CH₂)₂ Cl de l'ypérite à l'azote est un composant essentiel de trois médicaments anticancéreux communs utilisés dans le traitement de cancers comme le myélome, le lymphome non-hodgkinien, la maladie de Hodgkin et certaines leucémies.

Les neurotoxiques

Les neurotoxiques sont des composés organo-phosphorés qui inhibent l'enzyme appelée cholinestérase. Cette inhibition perturbe la fonction nerveuse. Il existe deux familles de neurotoxiques, les agents G qui attaquent surtout l'organisme par les voies respiratoires et les agents communément appelés agents V qui attaquent l'organisme principalement par la peau et les voies respiratoires lorsqu'ils sont sous forme d'aérosols. Tant par leurs caractéristiques chimiques que par leurs propriétés toxiques, les neurotoxiques ressemblent à beaucoup de pesticides organo-phosphorés du commerce. Les neurotoxiques sont pour la plupart inodores et incolores et à température ambiante, ce sont des liquides incolores ou jaune-marron.

Les gaz neurotoxiques peuvent être absorbés en tout point de la surface corporelle; dispersés sous forme de vapeur ou d'aérosol ou adsorbés sur des poussières, ils sont aisément absorbés au niveau des voies respiratoires. Les effets sur l'organisme sont rapides. L'exposition à des concentrations supérieures à 3 mg-min/m^3 occasionne des troubles de la vue. En cas d'exposition prolongée, les effets inhibiteurs de ces gaz sur l'enzyme cholinestérase entraînent l'apparition de nombreux symptômes, notamment des céphalées violentes, des douleurs oculaires, de la rhinorrhée, une sensation d'oppression thoracique, une expiration sifflante, une sudation accrue, une fatigue et une faiblesse prononcées, des changements d'humeur rapides et des cauchemars. Les victimes se trouvent inmanquablement dans un état de grande confusion.

La concentration létale du tabun est estimée à environ 150 mg/m^3 par minute. Le degré d'exposition aux agents de guerre chimique est le produit de la concentration par la durée d'exposition. Ainsi, pour le tabun, la dose létale serait également de 15 mg/m^3 pendant dix minutes. On peut exprimer de manière concise à la fois une exposition d'une minute à une concentration de 150 mg/m^3 et une exposition de dix minutes à une concentration de 15 mg/m^3 par la formule 150 mg-min/m^3 . La dose létale d'un autre agent neurotoxique, le sarin, est comprise entre 70 et 100 mg-min/m^3 . Pour le VX, la dose létale est environ moitié moindre que celle du sarin. En présence d'une teneur plusieurs fois supérieure à la dose létale, la mort survient en quelques minutes.

La guérison totale est possible si l'exposition a été faible ou modérée. En cas d'empoisonnement plus grave, un traitement spécifique à base d'antidotes est nécessaire pour sauver les victimes. Les agents neurotoxiques sont les seuls agents de guerre chimique pour lesquels des antidotes spécifiques existent. En cas d'empoisonnement sévère, la guérison totale n'est pas garantie.

Le CS

L'O-chlorobenzalmononitrile, plus connu sous le nom de CS, se présente à température ambiante sous forme d'un solide cristallin blanc. Classé parmi les irritants, le CS agit rapidement et irrite intensément les yeux et les muqueuses du nez et de la gorge. Il peut être dispersé sous forme de nuage de poussière ou dissous dans un solvant organique. Il est très facile de se procurer du CS dans le commerce car c'est un agent anti-émeute.

Des irritations des yeux et des voies respiratoires surviennent dans la minute chez certains sujets à une concentration aussi faible que $0,004 \text{ mg/m}^3$. À une concentration de 4 mg/m^3 , les irritations deviennent très marquées. Le CS est l'agent anti-émeute de prédilection, car la dose létale est extrêmement élevée et nettement supérieure à la concentration nécessaire pour causer des irritations. D'après les estimations, et ce ne sont que des estimations, la dose létale est comprise entre 25 000 et $150\,000 \text{ mg-min/m}^3$.

Le rétablissement intervient généralement dans les 30 minutes qui suivent la fin de l'exposition aux irritants mais les symptômes peuvent persister plus longtemps. Ces signes et symptômes persistent principalement parce qu'il est inefficace d'enlever les agents CS des surfaces corporelles affectées. Les solutions de CS causent des irritations cutanées sévères. La peau rougit en quelques minutes et les rougeurs persistent pendant environ une heure. Des rougeurs marquées (érythème), qui apparaissent plus tard, peuvent persister pendant 24 à 72 heures. Il peut aussi apparaître des phlyctènes, et la peau revêt un aspect croûteux. Ces dernières lésions, plus graves, peuvent mettre des semaines à guérir.

Les victimes du CS ressentent des douleurs et une oppression thoraciques et certaines essaient de retenir leur respiration. Après quelques minutes des picotements et des brûlures surviennent au niveau des zones cutanées exposées, notamment le nez et la gorge.

L'exposition peut également entraîner des nausées et des vomissements. En raison de ses fortes propriétés irritantes, le CS crée chez les individus un sentiment d'angoisse et entraîne une augmentation temporaire de la pression sanguine et de la fréquence cardiaque. Les asthmatiques risquent de ressentir des symptômes de crise, en raison de l'irritation des poumons. Il n'est pas prouvé que le CS ait des propriétés cancérogènes.

Des questions à se poser :

- i) Quelles leçons tirer de l'utilisation des armes chimiques ?
- ii) Est-il important de faire des recherches sur les armes chimiques ? Si oui, dans quelles circonstances ?
- iii) Qui pourrait être autorisé à entreprendre ces recherches ? Où devraient-elles/pourraient-elles se faire ?
- iv) Faudrait-il rendre publics les résultats de ces recherches ? Dans la négative, pourquoi ?
- v) Quels produits chimiques considérez-vous comme des agents de guerre chimique potentiels ? Comment en prévenir l'utilisation à cette fin ?

Conclusion

Pour de plus amples informations sur les propriétés chimiques et toxiques des agents décrits ci-dessus, consultez la littérature médicale et scientifique. Beaucoup de renseignements ont également été publiés sur d'autres types d'agents de guerre chimique. La littérature publiée est disponible sur diverses bases de données en ligne, notamment MEDLINE, EMBASE, PubMed et TOXLINE. D'autres ressources existent, en particulier les livres suivants :

"Santé publique et armes chimiques et biologiques" : Rapport d'un Groupe de consultants de l'OMS. Organisation mondiale de la Santé, Genève, 2004. Consultable également sur <http://www.who.int/csr/delibepidemics/informationresources/en/>. Ce texte est aussi disponible en anglais, en espagnol et en russe.

Mars, T.C., Maynard, R.L., Sidell, F.R., *Chemical Warfare Agents Toxicology and Treatment.* Chichester. Wiley, 1996.

Vedder, E.B., *The Medical Aspects of Chemical Warfare.* Baltimore, Maryland. Williams and Wilkins, 1925.

Sidell, F.R., Patrick, W.C., Dashiell, T.R., *Jane's Chem-Bio Handbook.* Coulsdon, England. Jane's Information Group, 1998.

Somani, S.M., Romano, J.A. (eds.), *Chemical Warfare Agents: Toxicity at Low Levels.* Boca Raton, Fa. CRC Press, 2001.

Les produits chimiques : du bon et du mauvais

Tout dans le monde est fait à partir de produits chimiques, naturels ou synthétisés par l'homme. Certains produits chimiques naturels sont utilisés sous leur forme originelle, comme l'eau, le sable de la plage ou l'oxygène de l'air que nous respirons. Certains produits chimiques sont traités avant utilisation, comme le pétrole qui est raffiné afin d'extraire les produits chimiques que l'on trouve dans l'essence, le fer extrait du minerai de fer ou la nourriture extraite des plantes et transformée pour en faire par exemple un gâteau au chocolat. Certains produits chimiques sont entièrement créés par l'homme à partir de différentes combinaisons de matières premières naturelles; citons les tissus en nylon, les puces informatiques ainsi que de nombreux produits pharmaceutiques. En 200 ans, un secteur d'activité vaste et complexe s'est développé autour de la synthèse de ces produits chimiques, réalisée parfois dans de grands réacteurs sophistiqués, parfois à l'aide de micro-organismes qui effectuent une partie du travail. Notre mode de vie tout entier dépend de l'interaction entre les produits chimiques qui constituent nos corps et les produits chimiques du monde qui nous entoure.

Tous les produits chimiques comportent un degré de risque, qu'ils soient utilisés seuls ou en combinaison. Les chimistes ont appris à manipuler les produits chimiques et à contrôler les réactions chimiques de manière à minimiser les risques éventuels pour les humains et pour l'environnement. L'industrie chimique trouve sans cesse de meilleurs moyens de rendre plus sûrs les produits chimiques synthétiques et leur fabrication, et d'éliminer les déchets qui pourraient nuire à l'environnement—c'est l'objectif de ce que l'on appelle "la chimie verte".

Cependant certains produits chimiques sont délibérément conçus pour qu'ils soient toxiques ! Par exemple, l'industrie pharmaceutique met au point de nombreux produits chimiques qui, à la bonne dose, peuvent tuer des bactéries et des virus pathogènes sans mettre l'organisme hôte en danger. D'autres produits chimiques sont conçus pour empoisonner les cellules cancéreuses qui se trouvent dans le corps humain. L'industrie agro-chimique synthétise des produits chimiques qui tuent des insectes, des champignons, des rongeurs et d'autres parasites qui pourraient détruire nos ressources vivrières, ou d'autres pour la lutte contre les plantes adventices. Ainsi, même des produits chimiques très toxiques peuvent être utiles à l'homme s'ils sont mis au point pour ne cibler que les éléments en cause et s'ils sont utilisés d'une manière prudente et responsable.

Certains produits chimiques ont été créés dans un but complètement différent, pour tuer ou blesser des êtres humains. Les armes chimiques (qu'avant on appelait souvent "gaz toxiques") ont été utilisées tout au long de l'histoire, au départ sous la forme de substances primitives, comme les fumées délétères du soufre qui se consume, puis ce furent des produits chimiques synthétiques d'une extrême toxicité dont la plupart ont été mis au point dans la première moitié du XX^e siècle. Ces armes chimiques ont été utilisées lors de la première guerre mondiale et par la suite dans des guerres et conflits régionaux divers. Au cours de la seconde moitié du XX^e siècle, des dizaines de milliers de tonnes d'agents de guerre chimique ont été produites sous des formes utilisables sur le champ de bataille et chargées dans des munitions, des obus, des bombes, des contenants, ainsi que sous d'autres formes. Certains agents entraînent une horrible vésication de la peau ainsi que la suffocation par leurs effets sur les poumons. D'autres sont des poisons mortels pour le système nerveux central et entraînent rapidement la paralysie puis la mort. De toutes les armes de guerre, les produits chimiques sont considérés depuis longtemps comme particulièrement répugnants.

Tout au long de l'histoire, il y a eu des tabous proscrivant l'emploi des armes chimiques. Par exemple, l'emploi en temps de guerre de la peste et du poison a été stigmatisé dans diverses cultures, notamment chez les Grecs et les Romains, dans le code de Manu en Inde ou dans les

règles sur la conduite de la guerre des Sarrasins. Au cours de la seconde moitié du XIX^e siècle, diverses tentatives internationales de codification de l'interdiction des armes chimiques ont vu le jour mais ces accords n'empêchèrent ni leur emploi ni leur fabrication pour utilisation éventuelle. En 1925, le protocole de Genève a été adopté. Il interdisait l'emploi des armes chimiques et des moyens de guerre bactériologique (biologique). Mais cela n'a pas empêché des nations de les acquérir et dans certains cas de les utiliser. Finalement, en 1993, les pays du monde ont élaboré un traité plus perfectionné et d'une plus grande portée : la **Convention sur l'interdiction de la mise au point, de la fabrication, du stockage et de l'emploi des armes chimiques et sur leur destruction (CIAC)**, qui interdit la possession et l'emploi d'armes chimiques et a pour objet d'éliminer les armes chimiques, partout dans le monde, pour toujours et sous un régime de vérification internationale strict. Suite à sa ratification en 1996 par 65 nations, il est entré en vigueur en 1997 et le nombre d'*États parties* s'est ensuite élevé à 173. Douze autres États ont signé la Convention mais sans la ratifier, et bien qu'ils ne soient pas considérés formellement comme des États parties à la CIAC, ils se sont engagés à adhérer au principe de l'interdiction des armes chimiques. Seuls neuf États n'ont pas encore suivi cette voie.

Toute personne qui, dans ses activités, utilise des produits et techniques chimiques doit comprendre le but de la CIAC, afin de reconnaître quels aspects des produits chimiques elle interdit et d'apprécier à leur juste valeur les applications plus larges de la chimie que non seulement elle permet mais qu'elle encourage également. Tous ceux qui dans leurs activités utilisent des produits et techniques chimiques doivent prendre conscience que la CIAC pourrait s'appliquer à eux; les produits chimiques en eux-mêmes ne sont ni bons ni mauvais mais même les produits et les technologies chimiques qu'il est prévu d'utiliser dans les meilleures intentions pourraient être utilisés à mauvais escient.

La Convention sur l'interdiction des armes chimiques : vue d'ensemble

Le texte intégral de la Convention ainsi que ses annexes comprend environ 140 pages*. Comme la plupart des textes juridiques, son langage est précis et très détaillé, car il s'agit de disposer d'un texte sans ambiguïté à des fins de réglementation, mais les concepts de base en sont vraiment simples. Au risque de tomber dans une simplification exagérée, attachons-nous maintenant au sens qui se cache derrière le jargon technique et juridique.

Les rédacteurs de la CIAC ont reconnu l'importance de la chimie et des produits chimiques pour le monde entier et la CIAC est conçue pour promouvoir un usage responsable des produits chimiques. Elle est fortement soutenue par le secteur chimique international, qui reconnaît la nécessité d'un certain niveau de réglementation de ses activités afin de prévenir l'usage indu de produits chimiques comme armes de guerre.

La CIAC traite des *produits chimiques toxiques*, qui sont définis de la manière suivante : "Tout produit chimique qui, par son action chimique sur des processus biologiques, peut provoquer chez les êtres humains ou les animaux la mort, une incapacité temporaire ou des dommages permanents," ainsi que de certains *précurseurs* de produits chimiques toxiques. Parce que ces produits chimiques peuvent avoir de nombreux emplois pacifiques et très intéressants, tels quels ou en association dans des réactions chimiques qui produisent d'autres substances intéressantes, la CIAC distingue les *fins* auxquelles le produit chimique est préparé, stocké, échangé ou employé. C'est ce que l'on appelle le **critère d'utilisation générale**; il est au cœur de la CIAC. Il interdit tous les produits chimiques et leurs précurseurs "à l'exception de ceux qui sont destinés à des fins non interdites par la présente Convention, aussi longtemps que les types et quantités en jeu sont compatibles avec de telles

* Le texte de la Convention est disponible sur www.opcw.org.

fin". Cette formulation plutôt ennuyeuse *permet* l'emploi des produits chimiques pour toutes les applications que tout un chacun fait dans des activités normales et légitimes. La CIAC *inclut* spécifiquement dans ces fins autorisées les fins industrielles, agricoles, de recherche, les fins médicales, pharmaceutiques ou d'autres fins pacifiques, la protection contre les produits chimiques toxiques et les armes chimiques ainsi que le maintien de l'ordre public. Elle permet même (ou plutôt elle n'interdit pas) l'emploi de produits chimiques à des fins militaires [par exemple en tant qu'explosifs], tant que ces fins ne sont pas tributaires de l'emploi, en tant que moyen de guerre, des propriétés toxiques de produits chimiques.

Bien que le critère d'utilisation générale s'applique à tous les produits chimiques existants et à tout produit chimique qui pourrait être synthétisé à l'avenir, les rédacteurs de la CIAC ont également inclus dans le texte trois listes ou *tableaux* d'environ 50 produits chimiques ou classes de produits chimiques qui ont déjà été mis au point comme armes chimiques ou qui pourraient facilement être convertis en de telles armes. Des rapports annuels sont demandés sur la fabrication ou le transfert de ces *produits chimiques inscrits*, qui vont d'armes connues comme le sarin, la lewisite, l'ypérite et la ricine, à des substances communes comme le phosgène, le cyanure d'hydrogène, le phosphite de triméthyle et la triéthanolamine. L'emploi d'aucun de ces produits chimiques n'est interdit par la CIAC. Un grand nombre d'entre eux sont nécessaires à la synthèse chimique, d'autres sont des ingrédients de préparations et de produits utilisés dans divers domaines de l'activité humaine comme la teinture de textiles ou l'extraction minière. Même des armes chimiques puissantes, comme l'ypérite à l'azote ou la saxitoxine, ont des utilisations valables dans la recherche et le traitement médical. Simplement, la CIAC ne fait que prescrire le suivi de la fabrication et de l'emploi, et elle prévoit l'inspection des établissements gouvernementaux et privés qui fabriquent ou utilisent ces produits chimiques au-delà de certaines quantités.

La destruction des armes chimiques

Un aspect important de la CIAC est l'obligation faite aux États parties de déclarer leurs stocks existants d'armes chimiques et de convenir de leur destruction complète dans des délais spécifiés. En tout, plus de 71 000 tonnes d'armes chimiques ont été déclarées par six États, la plupart se trouvant en Russie et aux États-Unis suite à la guerre froide. À ce jour, environ 12 000 tonnes d'armes chimiques ont été détruites. Les procédés de destruction posent un défi technique et sont très coûteux à cause de la diversité des armes et des produits chimiques et de la nécessité d'assurer un niveau élevé de sécurité et de protection de la santé et de l'environnement. De plus, 64 installations de fabrication d'armes chimiques ont été déclarées et la plupart ont déjà été détruites ou converties à des fins autorisées.

L'OIAC

La Convention prévoit un cadre pour l'administration et l'application de ses dispositions, à savoir *l'Organisation pour l'interdiction des armes chimiques* (OIAC). L'OIAC est composée d'États parties (qui collectivement constituent la Conférence des États parties à la CIAC), du Conseil exécutif de l'OIAC et d'un Secrétariat technique, établi à La Haye (Pays-Bas), avec à sa tête un Directeur général. L'OIAC est chargée d'une grande variété de tâches, notamment la collecte, la vérification, l'analyse et la publication de données fournies par les États parties. Des inspecteurs de l'OIAC vérifient les déclarations relatives aux armes chimiques et leur destruction par l'inspection sur place des lieux de stockage d'armes chimiques et des procédés de destruction. Ils mènent également des inspections de routine des installations de fabrication de produits chimiques afin de vérifier l'exactitude des données déclarées et de s'assurer que les activités sont en accord avec les exigences de la CIAC qui interdit de mettre au point, de fabriquer ou de transférer des produits chimiques à des fins liées aux armes chimiques. En outre, l'OIAC a le pouvoir de procéder à des "inspections par mise en

demeure" s'il est allégué qu'un État a violé la CIAC, mais cette procédure n'a jusqu'ici jamais été utilisée. Une inspection par mise en demeure peut être menée pour inspecter des emplacements ou des installations dans un État partie en tout temps et en quelque lieu que ce soit, à bref délai et sans que l'État partie ait aucun droit de refus. L'objectif des inspections de routine est de donner aux États parties l'assurance que les dispositions de la CIAC sont respectées uniformément. De plus, l'OIAC fournit aux États parties une assistance technique sur les questions liées au désarmement chimique, les aide à améliorer leur protection contre les armes chimiques et met en œuvre des programmes pour promouvoir la coopération internationale dans des domaines tels que les études de chimie, l'échange d'informations scientifiques et techniques et d'équipement à des fins pacifiques et soutient la recherche chimique à des fins pacifiques ainsi que l'adoption de bonnes pratiques dans la fabrication de produits chimiques. Le site Internet de l'OIAC www.opcw.org fournit toutes les informations sur les programmes et activités en cours.

La CIAC interdit *tout* usage d'armes chimiques. Cependant ce traité est interétatique et le mécanisme d'application à l'échelle internationale par le biais de l'OIAC concerne essentiellement l'activité des États. La mise en œuvre au sein de chaque État relève de la responsabilité de l'État partie et de l'*autorité nationale* qu'il crée. La plupart des États parties ont adopté une législation qui impose des sanctions civiles et pénales en cas de non-respect de la Convention et qui exige des personnes physiques et des entreprises chimiques qu'elles respectent les dispositions de la CIAC concernant la non-prolifération et qu'elles communiquent certaines données à l'autorité nationale. La grande inquiétude actuellement est que des terroristes se procurent d'une manière ou d'une autre des armes chimiques ou matériaux connexes (par exemple, des précurseurs chimiques ou des produits chimiques industriels toxiques). C'est aux gouvernements nationaux qu'il incombe fondamentalement de freiner le terrorisme à l'intérieur de leurs frontières, mais l'OIAC fournit des conseils et une assistance technique pour l'élaboration des mesures législatives, réglementaires et coercitives que les États parties utilisent pour empêcher l'accès de criminels et de terroristes à des armes chimiques et matériaux connexes.

Le Groupe Australie

Parallèlement au cadre de la CIAC, mais avec des objectifs analogues, fonctionne le *Groupe Australie*, groupe informel rassemblant 39 nations, la plupart hautement industrialisées, qui sont toutes parties à la CIAC et à la Convention sur les armes biologiques, et auxquelles s'ajoute la Commission européenne. Ce groupe harmonise les procédures nationales de délivrance des licences d'exportation au sein des nations participantes, afin d'*empêcher* que se répandent certaines installations, certains équipements et matériels qui pourraient être utilisés pour des programmes d'armes chimiques et biologiques. Certains États parties à la CIAC reprochent au Groupe Australie que ses membres appliquent également ces procédures de délivrance de licences à des États parties à la CIAC, pratique qu'ils estiment contradictoire avec l'objectif de la CIAC, à savoir promouvoir les échanges d'informations scientifiques et techniques et de produits chimiques et d'équipements entre les États parties à des fins pacifiques. Les membres du Groupe Australie, d'un autre côté, estiment que leurs mesures sont pleinement conformes à la CIAC et en harmonie avec leur obligation de ne pas aider à la prolifération des armes chimiques.

La Convention sur les armes biologiques et à toxines

La *Convention sur les armes biologiques et à toxines* (BTWC), qui est entrée en vigueur en 1975, a des objectifs analogues à ceux de la CIAC mais porte sur les armes biologiques. Elle aussi est articulée autour d'un critère d'utilisation générale. Bien que la BTWC ait été mise en place bien avant la CIAC, les parties à la BTWC n'ont jusqu'ici pas été en mesure de

s'accorder sur des mécanismes de vérification et d'inspection et il n'y a pas de structure administrative multilatérale (internationale) comparable à celle de l'OIAC. Les deux conventions se chevauchent en ce sens que les toxines produites par les micro-organismes sont également des produits chimiques au sens de la CIAC.

L'avenir

Petit à petit, l'OIAC approche de son objectif d'"universalité", à savoir l'adhésion de toutes les nations à la CIAC. L'OIAC offre, grâce à des inspections sur place, des assurances internationales que ces États respectent leurs obligations contractuelles et détruisent toutes les armes chimiques et les installations de fabrication connexes dont ils disposent et qu'ils ne reprendront pas la fabrication d'armes chimiques à l'avenir. Les États parties eux-mêmes mettent en place des mesures juridiques et autres mesures qui étendent au-delà de l'État lui-même l'interdiction des armes chimiques, en visant tant les personnes physiques que morales. Mais au bout du compte, et pour une abolition durable des armes chimiques, il s'agit d'obtenir un comportement responsable de la part des individus qui manipulent les produits chimiques, l'équipement et les technologies chimiques. La citation sur le frontispice du site Internet de l'OIAC—"Résolus, dans l'intérêt de l'humanité tout entière, à exclure complètement la possibilité de l'emploi des armes chimiques..."—est une déclaration forte de la volonté d'effacer cette ombre au tableau impressionnant des contributions de la chimie à l'humanité. Les travaux de l'OIAC, conjugués aux efforts nationaux individuels, réduisent la progression des armes chimiques potentielles, mais il restera toujours la possibilité de nouvelles découvertes qui pourraient créer involontairement le risque que surgissent ce qui pourrait devenir de nouvelles générations d'armes chimiques et il restera toujours la possibilité que de petites quantités de produits chimiques soient détournées par des terroristes à des fins répugnantes.

L'Union internationale de chimie pure et appliquée (UICPA) estime qu'une meilleure compréhension de la maîtrise des armements chimiques ainsi que des responsabilités morales individuelles de tous ceux qui utilisent des produits chimiques peut singulièrement renforcer les efforts nationaux et internationaux.

- - - 0 - - -

La prévention dans le domaine des armes chimiques : Quel rôle attribuer aux codes de déontologie ?

Objectifs :

- * Développer la compréhension de l'évolution de la place de la chimie et du génie chimique dans la société.
- * Informer de la diversité, des fonctions et des mérites possibles des codes déontologiques.
- * Encourager la réflexion sur les normes professionnelles et sur les codes possibles.

La définition de normes de conduite professionnelle suscite un vif intérêt chez un grand nombre de personnes dans le milieu de la chimie. Au début du XX^e siècle, ce que nous appelons aujourd'hui le génie chimique commençait tout juste à devenir un domaine distinct. Les "ingénieurs chimistes" de l'époque avaient différents niveaux de connaissances de la chimie pure et appliquée

ainsi que du génie mécanique. Alors que le recours à des équipes de chimistes et d'ingénieurs en mécanique était courant dans des pays comme l'Allemagne, il était proposé, aux États-Unis, de créer une profession unique d'ingénieurs chimistes. Cette démarche était motivée en partie par le peu de prestige dont jouissaient les chimistes industriels. En 1908 l'Institut américain des ingénieurs chimistes a été créé pour évaluer les programmes d'universités et normaliser les exigences en matière de formation. L'Institut décidait qui pouvait ou non recevoir le titre d'"ingénieur chimiste" et il a joué un rôle crucial dans l'amélioration des normes applicables aux ingénieurs chimistes et du statut de ceux-ci, ainsi que dans la promotion de leur contribution unique à l'industrie.

Dans les décennies qui ont suivi, les organisations de professionnels de la chimie ont suivi les pratiques des professions médicales, comptables et autres professions techniques en utilisant des pseudo "codes d'éthique" comme mécanisme d'établissement de normes et d'appel à la réflexion. L'expression générale "code d'éthique" ou "code de déontologie" couvre toute une variété d'options. Il est possible de distinguer les codes suivant leur fonction : proclamer des valeurs sous forme d'*aspirations*, proposer des *directives pédagogiques/indicatives* ou stipuler des exigences *applicables*, par exemple pour le lieu de travail.

Les différents types de codes

Les codes énonçant des aspirations formulent des idéaux que les praticiens sont censés respecter, par exemple des normes sur l'intégrité et l'honnêteté de la recherche. Ces codes peuvent être réalistes ou idéalistes. Par exemple en 1965 l'*American Chemical Society* a approuvé la *Chemist Creed (profession de foi du chimiste)* qui appelait les chimistes "à être un agent fidèle et incorruptible, qui respecte la confidentialité, conseille honnêtement et demande des honoraires justes." Cette profession de foi précisait que dans le milieu de la chimie, le professionnel avait la responsabilité "de préserver la dignité de la profession comme secteur primordial d'apprentissage et de pratique, d'échanger des idées et informations grâce aux sociétés et aux publications de la profession, de donner une reconnaissance généreuse aux travaux d'autres chimistes et de s'abstenir de toute publicité excessive."

Les codes *pédagogiques/indicatifs* font davantage qu'établir simplement des aspirations : ils offrent des directives détaillées pour des mesures appropriées. Les *codes exécutoires* vont encore plus loin, en enchâssant dans des cadres réglementaires plus larges des normes qui peuvent ainsi être rendues obligatoires. Le code de déontologie de 1963 de l'*American Institute of Chemical Engineers* offrait une gamme de règles pour ses membres, par exemple : "Il ne révélera pas d'informations concernant les affaires commerciales ou procédés techniques d'aucun employeur ou client actuel ou ancien sans le consentement de celui-ci."

Tout manquement à ce code pouvait entraîner des sanctions professionnelles ou, dans certains cas, des sanctions juridiques.

Les codes peuvent remplir diverses fonctions, notamment en mettant en lumière des sujets de préoccupation pour les professionnels, en servant de base à l'admission d'individus dans les professions chimiques ou à leur exclusion, en gagnant la confiance du public et, point très important, en établissant des attentes en matière d'éthique.

Au cours des 20-30 dernières années, l'adoption de codes de conduite est devenue de plus en plus courante, en particulier dans les pays occidentaux où sont nés de nombreux codes modernes. Le contenu et les objectifs des codes reflètent de plus en plus des préoccupations généralisées au sujet des conséquences sociétales et éthiques de la chimie. Par exemple, la profession de foi du chimiste a été révisée en 1994 afin d'inclure une responsabilité supplémentaire, à savoir que "Les chimistes devraient comprendre et prévoir les conséquences environnementales de leurs travaux. Les chimistes ont la responsabilité d'éviter la pollution et de protéger l'environnement."

Les codes *exécutoires*, par le passé, étaient beaucoup plus courants dans le génie chimique que dans les domaines de la chimie axés sur la recherche. Dans le génie chimique, les codes faisaient partie de systèmes de reconnaissance professionnelle dans de nombreux pays et souvent ils spécifiaient des normes pour la conduite des relations commerciales. Plus récemment, plusieurs codes ont été élaborés pour les universitaires qui participent à des recherches fondamentales ou appliquées. Aux États-Unis, par exemple, il y a eu pendant les années 1980 et 1990 plusieurs scandales scientifiques de haut niveau concernant des conflits d'intérêt commerciaux universitaires, des fraudes et autres formes d'inconduite en matière de recherche. En partie pour répondre à de tels événements si médiatisés, l'*American Chemical Society* a publié *Professional Employment Guidelines* (Directives sur l'emploi dans la profession) (1988) et *Ethical Guidelines to Publication of Chemical Research* (Guide d'éthique sur la publication des travaux de recherche chimique) (2000), qui allaient bien au-delà des aspirations idéalistes énoncées dans la profession de foi du chimiste.

Des avantages et des inconvénients

En dépit de l'importance croissante des codes, des questions se sont fait jour au sujet de leur valeur. Un sujet de préoccupation fréquemment indiqué est le fait que l'efficacité des codes énonçant des aspirations ou codes indicatifs n'est pas adossée à des mécanismes d'exécution. Autre sujet de préoccupation : les codes échouent presque invariablement à dissuader ceux qui sont vraiment décidés à les violer de le faire. De même, les dispositions extrêmement abstraites des codes énonçant des aspirations ne laissent aucune souplesse d'interprétation quant à ce qui devrait être fait. Ce flou, associé aux pouvoirs limités de ces codes, signifie que ceux-ci sont quelquefois perçus comme n'étant guère plus que des mécanismes de relations publiques pour certaines professions, dont l'objectif est de dissuader les gens extérieurs à la profession d'influencer la conduite des membres de la profession.

L'avenir des codes dépend en grande partie de la rigueur des mécanismes mis en place pour les promouvoir et les faire respecter. Les partisans des codes énonçant des aspirations soutiennent que ceux-ci remplissent des fonctions plus variées que la simple garantie de certaines formes de comportement. Accroître la sensibilisation, proposer des sujets à examiner, préciser les responsabilités individuelles, augmenter la confiance du public, définir des attentes minimales en matière d'éthique ne sont que quelques-uns de leurs avantages. Sous cet angle, le processus même de la mise en place d'un code peut être tout aussi important que le document final.

Dans le cas des codes exécutoires, il n'y a pas le même degré de doute initial quant à leur efficacité. Toutefois, certains s'interrogent sur la possibilité de définir adéquatement, dans des codes écrits, ce que l'on considère comme un comportement approprié, conforme à l'éthique. Il est souvent avancé qu'on ne peut pas réduire des décisions morales au simple respect de règles et de formules "inertes" qui n'abordent pas les complexités des situations. La finalité des codes devrait être de faire réfléchir les gens sur ce qu'ils font et les encourager à discuter ouvertement des conséquences de leur travail.

Ainsi, les codes qui consistent en des aspirations hautement générales risquent de se faire reprocher de se prêter à des interprétations différentes, alors que ceux qui sont très rigides risquent d'être considérés comme non pertinents dans des situations très dynamiques et complexes.

L'examen de leurs obligations contradictoires illustre la difficulté d'utiliser des codes pour prendre des décisions morales. Les codes comprennent généralement la responsabilité de tenir dûment compte des intérêts des clients et du bien public. Dans le Code de déontologie de 1963 de l'*American Institute of Chemical Engineers* on entend par servir les intérêts des clients "ne jamais divulguer des renseignements confidentiels". Ce code exige également de ses membres qu'ils considèrent comme primordiaux la sécurité, la santé et le bien-être du public. S'il survient une situation dans laquelle un chimiste soupçonne que le respect de la confidentialité pourrait être en conflit avec le bien public, par exemple s'il s'agit de dénoncer les inquiétudes que suscitent les conséquences environnementales possibles à long terme d'activités de production, ce chimiste pourrait trouver le code très contradictoire. Les codes peuvent souvent être ambigus et ne pas être des guides déontologiques très utiles.

L'exemple du cas où on soupçonne un mal futur soulève d'autres questions quant aux responsabilités que devraient endosser les scientifiques et les ingénieurs. Suffit-il qu'ils utilisent leurs connaissances spécialisées conformément aux règlements et normes existants ? Ou alors les scientifiques et ingénieurs devraient-ils assumer la responsabilité de veiller à ce que leurs travaux aboutissent à des résultats sociaux favorables (pour qui) ? Bref, quelles questions doivent-ils se poser sur les conséquences de leurs travaux ?

Les codes déontologiques et l'élimination des armes chimiques

Ainsi qu'il est indiqué ci-dessus, des codes sont souvent élaborés pour répondre à des préoccupations sociétales en évolution. Depuis quelques années, l'opinion est plus sensibilisée à la question des "armes de destruction massive" et l'on met davantage l'accent sur le rôle des professionnels de la chimie dans la prévention de la dissémination et de l'utilisation des armes chimiques. Les codes déontologiques ont été proposés comme l'un des moyens d'en assurer l'élimination.

La pertinence de la participation des scientifiques à la recherche-développement militaire fait l'objet depuis longtemps de vives controverses dans le monde. Comme on pourrait s'y attendre, à l'époque moderne, les chimistes ont été intimement associés à l'élaboration des armes chimiques. Le cas du chimiste allemand Fritz Haber, pionnier et patriote, illustre un grand nombre des questions épineuses qui se posent lorsqu'on considère la relation entre la science et la conduite morale. Pendant la première guerre mondiale, Haber a activement contribué au programme allemand d'armes chimiques et en 1915 il a dirigé personnellement la première utilisation guerrière du chlore à Ypres en Belgique. De tels moyens, espérait-il, pourraient offrir à son pays un avantage militaire distinct, alors que la guerre des tranchées était dans l'impasse. L'enthousiasme pour cette utilisation de la chimie n'était pas unanime. L'épouse de Haber, Clara, chimiste également, s'est suicidée et certains pensent qu'il y a un rapport entre ce suicide et la participation de son mari à l'élaboration d'armes empoisonnées.

En 1919, Haber a reçu le prix Nobel pour avoir réalisé la synthèse de l'ammoniac à partir de l'azote de l'air. Ces travaux, effectués avant la guerre, ont conduit à la mise au point de techniques pour produire des engrais artificiels, qui ont augmenté la production vivrière et permis de nourrir de nombreuses populations dans le monde. La découverte faite par Haber a également aidé l'Allemagne à maintenir son approvisionnement en explosifs brisants pendant toute la première guerre mondiale. On se rappelle souvent que ce même homme a déclaré lors de son discours d'acceptation du prix Nobel que dans aucune guerre future les militaires ne pourraient ignorer les gaz toxiques et que c'est un meurtre d'ordre supérieur. Cette dernière idée concerne les moyens dont les armes chimiques pourraient mettre des soldats hors de combat sans entraîner nécessairement leur mort.

Depuis le début du XX^e siècle, il y a eu de nombreuses initiatives internationales en vue d'établir un accord international sur l'inacceptabilité des armes chimiques. Ces efforts ont finalement abouti à la Convention sur l'interdiction des armes chimiques de 1993, qui interdit la possession et l'emploi d'armes chimiques.

Les scientifiques et ingénieurs individuels ainsi que les professionnels du milieu de la chimie ont un rôle important à jouer pour maintenir cette interdiction intacte. Plusieurs développements constituent d'importants défis pour l'avenir. Les progrès continus de la chimie synthétique, la mise en place de grandes bases de données de composés dans les industries pharmaceutique et agrochimique, l'amélioration de la technologie des microréacteurs et la prolifération des moyens de production par lots aident indubitablement la fabrication de produits chimiques civils utiles, mais ces progrès pourraient également faciliter la mise au point d'armes chimiques.

En outre, en vertu de l'exemption prévue dans la Convention sur l'interdiction des armes chimiques quant à l'emploi de produits chimiques aux fins du maintien de l'ordre public, certaines forces armées recherchent activement de prétendus agents chimiques incapacitants pour la lutte anti-émeute, alors que d'autres estiment que ces recherches pourraient miner les efforts visant à stigmatiser et à éliminer toutes les armes chimiques.

L'adoption et la promulgation de codes déontologiques sont considérées comme l'un des moyens d'accroître la sensibilisation à l'interdiction des armes chimiques. Elles encouragent également les États et les individus à se conformer aux obligations qui leur incombent au titre de la Convention sur l'interdiction des armes chimiques. Actuellement, peu de codes déontologiques dans le milieu de la chimie traitent directement des armes chimiques, à l'exception des secteurs de l'industrie chimique qui ont adhéré au Programme de gestion responsable (*Responsible Care*). Ceux qui ont adhéré au programme ont le devoir de veiller à ne pas vendre des précurseurs d'armes chimiques. La plupart des codes n'abordent pas les questions controversées plus larges associées à la participation de scientifiques et d'ingénieurs à la mise au point d'armes.

Exception à l'usage général, le Réseau international des ingénieurs et des scientifiques pour une responsabilité globale (*International Network of Engineers and Scientists for Global Responsibility*) a lancé un appel aux ingénieurs et scientifiques pour les encourager à signer un document dans lequel ils déclarent :

Je m'engage à ne participer aucunement à l'élaboration et à la fabrication d'armes de destruction massive et d'armes qui sont interdites par des conventions internationales...

Étant donné que les résultats de la science appartiennent au bout du compte à l'humanité, j'étudierai consciencieusement ma participation à des projets de recherche secrets qui servent des intérêts militaires ou économiques. Je ne participerai pas à des

projets de recherche secrets si j'en conclus que ceux-ci se feraient au détriment de la société. Si je décide de participer à toute recherche secrète, je réfléchirai en permanence à ses conséquences pour la société et l'environnement.

Il s'agit là d'un exemple d'un code énonçant des aspirations, mais avec des buts très clairs.

Depuis 1957, l'organisation Pugwash promeut la responsabilité sociale dans les sciences et la technologie, en particulier en ce qui concerne les questions relatives aux armes et à la guerre. Dans les années 1990, Student Pugwash a mis au point un engagement pour les jeunes scientifiques (analogue au serment d'Hippocrate en médecine) afin de promouvoir la réflexion éthique. Cet engagement se lit comme suit :

"Je promets d'œuvrer pour un monde meilleur où la science et la technologie seront utilisées de manière éthique. Je n'utiliserai pas ma formation à des fins pouvant nuire aux êtres humains ou à l'environnement. Tout au long de ma carrière, j'examinerai les implications éthiques de mon travail avant d'agir. Si je peux faire l'objet d'attentes importantes, je reconnais que la responsabilité individuelle est la première étape sur la voie qui conduira à la paix. En foi de quoi je signe la présente déclaration."

L'avenir des codes

La conception d'un code

Il existe une vaste littérature sur les codes déontologiques dans les sciences et l'ingénierie. De nombreuses questions ont été soulevées, dont seules quelques-unes sont mentionnées ci-dessus. Parmi elles :

Des codes explicites sont-ils réellement nécessaires ?

Dans l'affirmative, quels types de codes ?

Sont-ils efficaces et en quoi ?

Un code est-il le moyen le plus approprié de garantir des comportements d'une haute qualité ?

Comment peut-on les rendre pertinents et vivants ?

Pourrait-on attendre d'un code d'éthique qu'il soit universellement valable ?

Les codes suscitent-ils un grand intérêt en dehors des pays où ils ont été élaborés ? Qui devrait concevoir les codes ?

Y a-t-il d'autres questions à examiner ?

La liste des lectures complémentaires, ci-dessous, propose plusieurs sources disponibles sur Internet concernant les codes. Après avoir lu certains des documents énumérés et examiné des codes existants, pensez à ce que serait, selon vous, l'objectif d'un code.

Quelle serait sa teneur ?

Que dirait-il sur les scientifiques et ingénieurs qui réfléchissent aux conséquences de leurs travaux ?

Le code aurait-il simplement pour objet d'inspirer ?

Ou devrait-il offrir des directives claires pour une conduite appropriée ?

Que dirait-il de la nécessité de prévenir la dissémination des armes chimiques ?

Quel serait son public principal ?

Dans un monde idéal, qui participerait à son élaboration ?

Comment pourrait-on en assurer la diffusion et la pertinence auprès des acteurs dans les domaines des sciences et de l'ingénierie et peut-être au-delà ?

Lectures complémentaires (en anglais)

Exemples de codes

- American Chemical Society's *Chemist Creed, Professional Employment Guidelines, and Ethical Guidelines to Publication of Chemical Research* see <http://www.chemistry.org/>
- The American Institute of Chemists (1983) *Code of Ethics* <http://onlineethics.org/codes/AIC.html>
- American Institute of Chemical Engineers (2003) *Code of Ethics* <http://www.aiche.org/about/ethicscode.htm>

Pour des bases de données sur les codes des scientifiques et des ingénieurs, consulter :

<http://onlineethics.org/> et <http://www.iit.edu/departments/csep/PublicWWW/codes/>

Sélection d'analyses de codes des scientifiques et des ingénieurs

- Une analyse des différents codes des scientifiques est disponible dans ICSU (2001) Standards for Ethics and Responsibility in Science 27GA/02/12.4.1
http://www.icsu.org/Gestion/img/ICSU_DOC_DOWNLOAD/217__DD_FILE_SCRES-Standards_Report%20.pdf
- Pour un examen des différents dilemmes éthiques et de l'utilité des codes pour aider à les résoudre, consulter <http://www.pitt.edu/~bmclaren/ethics/caseframes/index.html>
- Pour un examen des codes sur les armes biologiques, consulter <http://www.projects.ex.ac.uk/codesofconduct/>
- Pour un débat sur la responsabilité des scientifiques, consulter Rotblat J. *Science and Humanity in the Twenty-First Century* <http://www.nobel.se/medicine/articles/rotblat/>

Écrit par Brian Rappert (Université d'Exeter, Royaume-Uni)

--- 0 ---