

Le risque chimique spécifique aux déchets

Philippe Pichat

Résumé Le détenteur d'une matière, d'un produit ou d'un objet en prend soin, compte tenu de la satisfaction ou du profit qu'il compte en tirer. Mais son comportement peut être différent lorsqu'il veut s'en débarrasser, et entraîne un risque chimique accru pour notre santé et notre planète. Les déchets sont souvent constitués de mélange de différentes substances, d'où la conjonction de risques. Toutefois la gestion d'un déchet, même toxique ou dangereux, présente l'opportunité d'une valorisation lorsque le prix des matières premières le permet. Si ce n'est pas le cas, il est nécessaire d'effectuer un traitement, y compris ultime, pour éviter la dispersion d'éléments toxiques dans notre environnement. L'urbanisation croissante favorise l'augmentation du risque chimique « déchets », qui peut toutefois être abaissé en intervenant dès la conception des produits pour mieux préparer leur fin de vie.

Mots-clés **Déchets, fin de vie, risque chimique, toxicité, hygiène/sécurité, santé publique, environnement, traitement ultime.**

Abstract **Reducing the chemical risk of wastes**
Material products are purchased and owned for purposes of enjoyment or profit. Problems arise when the useful life of the product is finished and it is time for disposal. In many cases, disposal of wastes results in dispersion into the environment and often in chemical risks to human health and even to the well-being of the planet. Wastes are often mixtures of substances not only with different particular risks but also with potential for synergistic effects. Of course some wastes, even toxic substances (such as heavy metals) can be recovered and recycled if there is a market and the price is high enough. However, when this is not the case, it is essential to immobilize the wastes in a form that is insoluble and non-reactive, generally by solidification. The increasing complexity of products in the urban environment also creates risks associated with end of life disposal. These risks can be minimized by a life-cycle approach, which means planning for ultimate disposal at the time of product conception and process design.

Keywords **Wastes, end of life, chemical risk, toxicity, safety, public health, environment, ultimate recycling, life cycle approach.**

Dans notre vie professionnelle comme dans notre vie privée, nous sommes tous directement ou indirectement producteurs de déchets, c'est-à-dire de matières, d'objets dont on souhaite se débarrasser parce qu'ils n'ont plus d'utilité [1]. Un déchet peut non seulement être encombrant mais aussi présenter un risque pour la santé humaine s'il est toxique, explosif, facilement inflammable..., voire même présenter un risque pour notre planète en provoquant une pollution du sol, de l'eau, de l'air... Un déchet peut aussi présenter simultanément ces deux types de danger. La *figure 1* donne une idée des dégâts causés par des déchets de chrome d'un atelier de traitement de surface expertisé.

Il existe de nombreux autres types de déchets susceptibles de produire des dommages [2]. Dans la suite de cet article, nous verrons tout d'abord pourquoi il y a un risque chimique « spécifique déchets », puis comment le gérer et enfin, nous aborderons l'évolution du risque déchets.

Le « continent déchets »

Il est formé de territoires très différents : on distingue classiquement selon leur provenance des déchets miniers, industriels, agricoles, domestiques et radioactifs (*tableau 1*). On peut distinguer aussi les déchets de consommation et de production par exemple. L'abandon de ces produits génère ultérieurement des déchets de consommation dont certains, par leurs caractéristiques, s'apparentent en fait aux déchets

industriels toxiques, que l'on peut retrouver en partie dans les réseaux d'assainissement des zones industrielles et des villes.

En France (65 millions d'habitants), la quantité totale de déchets produits est estimée à 700 millions t/an – elle est plus importante dans d'autres pays (États-Unis...) [2].

Les déchets sont caractérisés par divers paramètres, mentionnés ci-après.



Figure 1 - Les déchets de chrome de cet atelier de traitement de surface ont même détérioré le mur ! On imagine les répercussions sur la santé du personnel... Photo : P. Pichat.

Tableau I - Le « continent déchets » : quelques exemples.

Provenances	Déchets
Minérale	Préparation de minerais
Agricole	Déjections animales
Objet	La fabrication d'un vélo d'un poids de 10 kg génère 6 kg de résidus (déchets d'alliages d'acier au chrome et au molybdène, fluides de coupe usés...)
Énergie	Thermique, électrique (exemple : cendres volantes de charbon [2])

Les éléments chimiques constitutifs

Notre planète est constituée d'une centaine d'éléments chimiques. À l'exception de l'arsenic et plus récemment du plomb, la toxicité de certains d'entre eux est moins connue, et leur dangerosité encore moins (*tableau II*). D'autre part, le carbone ne présente pas de risque par lui-même, mais certains de ses composés nécessitent des précautions et on peut les retrouver dans les déchets, comme les déjections, contenant des micro-organismes pathogènes, en particulier de type anaérobie, leurs toxines, les cyanures.

Les molécules et ions constituants

D'une façon plus générale, la flore, la faune, le sol, les eaux et l'atmosphère de notre globe sont constitués par des dizaines de milliers de combinaisons des éléments du tableau. Les êtres humains, eux, ont synthétisé des dizaines de milliers de nouvelles substances : 80 000 environ évaluées dans le programme européen REACH seraient en usage [3]. Quelques-unes, telles que les cyanures, phénols,

Tableau II - Dangerosité et toxicité des éléments chimiques.
En jaune : risque de danger, en rouge : risque de toxicité pour la santé humaine.

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
H							He
Li	Be	B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe, Co, Ni
Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru, Rh, Pd
Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os, Ir, Pt
Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn

composés aromatiques ou métaux lourds... peuvent se retrouver dans des déchets et présenter un risque. C'était le cas d'un atelier de traitement de surfaces qui stockait dans une lagune après neutralisation des boues d'hydroxydes de nickel, cuivre, chrome, cadmium... jusqu'au jour où la compagnie des eaux locale mesura des quantités anormalement élevées de ces métaux « dans la ressource en eau ». Ces ions métalliques avaient migré à travers l'argile qui n'avait pas été mise en place correctement plusieurs années auparavant pour, en principe, étanchéifier la lagune. Une moindre vigilance aurait provoqué un risque chimique sournois pour les populations locales.

Les fonctions chimiques présentes

Des déchets comportent des fonctions chimiques telles que acide fort, oxydant énergétique, phénol... qui présentent un risque par elles-mêmes et éventuellement un risque accru par interaction entre elles – un oxydant énergétique avec un réducteur énergétique par exemple.

Le type de danger pour la santé humaine et l'environnement

Les différents risques chimiques des déchets pour les êtres vivants et/ou pour l'environnement sont représentés par des pictogrammes (*figure 2*) [4]. Ces types de dangers doivent être complétés par les risques CMR (cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques). Ces pictogrammes rappellent la grande diversité des risques qu'encourent l'environnement et les êtres humains par contact, par inhalation (particules, aérosols...) ou par ingestion des déchets. La toxicité pour les êtres vivants peut être aiguë, comme à Abidjan (Côte d'Ivoire) en août 2007, suite au déversement dans une décharge d'un déchet de soude concentrée. La soude ayant été utilisée pour raffiner du pétrole, le déchet contenait donc sulfure d'hydrogène, mercaptans et crésol, ce qui a entraîné des dizaines de morts et des centaines de personnes intoxiquées [5].

La toxicité peut être aiguë, mais également lente et insidieuse [6]. Le risque chimique peut aussi être provoqué par des déchets classifiés à caractère non toxique (végétaux...), par exemple lorsqu'ils sont déversés en quantité importante dans une eau de surface, constituant ainsi un risque pour la vie aquatique et les ressources en eau potable d'une collectivité [7].

La conjonction de différents types de risque

Un être vivant en contact par exemple avec des composés minéraux et des composés organiques toxiques court un risque qui ne se résume pas en une simple addition, mais bien souvent en une synergie de risques. En effet, un

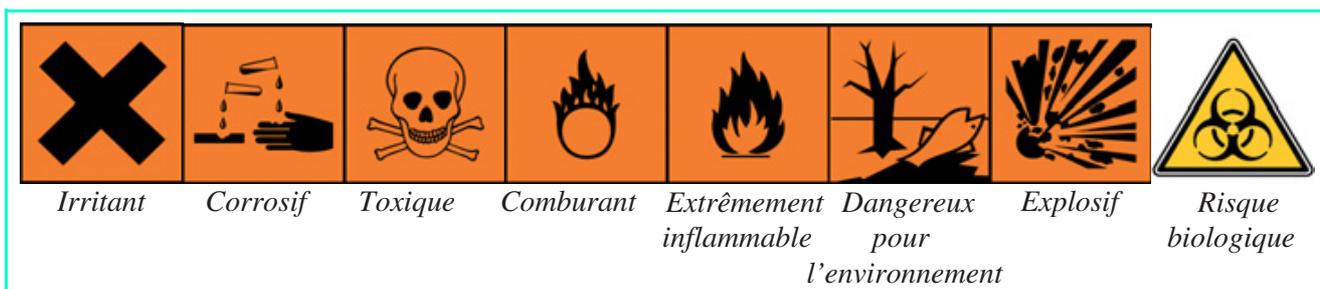


Figure 2 - Les risques chimiques des déchets.

composé peut agir sur le sang, un autre sur les voies respiratoires, un autre sur le système nerveux central, et l'on conçoit que ces actions conjuguées puissent entraîner un risque mortel. Or il est fréquent qu'un déchet soit constitué de plusieurs substances toxiques. Dans le cas de la décharge d'Abidjan, le nombre très élevé de victimes ne peut-il pas être attribué à la conjonction des substances toxiques constituantes du déchet ?

Le transport des déchets

Concernant l'accident d'Abidjan, il n'a pas été fait état d'un risque chimique survenu pendant le transport du déchet ; mais cela aurait pu de surcroît être le cas [5]. De manière plus générale, deux types de risque peuvent survenir lors d'un transport de déchets provenant :

- de son déversement dans la mer (pétrolier Amoco Cadiz...) ou sur terre suite à un naufrage, un chavirement, une collision ou un déraillement [8] ;
- d'une réaction chimique donnant lieu à la formation d'un composé toxique ou dangereux.

En effet, durant son transport, la matière est agitée, tassée – conditions favorables au déclenchement d'une réaction chimique –, d'où l'intérêt d'une réglementation et des pictogrammes appelant une vigilance accrue [9].

L'état physique

Bien connaître l'état physique d'un déchet rend sa gestion moins coûteuse, soit dans une optique valorisation, soit dans une optique traitement. Les installations industrielles de manutention doivent donc d'abord être adaptées à l'état physique du déchet :

- solide (blocs, granulés, poudre...) : on ne sait pas encore assez par exemple que de fines particules de l'ordre du micron d'un déchet solide combustible se comportent de façon similaire à un gaz et peuvent provoquer des incendies, voire des explosions ;
- pâteux (nécessitant d'utiliser des pompes spécifiques) ;
- boue, liquide, gaz...

Les variations des propriétés physiques, chimiques et biologiques dans le temps

Elles sont fréquentes avec les déchets. Un exemple : le gypse résidu, co-produit de l'acide phosphorique fabriqué en voie humide, a des propriétés (teneur en cadmium...) qui dépendent des caractéristiques du minerai de phosphate de calcium, matière première de base.

Le type de conditionnement

Notre vue est habituée à croiser des camions transportant en benne ou en citerne des quantités importantes de déchets. Mais il existe aussi des déchets moins visibles, contenus dans de « petits conditionnements » provenant, par exemple, d'applicateurs de peinture... Dans le camion collecteur de la *figure 3*, on peut procéder à des essais analytiques rapides qui facilitent l'orientation vers la meilleure filière de valorisation ou de traitement.

« L'opacité » du déchet

Dans le contenu d'une benne d'ordures ménagères, il n'est pas facile de repérer des déchets dangereux tels



Figure 3 - Le camion collecteur de déchets. Photo P. Pichat.



Figure 4 - Comment repérer les déchets dangereux parmi les déchets ménagers ? Photo P. Pichat.

qu'une boîte de désherbant, un produit de dératisation, ou encore une bouteille de solvant chloré... (*figure 4*).

En résumé

Le « continent déchets » est constitué de produits ou d'objets d'une grande hétérogénéité physique et chimique, aux propriétés variables dans le temps, ce qui rend leur valorisation et leur traitement plus ardu.

La diminution du risque chimique déchets

Pour protéger notre santé et notre environnement, il est nécessaire de gérer les déchets avec rigueur de façon à minimiser les risques chimiques et ne pas imiter les cas expertisés (*figure 5*).

La nécessité de nombreux essais analytiques

Pour optimiser la gestion des différents déchets, il est nécessaire de bien connaître préalablement leurs caractéristiques physiques et chimiques (voir chapitre précédent) par des essais analytiques [10].

Le premier risque chimique, et non le moindre, est rencontré lors de l'ouverture du conditionnement contenant le déchet. L'opérateur va-t-il devoir affronter un dégagement de COV (composés organiques volatils), une inflammation, une mini-explosion ? Des précautions doivent donc être prises au niveau de la protection individuelle du personnel.

Le conditionnement ouvert, on prélève un échantillon le plus représentatif possible – opération particulièrement difficile avec les déchets compte tenu de leur hétérogénéité. En ce qui concerne leur composition, il est nécessaire de connaître les principaux éléments chimiques présents : tout d'abord, s'agit-il d'une matière carbonée ou minérale ? Dans



Figure 5 - « Stockage » d'un déchet dans une lagune, sans doute avec l'espérance d'une évaporation rapide, voire d'une infiltration dans le sous-sol... Photo P. Pichat.

ce dernier cas, on peut utiliser la fluorescence de rayons X et l'échantillon est soumis à un intense faisceau de rayons X. Les éléments chimiques constituant l'échantillon sont excités par l'énergie ainsi envoyée. Ils réémettent un rayonnement caractéristique de chaque élément chimique de longueur d'onde plus grande : c'est le phénomène de fluorescence.

Des méthodes analytiques plus sensibles sont également nécessaires pour savoir si le déchet ne contient pas certains éléments (chrome...) qui peuvent avoir un caractère toxique, même à faible concentration. Le déchet est alors soumis à un plasma, créé par induction (ICP) ; la matière est vaporisée et un élément, même à l'état de trace (ppm), peut ainsi être détecté et sa concentration évaluée en mesurant son spectre d'émission.

La technique de l'absorption atomique est utilisée pour détecter des quantités encore plus faibles (ppb) d'éléments toxiques tels que le mercure ou l'arsenic. Ces essais analytiques doivent être complétés : un élément chimique comme le chrome existe sous plusieurs états, par exemple le chrome de valence/degré d'oxydation 6 est nettement plus toxique que le chrome de valence 2.

Il est nécessaire de procéder encore à d'autres types d'analyse, comme par exemple déterminer si les déchets sont facilement inflammables, quel est leur pouvoir calorifique, s'ils ont un caractère explosif ou très oxydant...

La gestion des déchets

Lorsque les caractéristiques du déchet sont connues, on possède les bases techniques d'une gestion, mais cet aspect ne suffit pas : l'aspect technique ne peut être dissocié de l'aspect « économique » [11]. La première question à se poser est : est-il valorisable ? Cet aspect est à vérifier continuellement car le prix d'une matière est fluctuant : il est le résultat de la confrontation entre l'offre et la demande et dépend de la conjoncture économique [2]. De plus, le prix peut être aussi le résultat d'une lutte commerciale (dumping... ou pénurie organisée).

Prenons l'exemple d'un déchet dont la valorisation n'est pas possible avec le prix actuel des matières premières utilisées : certains consommateurs souhaitent des jantes de roues de bicyclette très brillantes. Celles-ci s'obtiennent en faisant un traitement de surface aux jantes en acier : on leur applique du chrome dans un bain. Le chrome présent dans le bain est consommé peu à peu et s'appauvrit jusqu'à une concentration trop faible pour qu'il soit encore utilisable. Devenu un « déchet », il n'est pas valorisable tel quel. Pour diminuer son danger « chimique », il est neutralisé par un réactif basique (NaOH...), avec l'avantage supplémentaire



Figure 6 - Cuve de neutralisation d'un déchet acide. Photo P. Pichat.

que des éléments toxiques (cuivre, nickel...) précipitent sous forme d'hydroxydes peu solubles.

La neutralisation d'un déchet acide se fait en recueillant la boue d'hydroxydes métalliques dans une cuve (figure 6). Sa teneur en eau est alors substantiellement diminuée en l'envoyant dans un filtre presse dans lequel, sous l'influence de la pression et du vide, de l'eau va être extraite et recyclée dans l'environnement. Par précaution supplémentaire et pour diminuer le risque chimique pour l'environnement dû aux hydroxydes de métaux lourds, les éléments du gâteau du filtre presse sont convertis sous forme de silicates et d'aluminates. Ces familles de composés ont fait la preuve de leur stabilité dans le temps depuis 2 000 ans puisqu'ils sont les principaux constituants du béton romain utilisé dans la construction d'aqueducs par exemple (figure 7).

D'une façon plus générale, les opérations de gestion des déchets peuvent être représentées par le schéma de la figure 8 qui permet de voir les étapes menant jusqu'au bout de la dépollution [12]. Le producteur de déchets a tendance à externaliser entièrement ou partiellement l'activité du « centre de gestion » à des entreprises spécialisées [11].

En résumé, le risque chimique déchets tant pour les êtres vivants que pour l'environnement est présent durant toutes les étapes de leur gestion (figure 9). L'inobservation immédiate de ces règles de gestion ne fait que différer leur coût et les amplifier [2]. Quant au producteur du déchet, dans les pays responsables, il prend un risque sur le plan pénal, civil et administratif.



Figure 7 - Les silicates et les aluminates de calcium, principaux constituants du béton romain. Photo P. Pichat.

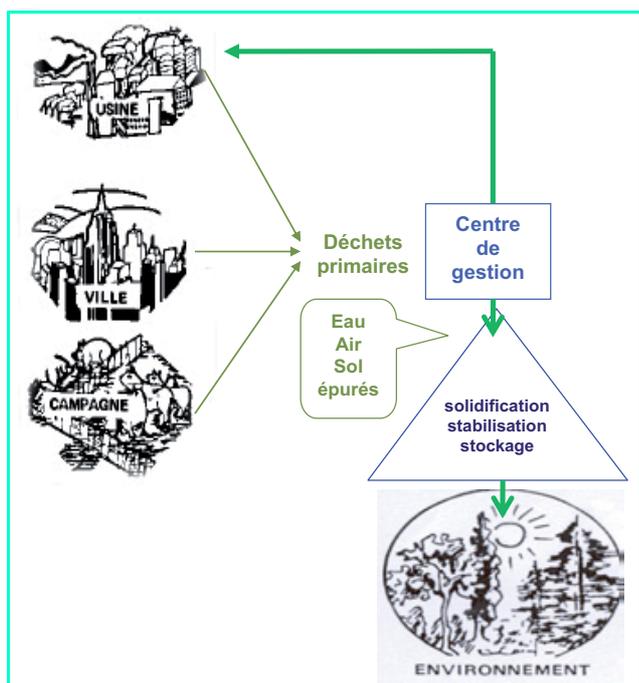


Figure 8 - Lutte contre la dispersion du risque chimique.

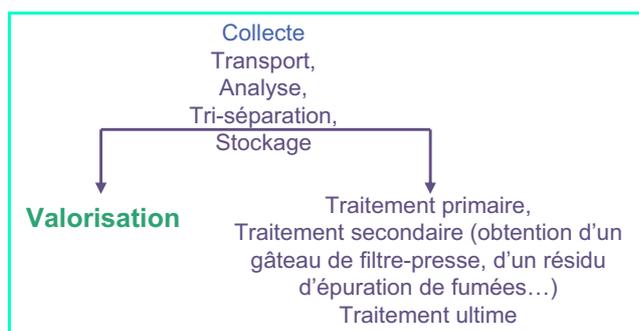


Figure 9 - Les étapes de la gestion des déchets.

Évolution du risque chimique déchets

« *It is better to be alarmed and scared now than to be killed hereafter* » : « *il faut mieux être alerté et avoir peur maintenant que d'être tué plus tard* » écrivait Winston Churchill en 1935 face au risque nazi. Nous avons maintenant à faire face à un danger, certes non militaire, mais plus insidieux et universel. Pour mieux l'évaluer, rappelons d'abord le passé [2].

Lorsque j'étais enfant, chez mes grands-parents dans la campagne bourgeoise, on prenait soin des objets ; on les entretenait, on les réparait ; on rétamait ainsi les casseroles. Lorsqu'ils devenaient vraiment inutilisables, on en récupérait des éléments. De temps en temps passaient des ferrailleurs, à qui l'on vendait quelques objets en métal car le fer, le cuivre, l'étain, le bronze étaient recherchés... On faisait les courses avec des cabas et des pots. Il n'y avait pas d'emballages, si ce n'est du papier journal. Aucune maison n'avait l'eau courante, on allait à la fontaine ; c'est pourquoi l'eau était économisée. On employait peu de médicaments, de produits chimiques, si ce n'est du savon et de l'eau de Javel, mais peu, car le lavage se faisait essentiellement avec les cendres de bois de la cuisinière. Les vignes et arbres fruitiers étaient traités au plus juste, au sulfate de cuivre neutralisé par de la chaux pour les protéger du mildiou. En

résumé, tant les déchets de consommation que ceux de production étaient minimisés, et le risque chimique tant pour les êtres humains que pour l'environnement était faible.

La situation a changé dans les pays occidentaux. Au niveau planétaire, il se pourrait que le risque chimique déchets augmente encore dans les années à venir pour plusieurs raisons :

- L'augmentation de la production de déchets due à la poussée démographique en Asie, en Afrique, en Amérique du sud et en Amérique centrale. La population mondiale, estimée aujourd'hui à sept milliards d'habitants, passerait à huit milliards dans dix ans et à dix milliards dans vingt ans [6].
- L'évolution de la composition des déchets : un éventuel ralentissement de l'augmentation de la population pourrait être compensé par la croissance d'une classe moyenne ayant pour objectif l'« American way of life », désireuse d'acquiescer des produits électroniques contenant une proportion non négligeable de produits ayant un caractère toxique (PC, téléphones, TV...).
- L'augmentation de l'urbanisation avec la formation de mégapoles. Actuellement, la moitié de la population vit dans des villes ; cela pourrait atteindre 70 %, voire 80 % dans vingt ans. Il y aurait huit cents centres urbains dépassant le seuil du million d'habitants ! Or l'urbanisation est une cause majeure du rejet de déchets : compte tenu de l'exiguïté de son logement et du peu d'espace de rangement dont il dispose (pas de cave, de bûcher, de grenier ou de remise), le citadin jette (toutes proportions gardées) beaucoup plus que son ancêtre campagnard qui pouvait faire la valorisation de proximité décrite précédemment. L'urbanisation provoque une concentration de la production de déchets dans un espace réduit, donc une augmentation du risque chimique déchets vis-à-vis des populations et de l'environnement.
- L'augmentation de la concurrence internationale : pour rester davantage compétitives, des entreprises compriment les coûts d'une gestion responsable des déchets [2, 13]. Par ailleurs, la concurrence internationale existe aussi en matière de gestion de déchets : il arrive que des entreprises responsables soient concurrencées par des filières organisées, à caractère criminel, qui acheminent les déchets dangereux vers des réceptacles les meilleurs marchés possibles [14], même en Europe comme le montre la figure 10.
- L'accroissement du trafic maritime mondial qui entraîne l'augmentation des rejets hydrocarbonés dans les zones internationales maritimes, estimés à 300 000 tonnes/an, en dépit des conventions Marpol [15]. Malgré les moyens de surveillance actuellement mis en œuvre, l'immensité des océans implique que la probabilité pour un bateau d'être pris en flagrant délit reste faible.

Aujourd'hui, le risque chimique déchets est mieux maîtrisé, avec des procédés de gestion et de valorisation toujours en évolution. Le danger au contact de déchets a sensiblement diminué, en particulier par l'utilisation d'équipements de protection spécifiques. Concernant le risque chimique par inhalation, en particulier de composés organiques volatils (COV), le détecteur d'un composé gazeux, qui peut avec fiabilité et rapidement avertir d'une contamination de l'air dans des bâtiments, peut ne plus en être capable à l'extérieur, le composé volatil pouvant en effet ne plus atteindre le détecteur compte tenu de la convection de l'air et de sa dilution rapide.

Des projets de R & D portent ainsi sur :

- l'amélioration des systèmes d'analyse utilisables en milieu industriel qui doivent pouvoir détecter et mesurer un nombre considérable de composés – aux États-Unis, le NIST (National

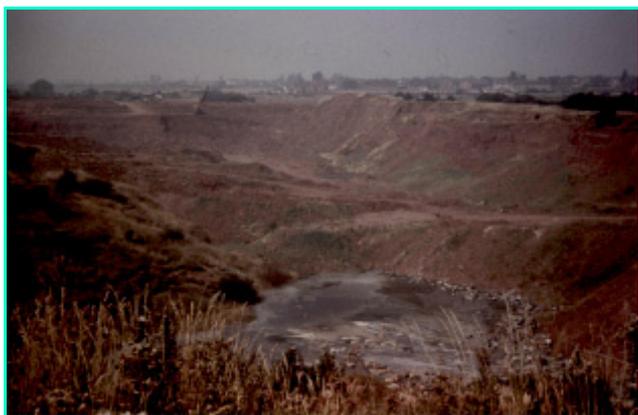


Figure 10 - En Europe, des déchets dangereux en pleine nature...
Photo P. Pichat.

Institute of Standards and Technology) répertorie le spectre de 192 108 composés uniques. Comme vu précédemment, les déchets sont le plus souvent constitués d'un mélange de composés, une situation particulièrement complexe.

- l'amélioration des dispositifs utilisés pour capter les COV et les procédés de traitement de ces composés à un coût raisonnable.
- la mise au point de nouveaux procédés de valorisation et de traitement pour les nouveaux types de déchets qui sont rejetés par les particuliers et les entreprises et qui arrivent dans une installation telle que celle représentée figure 11.

Conclusion

Le détenteur d'une matière, d'un produit ou d'un objet en prend soin compte tenu de la satisfaction ou du profit qu'il compte en tirer. Il n'en est plus de même lorsqu'il veut s'en débarrasser et c'est pourquoi il présente alors un risque chimique accru mais... avec des opportunités, illustration de l'adage « no risk, no reward » (pas de récompense sans risque). À quelques dizaines de mètres de mes locaux par exemple, un déchet liquide toxique est transformé en plaques de nickel de qualité.

De manière générale, le risque chimique d'un déchet est abaissé en procédant à une véritable valorisation et non pas à une pratique de facilité telle que l'utilisation comme remblai, inhibitrice de l'innovation technologique [11]. Lorsque le prix des matières premières ne permet pas une valorisation, il est nécessaire de procéder à un traitement adapté allant jusqu'au bout de la dépollution. En effet, le risque chimique déchets perdure lorsque le traitement ultime n'a pas été effectué avec la meilleure technologie disponible. Il n'y a pas d'autre méthode pour éviter la dispersion de substances toxiques dans l'environnement et abaisser ainsi le risque chimique déchets à court, moyen et long termes pour les êtres vivants et notre environnement. Les producteurs de déchets responsables ont compris qu'ils ont intérêt à se faire épauler pour modifier les procédés de gestion de leurs déchets, en faciliter le tri, en préparer la valorisation... y compris dès la conception des produits pour mieux préparer leur fin de vie, telles les batteries des futurs véhicules par exemple [11].

Notes et références

L'auteur remercie vivement ses collègues qui ont bien voulu relire ce texte.

[1] Définition 91/56/EEC.

[2] Pichat P., *La gestion des déchets*, Flammarion, 1995.



Figure 11 - Centre de valorisation et de traitement de 200 000 t/an de déchets toxiques et dangereux (Yvelines).

- [3] Sillion B., L'innovation chimique dans la perspective de REACH, *L'Act. Chim.*, **2008**, 323-324, p. 4 ; Rapport scientifique de l'INERIS, **2007-2008** ; Pichat P., *L'innovation : un concept et une démarche nouvelle pour maîtriser l'innovation technologique*, Ed. Chotard, **1989**, p. 53.
- [4] Un système d'harmonisation se met en place avec un nouvel étiquetage des produits qui entrera en vigueur le 1^{er} décembre 2010. Voir : Messal R., Vers une nouvelle classification des produits chimiques, *L'Act. Chim.*, **2008**, 319, p. 48 ; Tissot S., REACH : les éléments fondamentaux du dispositif, *L'Act. Chim.*, **2009**, 333, p. 58 ; Maison A., Le nouveau système de classification et d'étiquetage des produits chimiques, *L'Act. Chim.*, **2010**, 341, p. 41.
- [5] *L'Express*, 16/8/2007, p. 48 ; Elbert J., Fisher K., Ablagerung toxischer Chemieabfälle im August 2006 in Abidjan, Republik Côte d'Ivoire: Versuch einer Rekonstruktion, *Umwelt Wissenschaften und Schadstoff-Forschung*, Springer, **2007**, 19(4), p. 265.
- [6] Manahan S.E., *Hazardous Waste Chemistry, Toxicology and Treatment*, Lewis Publishers, **1990** ; Pollution and sanitation problems as setback is to sustainable water resources management in Freetown, Senesie K.B., *Journal of Environmental Health*, **2008**, 71(5), p. 34 ; Savory B., Vincent R., Caractérisation des risques chimiques potentiels dans quelques filières de traitement des déchets, INRS, **2007**, INRS ND 2271-207-07.
- [7] Réunion d'Intermines, Association des anciens des écoles des Mines, Paris, déc. **2005**.
- [8] Huge oil spill accident and the environmental damages at Taen Peninsula, South Korea. January 2008. Tazaki K., Suzuki S., Fujisawa E. (Hokuriku Branch, The Association for the Geological Collaboration in Japan, Kanazawa 920-1192, Japon) ; Chikyu K., Chigaku Dantai Kenkyukai, **2009**, 63(1), p. 29.
- [9] www.troyes.cci.fr/pdf/securite_memento_transport.pdf
- [10] Pichat P., Analyses en Laboratoire, Compagnie des experts près des Cours administratives d'appel de Paris et de Versailles, Programme de formation, 9 mars **2009**.
- [11] Stefaniak S., Twardowska I., Hazardous impacts on groundwater associated with the use of coal mining wastes in engineering construction, *Zeszyty Naukowe Politechniki Slaskiej, Gornictwo*, **2008**, 285, p. 271 ; Déchets dangereux. Maîtriser les risques, valoriser les matières, *Galileo*, Veolia Propreté, déc. **2008**, 6, p. 20 ; Entretien avec Olaf Kropp, directeur d'AGS, p. 35.
- [12] Pichat P., Aller jusqu'au bout de la dépollution : le traitement ultime des déchets toxiques, *L'Act. Chim.*, **2004**, 277-278, p. 70.
- [13] Tremblay J.F., In the Hazaribagh district of Dhaka, Bangladesh, archaic tanneries put workers and the environment at risk., *Chemical & Engineering News*, **2009**, 87(5), p. 18.
- [14] How billions are made through dumping waste-with little public outcry, *Business Week*, 27 janv. **2003** ; Here's to "old pals", *Business Week*, 28 fév. **1994**, p. 50 ; Japan-industrial waste dumping, *International Environment Reporter*, 18 sept. **1996**.
- [15] *The State of the Marine Environment: trends and processes*, UNEP/GPA, **2006** ; *Oil in the Sea III: inputs, fates and effects*, National Research Council, **2003**.



Ingénieur et docteur ès sciences, **Philippe Pichat** participe à la mise en place de procédés industriels de valorisation et de traitement, y compris ultime, de déchets toxiques et dangereux.

Courriel : ppichat@sarpindustries.fr