

Technologies faisant appel aux rayonnements pour le traitement des déchets: aperçu général

Des systèmes d'irradiation pour la désinfection et la décontamination de déchets dangereux sont à l'étude dans certains pays

La pollution de l'eau, du sol et de l'air suscite des préoccupations croissantes dans le monde entier. Les médias signalent régulièrement des cas de maladies et de contamination dus au traitement et à l'évacuation incorrects de produits résiduels. Cette sensibilisation accrue aux dangers que des méthodes insuffisantes ou inappropriées de traitement des déchets peuvent présenter pour la santé a incité à rechercher des solutions de rechange efficaces dans ce domaine. Dans de nombreux pays, on voit se développer des initiatives individuelles, communautaires, urbaines et nationales en matière de recyclage.

Deux types de déchets posent des problèmes particulièrement préoccupants: ceux qui contiennent des micro-organismes potentiellement infectieux (boues résiduaires, déchets biomédicaux et eaux usées) et ceux qui sont contaminés par des produits chimiques toxiques.

Les principaux types de systèmes d'irradiation utilisés ou à l'étude actuellement pour le traitement des déchets font appel aux rayons gamma, aux faisceaux d'électrons, aux ultraviolets et aux rayons X.

Les irradiateurs gamma, équipés le plus souvent d'une source au cobalt 60, sont couramment utilisés depuis le début des années 60 pour la stérilisation de produits médicaux et de produits de consommation. Il a été démontré en grandeur réelle que l'on pouvait y recourir pour la désinfection de boues résiduaires dans une installation située près de Munich, en Allemagne, et pour le traitement de

déchets hospitaliers dans un stérilisateur de déchets biomédicaux en Arkansas, aux Etats-Unis. Leur emploi pour la dégradation de substances toxiques présentes dans le sol est à l'étude.

De même, on utilise des machines à faisceaux d'électrons depuis des dizaines d'années dans des processus industriels. Cette technologie s'est révélée efficace pour la désinfection de l'eau potable et des eaux usées. Plus récemment, on y a fait appel dans le cadre d'études à l'échelle pilote sur la dégradation de contaminants présents dans des sols et dans des boues industrielles.

Les systèmes faisant appel aux ultraviolets sont revenus en vogue dans les installations de traitement des eaux usées en remplacement du chlore. Ces systèmes, qui sont utilisés depuis de nombreuses années, ont fait l'objet d'améliorations qui ont permis d'accroître la robustesse du matériel et la fiabilité de son exploitation.

Enfin, on a étudié la possibilité de traiter des déchets au moyen des rayons X qui sont déjà utilisés couramment pour les diagnostics médicaux et le traitement du cancer. Cependant, cette technologie n'a pas encore été appliquée à cette fin.

Aperçu des activités menées dans le monde

Pour les applications à grande échelle du traitement par irradiation, plusieurs types de sources de rayonnements sont généralement envisagés. La Société américaine des ingénieurs du génie civil a publié en 1992 une étude sur les techniques les plus récentes de traitement par l'irradiation de l'eau, des eaux usées et des boues au moyen de quatre types de rayonnements*.

**Radiation Treatment of Water, Wastewater and Sludge*, Comité spécial sur le traitement par irradiation, Société américaine des ingénieurs du génie civil, New York (1992).

Mme Swinwood est spécialiste principale des études de marché chez Nordion International Inc., Ontario (Canada); M. Waite est professeur de génie écologique à l'Université de Miami (E.U.); M. Kruger est professeur de génie civil à l'Université de Stanford (E.U.) et M. Rao dirige la Division des isotopes au Centre de recherche atomique de Bhabha, à Bombay (Inde).

par J.F.
Swinwood,
T.D. Waite,
P. Kruger et
S.M. Rao

Installations d'irradiation pour le traitement de l'eau, d'eaux usées et de boues qui ont été ou sont en service

	Type d'irradiateur	Type de produit traité	But du traitement
Afrique du Sud	Faisceau d'électrons	Boues	Désinfection
Allemagne	Cobalt 60	Boues	Désinfection avant utilisation agricole
	Cobalt 60	Eau de puits	Prévention d'une contamination biologique
Autriche	Faisceau d'électrons	Eau potable	Réduction des contaminants chimiques
	Cobalt 60	Eaux usées	Réduction des phénols
Canada	Cobalt 60	Boues	Désinfection avant utilisation comme engrais
Etats-Unis	Faisceau d'électrons	Eaux usées, boues	Désinfection
Inde	Cobalt 60	Boues	Désinfection
Japon	Cobalt 60	Boues	Désinfection avant compostage
	Cobalt 60	Lixiviats de décharges	Destruction de substances toxiques
Norvège	Cobalt 60	Boues	Désinfection
	Faisceau d'électrons	Effluents	Desinfection
République tchèque	Cobalt 60	Eau potable	Désinfection

Source: Adapté du rapport de la Société américaine des ingénieurs du génie civil intitulé «Treatment of Water, Wastewater, and Sludge» (1992). Cette liste énumère les installations pilotes et les installations industrielles qui ont fonctionné dans le passé ou qui sont actuellement en service. On trouvera dans le rapport en question des descriptions détaillées de ces installations et des précisions à leur sujet.

Cette étude résume l'évolution des quatre types de techniques d'irradiation examinées: ultraviolets, isotopes radioactifs (le cobalt 60 principalement), accélérateurs linéaires ou machines à faisceaux d'électrons et générateurs de rayons X.

Des installations de traitement de l'eau par l'irradiation ont été construites dans de nombreux pays (voir le tableau figurant à la page 12). La première installation de grande taille que l'on ait créée est l'irradiateur gamma construit à Geiselbullach, en Allemagne, pour le traitement de boues en 1973. En Allemagne, les rayonnements sont également utilisés industriellement pour réduire la contamination biologique des puits fournissant de l'eau potable.

Plusieurs installations servant à étudier la possibilité d'utiliser industriellement les faisceaux d'électrons pour le traitement de l'eau, des eaux usées et des boues sont en service.

Irradiateur de boues liquides en Inde

L'irradiateur de recherche sur l'hygiénisation des boues (SHRI) en Inde est la deuxième installation de ce genre dans le monde. Elle a été mise en service officiellement à Baroda au début de 1992. Le SHRI fait partie du programme du Centre de recherche atomique de Bhabha, à Bombay, qui porte sur l'application de la technologie des rayonnements

dans les domaines de la santé publique et de la protection de l'environnement. Cet irradiateur a été construit en coopération avec le Gouvernement de l'Etat de Gujarat, la Baroda Municipal Corporation et l'Université M.S. de Baroda. Le but recherché est de traiter à terme l'ensemble des boues provenant de la station d'épuration de Gajerawadi, soit un volume d'environ 110 m³ par jour, et d'utiliser les boues ainsi hygiénisées comme engrais.

Le SHRI dispose de deux circuits d'irradiation identiques comprenant chacun un silo, une chambre d'irradiation et des systèmes de recyclage. On utilise actuellement un seul circuit à la fois. Chaque chambre d'irradiation peut recevoir une charge maximale de cobalt 60 d'environ 500 kilocuries. A la dose de 4 kilograys (kGy), chaque circuit d'irradiation peut traiter jusqu'à 100-120 m³ de boues par jour. (Voir le schéma figurant à la page précédente.)

Les boues digérées/non digérées sont d'abord jaugées dans un silo qui alimente par gravité la cuve d'irradiation par lot de 3 m³. Une pompe fait circuler les boues pendant un temps prédéterminé pour qu'elles ne se déposent pas et reçoivent la dose désirée. A la fin de l'opération, les boues sont vidées dans une cuve de stockage d'où elles sont acheminées par pompage vers des lits de séchage. Avec la charge au cobalt 60 actuelle, un traitement discontinu de deux à trois heures permet d'éliminer plus ou moins complètement la charge microbienne selon le nombre de germes présents, dans les boues à l'origine. Trois lots sont désinfectés chaque jour.

Les boues désinfectées et séchées ont été utilisées comme engrais dans le jardin du SHRI. On s'efforce d'en fournir aux agriculteurs de la région.

Bien qu'elle ait été conçue à l'origine pour désinfecter des boues, cette installation a servi aussi à déterminer si ces technologies se prêtaient au traitement des effluents provenant de stations d'épuration. Le Ministère indien de l'environnement s'est intéressé à la technologie des rayonnements pour le traitement à grande échelle des effluents urbains dans les villes situées le long du Gange dans le nord de l'Inde.

Destruction de contaminants toxiques: recherches menées aux Etats-Unis

Au cours des six dernières années, une équipe pluridisciplinaire de scientifiques et d'ingénieurs a étudié les effets d'une irradiation par des électrons de haute énergie sur l'élimination (la destruction finale) de produits chimiques organiques toxiques présents dans des solutions aqueuses et sur les facteurs jugés importants pour une destruction efficace des produits chimiques. Les résultats de ces études sont applicables au traitement des déchets et à la restauration de sites de déchets dangereux. Ces études ont été effectuées dans l'Installation



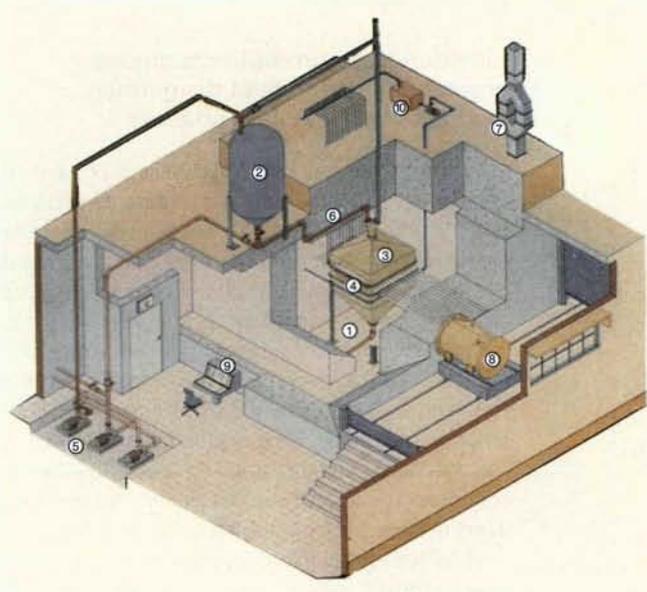
Ci-dessus: Au Canada, on cultive des laitues sur des terres amendées par des boues irradiées au Collège agricole de l'Ontario dans le cadre d'activités de recherche. Photos: Prof. Thomas Bates, Land Resource Science Dept., Université de Guelph (Canada)

Ci-dessous: Installation indienne de recherche sur l'irradiation de boues à Baroda. Comme le montre le schéma, cette installation se compose de la cellule d'irradiation (1); du silo de stockage (2); de la cuve d'irradiation (3); de l'ensemble-source (4); de la station de pompage (5); des lignes de recirculation (6); d'un circuit d'extraction des gaz malsains (7); d'un conteneur de transport (8); d'un pupitre de commande (9); et d'un circuit de refroidissement de la source (10).

de recherche sur les faisceaux d'électrons (EBRF) de Miami, en Floride.

L'EBRF est située à la station d'épuration de Miami-Dade Central à Virginia Key, Miami, en Floride. Elle est constituée d'un accélérateur d'électrons horizontal de 1,5 million d'électronvolts (MeV). Il s'agit d'un accélérateur du type transformateur à noyau isolé capable de produire un faisceau d'une intensité atteignant 50 mA. En faisant varier l'intensité du faisceau, on modifie la dose absorbée de manière linéaire, ce qui permet d'effectuer des expériences avec des doses allant de 0 à 8 kGy. Le faisceau d'électrons est balayé à 200 Hz pour couvrir un champ de 1,2 pouce de large sur 5 centimètres de haut.

Au débit nominal de $0,45 \text{ m}^3$ à la minute, les effluents pénétrant dans l'EBRF passent devant un faisceau balayé en couche d'environ 4 mm d'épaisseur qui s'écoule verticalement. Le pouvoir de pénétration maximum des électrons de 1,5 MeV étant d'environ 7 mm dans l'eau, certains électrons



Dose moyenne nécessaire pour éliminer 99% du trichloréthylène dans une solution aqueuse en présence ou non d'argile

Pas d'argile		3% d'argile	
Intervalle de concentration initiale (micro-M)*	Dose moyenne (kGy) nécessaire pour en éliminer 99%	Intervalle de concentration initiale (micro-M)	Dose moyenne (kGy) nécessaire pour en éliminer 99%
0,61-0,88	0,57	0,58-0,72	0,58
6,2-8,9	0,64	6,2-7,2	0,64
40-58	1,07	45-59	1,06

* 1 micro-M = 0,131 mg par litre

Dose moyenne nécessaire pour éliminer 99% du benzène dans une solution aqueuse en présence ou non d'argile

Pas d'argile		3% d'argile	
Intervalle de concentration initiale (micro-M)*	Dose moyenne (kGy) nécessaire pour en éliminer 99%	Intervalle de concentration initiale (micro-M)	Dose moyenne (kGy) nécessaire pour en éliminer 99%
1,1-2,1	0,56	1,1-1,3	0,49
17-24	0,72	16-19	0,96
23-87	2,00	25-76	1,81

* 1 micro-M = 0,078 mg par litre

traversent le flux. L'énergie du faisceau n'est donc pas intégralement transmise à l'eau. Le surbalayage des effluents pour faire en sorte que les bords du flux soient irradiés entraîne une nouvelle perte d'énergie. En conséquence, le rendement du transfert d'énergie est d'environ 60 à 85%. A 50 mA (75 kW), des doses comprises entre 6,5 et 8 kGy ont donc été enregistrées. La consommation totale d'énergie de l'installation, y compris les pompes, les refroidisseurs et les autres équipements auxiliaires, est d'environ 120 kW.

Élimination de produits chimiques organiques toxiques et dangereux: synthèse des résultats obtenus

Des études ont été consacrées aux produits chimiques organiques qui peuvent présenter un intérêt pour le traitement des sols contaminés, des eaux souterraines, des déchets industriels et des lixiviats de déchets dangereux. Les résultats obtenus dans le cas de deux composés sont résumés ci-après.

Le rendement d'épuration a été déterminé pour plusieurs doses d'irradiation, à trois concentrations de soluté initiales, à trois pH différents et avec adjonction ou non de 3% d'argile. Les solutés ont été soit concentrés en laboratoire en forme de solutions contrôlées, soit injectés dans les citernes de camions au moment où on les remplissait d'eau (voir tableau).

Les sous-produits de réaction de tous les composés étudiés sont fortement oxydés. Ainsi, le

formaldéhyde et l'acide formique, aux concentrations de l'ordre de la micro-M, ont été les seuls sous-produits de réaction identifiés dans le cas du trichloréthylène. Le reste du composé précurseur a été complètement minéralisé en $\text{CO}_2\text{H}_2\text{O}$ et HCl .

Il a donc été démontré qu'une irradiation par des faisceaux d'électrons de haute énergie constitue un moyen efficace et rentable de détruire des substances chimiques organiques dans des effluents aqueux. Les substances organiques chimiques citées ici comme exemples sont représentatives de celles que l'on trouve dans les effluents et dans les sites de traitement des déchets dangereux.

L'installation canadienne de recyclage des boues: commercialisation de boues irradiées

Les boues urbaines sont constituées par les matières solides extraites lors des opérations de traitement des eaux usées dans les stations d'épuration. Elles contiennent généralement des composants potentiellement nocifs tels que des organismes infectieux (virus, bactéries, parasites), des métaux lourds et des produits chimiques, ainsi que de l'azote, du phosphore et d'autres éléments nutritifs favorisant la croissance des plantes.

Dans plusieurs pays (Allemagne, Inde, Italie), on recourt avec succès à des systèmes d'irradiation pour désinfecter des boues liquides avant épandage sur des terres agricoles. Au Canada, un programme d'essais de quatre ans a débouché sur une proposition pour la création d'une installation de recyclage de boues dotée d'un irradiateur au cobalt 60. Si le projet est approuvé, cette installation transformera des boues en un produit sec analogue à de la terre qui sera ensaché et vendu à des exploitations horticoles.

Systèmes d'irradiation de boues

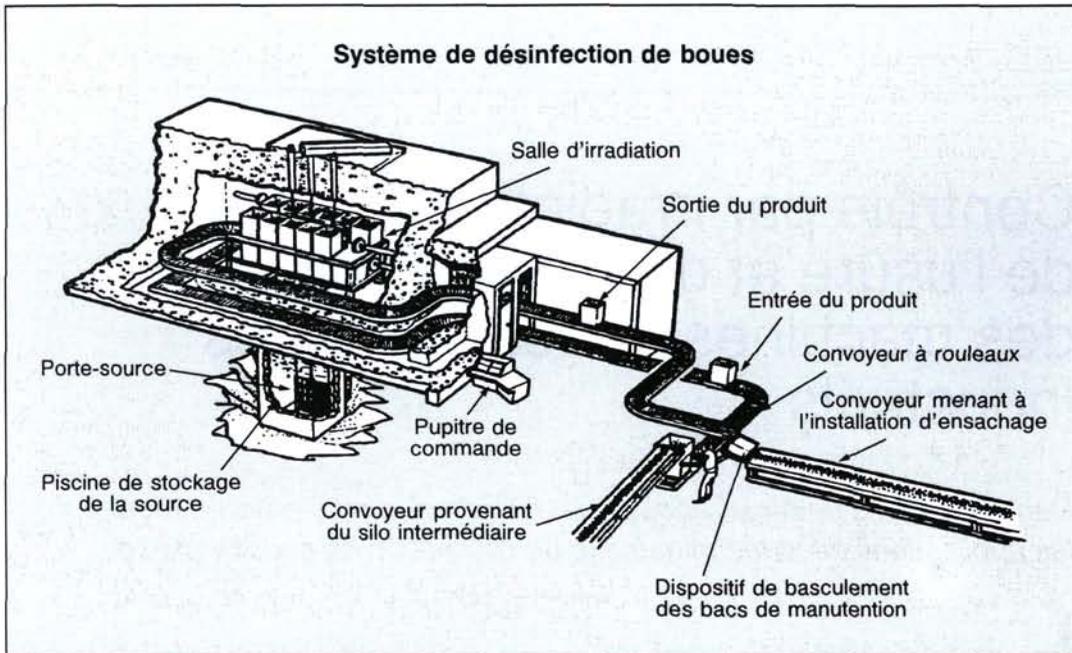
Pour désinfecter des boues par irradiation, on fait normalement appel à un irradiateur gamma doté d'une source au cobalt 60. Plus de 160 irradiateurs industriels de ce type sont exploités dans le monde pour stériliser des seringues, des sutures, des blouses de chirurgien, des valves cardiaques, des pommades, des talcs et une foule d'autres produits médicaux et de produits de consommation.

Un système de désinfection de boues par irradiation comporte trois grands éléments:

- une salle de désinfection à murs en béton qui abrite l'irradiateur au cobalt 60;
- un mécanisme qui fait circuler les boues dans la salle;
- une source au cobalt 60 pour la désinfection.

La source au cobalt 60 est un composant important de l'irradiateur. Le cobalt 60 est un isotope radioactif produit artificiellement que

**Vue
d'un irradiateur
de boues urbaines**



l'on emploie aussi pour le traitement des cancéreux dans les hôpitaux. Le cobalt 59 non radioactif que l'on trouve dans la nature est façonné en bâtonnets analogues à un crayon. Les «crayons» sont bombardés par des neutrons dans un réacteur nucléaire pendant une ou plusieurs années, au bout desquelles 10% environ de cobalt 59 ont été transformés en cobalt 60. Les crayons sont ensuite retirés du réacteur puis traités et préparés en vue de leur expédition aux utilisateurs de systèmes d'irradiation industriels.

Le cobalt 60 émet un rayonnement gamma en se désintégrant en nickel. Le rayonnement traverse les boues en détruisant les micro-organismes et les parasites. Il ne laisse aucun résidu à la surface ou à l'intérieur des boues et il ne rend pas celles-ci «radioactives». L'irradiation ne modifie pas la teneur en eau, en éléments nutritifs, en métaux lourds, etc., des boues — elle a seulement pour objet d'éliminer les organismes pathogènes.

Emploi des boues irradiées comme fertilisant

Les boues désinfectées peuvent être recyclées en toute sécurité pour être utilisées comme engrais, conditionneurs de sol ou constituants de toute une série d'engrais spéciaux. Les produits à base de boues sont très compétitifs par rapport aux amendements du sol et aux fumures d'origine animale disponibles couramment sur le marché.

Etant essentiellement organiques, les produits à base de boues favorisent une amélioration à long terme des sols à la différence des engrais chimiques qui fournissent des éléments nutritifs mais n'améliorent guère les sols. Leurs composants

naturels en font des produits idéals pour les arbustes et les fleurs. Ces produits peuvent être également incorporés à des pelouses nouvelles ou anciennes.

Enjeux et opportunités pour l'avenir

Cet article a donné un très bref aperçu des types de problèmes de gestion des déchets que diverses technologies d'irradiation peuvent permettre de résoudre. Dans certains cas, des recherches et des essais sont encore nécessaires pour que cette technologie puisse être utilisée industriellement; dans d'autres, elle est déjà employée ou prête à l'être à grande échelle.

Pour ce qui est de l'avenir, les recherches en cours dans des établissements scientifiques laissent entrevoir le rôle nouveau que pourrait jouer une application sûre, fiable et économique des technologies faisant appel aux rayonnements dans le traitement des déchets. On songe par exemple aux machines à faisceaux d'électrons pour débarrasser les gaz de combustion de polluants tels que l'oxyde d'azote et le dioxyde de soufre, aux machines à cobalt 60 pour stériliser des déchets d'hôpitaux et de laboratoires en vue de leur élimination sûre et à un recours accru aux ultraviolets pour remplacer les produits chimiques chlorés en vue de désinfecter les eaux usées.

Chaque année qui passe voit s'allonger la liste des problèmes d'environnement apparemment insurmontables auxquels sont confrontés les habitants de tous les pays. Pour relever ce défi, on recherche des solutions de haute technologie qui apporteront des réponses maintenant et à l'avenir. Les technologies faisant appel aux rayonnements offrent une solution de rechange viable dans cette quête.