

# OGM

## Des arbres transgéniques ou génétiquement modifiés qui dispersent l'empoisonnement par le mercure

Prof. Joe Cummins \*

Traduction, définitions, compléments d'information : Jacques Hallard \*\*

Le fait de déplacer le mercure d'un endroit à un autre est-il de la phytoremédiation ?

Des chercheurs ont expérimenté récemment des arbres **modifiés génétiquement** dans le but de retirer le **mercure** ionique d'un sol pollué, puis de le convertir en mercure volatil qui est alors libéré dans l'atmosphère. Ces chercheurs semblent croire que le mercure atmosphérique sera relativement inoffensif. Les essais sur le terrain ont été entrepris à Danbury, dans le Connecticut aux Etats-Unis et ils ont été financés par l'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (*Environment Protection Agency* ou *EPA*) ainsi que par d'autres parties intéressées <sup>1</sup>. Danbury est une cité dont des sites avaient été pollués par du mercure provenant de la fabrication de chapeaux.

Le mercure a causé là un empoisonnement, typique de cet élément, chez les ouvriers qui avaient contracté un syndrome désigné par la "tremblote de Danbury". Cependant, ce projet de "**remédiation**" du mercure déplacera simplement cet élément dans l'atmosphère, d'où il se redéposera au-dessus des villes du Nord-Est, ainsi que dans les lacs et les cours d'eau du Nord des Etats-Unis et au Canada. Une fois déposé dans les voies d'eau et les rues des villes, l'élément mercure sera converti par des microbes en mercure organique qui causera des dégâts neurologiques et des dommages aux nouveaux-nés, aussi bien chez les êtres humains que chez les animaux.

J'ai déjà précisé, l'année dernière, les dangers de cette forme de **phytoremédiation** pour les villes et les eaux des Etats-Unis et du Canada <sup>2</sup>. Mais mes commentaires ont été complètement ignorés par les services administratifs de l'*EPA* et par l'industrie des biotechnologies.

On estime que, dans le monde entier, les activités humaines émettent environ 1.900 tonnes de mercure : les  $\frac{3}{4}$  proviennent de la combustion des fossiles, en particulier du charbon. Les décharges des déchets, la fabrication de ciment et les incinérateurs des déchets composent la majeure partie du  $\frac{1}{4}$  restant.

Les pays asiatiques contribuent pour plus de la moitié à l'émission de mercure, tandis que l'Europe et l'Amérique du Nord y contribuent pour moins d'un quart. L'élément mercure à l'état gazeux concerne la moitié du mercure émis, alors que le mercure bivalent et le mercure particulaire concernent le reste <sup>3</sup>

Le mercure émis tend à être déposé à partir de l'atmosphère dans la neige et les pluies et il constitue une menace sérieuse pour les êtres humains et pour les animaux, parce que l'élément mercure est converti en mercure ionique et organique, pour terminer vers l'Arctique, au Canada et dans les villes du Nord-Est des Etats Unis <sup>2 & 4</sup>. Si la phytoremédiation des sites pollués par le mercure était

---

\* Membre de "The Institute of Science in Society" ( ISIS ), organisation non gouvernementale basée à Londres, Grande Bretagne : <http://www.i-sis.org.uk>. L'article en anglais, *Transgenic Trees Spread Mercury Poisoning*, est consultable sur le site : [www.i-sis.org.uk/TTSMP.php](http://www.i-sis.org.uk/TTSMP.php)

Les informations générales de cet institut sont disponibles auprès de Sam Burcher : [sam@i-sis.org.uk](mailto:sam@i-sis.org.uk). L'institut ISIS est dirigé par Mae-Wan HO : [m.w.ho@i-sis.org.uk](mailto:m.w.ho@i-sis.org.uk)

\*\* Ingénieur CNAM, consultant indépendant . [jacques.hallard@wanadoo.fr](mailto:jacques.hallard@wanadoo.fr)

1 Williams P. UGA researchers involved in first trial using transgenic trees to help clean up toxic waste site.

University of Georgia News Release Sept. 11, 2003 <http://www.uga.edu/news/>

2 Cummins J. "GM trees alert" *Science in Society* 2002, 16, p.33

3 Pacyna E. and Pacyna J. Global emissions of mercury from anthropogenic sources in 1995, *Soil, Air and Water Pollution* 2002, 137, 149-65

4 Renneberg A and Dudas J. Transformation of elemental mercury to inorganic and organic forms in mercury and hydrocarbon co-contaminated soils. *Chemosphere* year? 45, 1103-9

entreprise sur une grande échelle en Amérique du Nord, l'émission globale et la dispersion du mercure pourrait doubler en moins d'une décennie.

La procédure de phytoremédiation du mercure est basée sur l'introduction du gène bactérien *merA* dans le génome de plantes modifiées génétiquement. Pour obtenir une activité génétique efficace dans ces plantes, un gène synthétique *merA*, avec de l'ADN altéré, est employé pour cette modification génétique<sup>5, 6, 7</sup>. Des microbes résistants au mercure sont également proposés en vue d'un traitement efficace et peu coûteux du mercure dans l'eau<sup>8</sup>. Mais pour l'application prévue et la dispersion d'une telle technologie, il n'a pas été tenu compte des conséquences de la pollution atmosphérique par le mercure, comme résultat de la phytoremédiation.

En conclusion, l'élimination du mercure par l'utilisation de la phytoremédiation et des bactéries provoque, dans les deux cas, un dégagement de l'élément mercure dans l'atmosphère, qui est ainsi promu par les technologues spécialisés et par les autorités officielles chargées de la réglementation. Une telle "remédiation" n'est en rien une élimination du mercure : elle correspondant juste au déplacement du problème d'un endroit à un autre! En fait, elle déplace le mercure des sites contaminés circonscrits vers les rues des villes et les eaux superficielles qui nous fournissent les poissons et l'eau potable.

## Définitions et compléments d'information en français

**Mercure** : métal argenté et lourd, liquide à la température ambiante (entre -10° et +40°C), qui ne réagit ni avec l'air, ni avec l'eau, ni avec les bases ou la plupart des acides. Sous les conditions normales de température et de pression, c'est le seul métal à l'état liquide. C'est un métal dit « lourd » dans la classification du chimiste Mendeleiev, dans la mesure où il possède une « masse atomique » de 200 (hydrogène =1). Le mercure métallique n'est pas oxydé à l'air sec. Cependant, en présence d'humidité, le mercure subit une oxydation. Les oxydes formés sont Hg<sub>2</sub>O à température ambiante, HgO entre 573 K (300 °C) et 749 K (476 °C). Le mercure existe à divers degrés d'oxydation : degré 0 (mercure métallique), degré I (ion mercurieux Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>, Hg<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), et degré II (ion mercurique Hg<sup>2+</sup>, HgO, HgSO<sub>3</sub>, HgI<sup>+</sup>, HgI<sub>2</sub>, HgI<sub>3</sub><sup>-</sup>, HgI<sub>4</sub><sup>2-</sup>). Le mercure est le seul élément, en dehors des gaz rares, à exister sous forme de vapeur monoatomique Hg<sup>0</sup>. C'est un métal qui se caractérise par une extrême volatilité. Il émet des vapeurs toxiques et, du point de vue de la santé publique, ses effets chroniques sont cumulatifs. La toxicité du mercure dépend de son degré d'oxydation. Au degré 0, il est toxique sous forme de vapeur. Les ions de mercure de degré d'oxydation II sont bien plus toxiques que les ions de mercure de degré d'oxydation I.

Le mercure se présente en deux familles distinctes.

**Famille 1** : Le mercure métallique ou inorganique qui prend lui-même trois formes différentes :

- 1.1. Le mercure **métallique** élémentaire, sous forme **liquide** (noté Hg<sup>0</sup>). C'est le mercure classique, sous sa forme la plus connue, qui est utilisé dans les thermomètres ou lors des travaux pratiques de chimie dans les lycées.
- 1.2. Le mercure sous forme **gazeuse** (noté Hg<sup>0</sup>). Le mercure, en chauffant, se transforme en vapeur. Cette première forme est notée Hg<sup>0</sup>.
- 1.3. Le mercure inorganique, sous forme **ionique**, (noté Hg<sup>2+</sup>).

**Famille 2** : Le **mercure organique**, quand il se combine avec une molécule contenant du carbone, à la base de tout élément vivant (ou qui a été vivant). Le mercure se combine très facilement avec d'autres molécules, que ce soient des métaux (amalgames), des molécules inorganiques (soufre) ou organiques

---

5 Rugh C, Wilde H, Stack N, Thompson D, Summers A and Meagher R. Mercuric ion reduction and resistance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants expressing a modified *mer A* gene. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 1996, 93, 3182-7

6.Heaton A, Rugh C, Wang N, and Meagher R. Phytoremediation of mercury and methyl mercury polluted soils using genetically engineered plants. *Journal of Soil Contamination* 1998, 7,497-509

7.Kramer U and Chardonnens A. The use of transgenic plants in bioremediation of soils contaminated with trace elements. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2001, 55, 661-72

8.Wagner-Dobler I. Pilot plant for bioremediation of mercury-containing industrial wastewater. *Appl. Microbiol Biotechnol* 2003, 62, 124-33

(carbone). Il existe des échanges permanents entre ces différentes formes, car le mercure a une grande capacité à se transformer, notamment sous l'effet de l'acidité du milieu et de la présence de molécules - ou « ligands »- assurant ces combinaisons (chlore, soufre). Le mercure est inhalé sous forme de vapeurs. Par l'action de la catalase présente dans les globules rouges, le mercure métallique est transformé en ions mercuriques, qui passent dans le sang. La relation n'est pas univoque. Il existe une réaction inverse qui permet de passer des ions mercuriques au mercure métallique. La méthylation se déroule principalement en milieu aqueux ou dans les intestins, en fonction de l'acidité et de la présence de soufre. Les composés de mercure organique les plus connus sont le méthylmercure et le diméthylmercure. L'activité bactérienne en milieu aquatique convertit une partie du mercure dissout en une forme organique : le méthylmercure de formule  $HgCH_3$ . Sous cette forme, le mercure est neurotoxique et s'accumule dans la chaîne alimentaire aquatique. La consommation de certaines espèces de poissons prédateurs représente une source d'exposition importante pour les êtres humains. Environ 2.500 tonnes de mercure sont émises dans l'atmosphère chaque année par les activités humaines. La combustion du charbon dans les centrales électriques et les activités minières représentent les principales sources d'émission. On estime que 4.000 tonnes supplémentaires sont émises chaque année par recirculation, par les volcans ou par les formations géologiques riches en mercure. Informations puisées sur les sites suivants : [fr.wikipedia.org/wiki/Mercure\\_\(élément\)](http://fr.wikipedia.org/wiki/Mercure_(élément)) et [www.senat.fr/rap/100-261/100-26153.html](http://www.senat.fr/rap/100-261/100-26153.html) . Une étude exhaustive en français sur le mercure et ses dérivés est fournie dans l'étude de l'INERIS : Fiche de données toxicologiques et environnementales, *DRC-00-25590-99DF389.doc Version N°2-2 mai 2005* accessible en consultant le site : [www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2186](http://www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2186)

**Modification ou manipulation ou transformation génétique ou transgénèse :** ensemble de manipulations de laboratoire qui consistent à intégrer de l'ADN recombiné d'origine(s) diverse(s) dans du matériel vivant receveur pour donner naissance à un **Organisme Génétiquement Modifié** ou **OGM**.

**OGM :** Organismes Génétiquement Modifiés (on dit également transformés ou manipulés ou **transgéniques** ). Nom donné à un être vivant issu d'une cellule dans laquelle a été introduit un fragment d'ADN recombiné, étranger. L'individu OGM qui en résulte, possède dans toutes ses cellules l'ADN recombiné étranger introduit au départ et intégré dans son patrimoine génétique.

**Phytoremédiation :** processus de décontamination ou d'élimination, dans un milieu pollué (sols ou eaux), de polluants organiques ou minéraux par l'intermédiaire de processus métaboliques et physiologiques, faisant appel soit à des plantes, génétiquement modifiées ou pas, soit à des bactéries. De plus amples informations sont accessibles sur le site suivant :

[quasimodo.versailles.inra.fr/inapg/phytoremed/](http://quasimodo.versailles.inra.fr/inapg/phytoremed/) . Pour la contamination par les métaux en général, on parle aussi de phytoextraction. Dans ce processus, la plante absorbe les métaux lourds par les racines et les accumule dans la partie aérienne (les tiges et les feuilles). On emploie souvent des plantes dites hyperaccumulatrices pour leur capacité à extraire un grand volume de polluants de leur environnement périphérique. Les plantes sont ensuite récoltées et incinérées. On peut aussi récupérer les métaux de ces plantes. Pour plus de détails, voir le site : [www.biofondations.gc.ca/francais/View.asp?x=742](http://www.biofondations.gc.ca/francais/View.asp?x=742) . Enfin Louis-Marie Houdebine traite de la phytoremédiation avec des OGM dans la note que l'on peut consulter sur le site :

[www.ircm.qc.ca/bioethique/obsgetnetique/zoom/zoom\\_05/z\\_no21\\_05/z\\_no21\\_05\\_01.html](http://www.ircm.qc.ca/bioethique/obsgetnetique/zoom/zoom_05/z_no21_05/z_no21_05_01.html)

**Remédiation :** un terme étrange dont sont friands les pédagogues et les éducateurs et qui est employé pour désigner la prise en compte de difficultés scolaires ou des problèmes liés aux milieux familiaux et sociaux. Dans l'esprit de cette étude, nous avons délibérément choisi de parler plus précisément de **phytoremédiation** (voir ce mot plus haut)

**Transgène :** c'est une suite ou séquence de bases nucléiques, isolées d'un ou de plusieurs gènes, qui est construite et utilisée en vue de son intégration dans une cellule dans le but de modifier ou de transformer génétiquement celle-ci. Le but est de régénérer ensuite un individu fonctionnel ou **OGM = Organisme Génétiquement Modifié**. Un transgène peut être conçu et réalisé à partir d'une ou de plusieurs espèces différentes.

## Sources bibliographiques

1. Williams P. UGA researchers involved in first trial using transgenic trees to help clean up toxic waste site. University of Georgia News Release Sept. 11, 2003 <http://www.uga.edu/news/>
2. Cummins J. "GM trees alert" *Science in Society* 2002, 16, p.33
3. Pacyna E. and Pacyna J. Global emissions of mercury from anthropogenic sources in 1995, *Soil, Air and Water Pollution* 2002, 137, 149-65
4. Renneberg A and Dudas J. Transformation of elemental mercury to inorganic and organic forms in mercury and hydrocarbon co-contaminated soils. *Chemosphere* year? 45, 1103-9
5. Rugh C, Wilde H, Stack N, Thompson D, Summers A and Meagher R. Mercuric ion reduction and resistance in transgenic *Arabidopsis thaliana* plants expressing a modified *mer A* gene. *Proc. Natl. Acad. Sci USA* 1996, 93, 3182-7
6. Heaton A, Rugh C, Wang N, and Meagher R. Phytoremediation of mercury and methyl mercury polluted soils using genetically engineered plants. *Journal of Soil Contamination* 1998, 7, 497-509
7. Kramer U and Chardonnens A. The use of transgenic plants in bioremediation of soils contaminated with trace elements. *Applied Microbiology and Biotechnology* 2001, 55, 661-72
8. Wagner-Dobler I. Pilot plant for bioremediation of mercury-containing industrial wastewater. *Appl. Microbiol Biotechnol* 2003, 62, 124-33