

OGM

A propos des arbres modifiés génétiquement ou transgéniques

Prof. Joe Cummins*

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

Les arbres modifiés génétiquement sont capables de disperser de la vapeur de mercure dans l'atmosphère et présentent un taux de lignine réduit.

1. Des arbres génétiquement modifiés qui émettent des vapeurs de mercure dans l'atmosphère

La pollution du sol par le **mercure** peut être un risque chronique important. La plupart des emplacements pollués sont des sites industriels historiques. L'exploitation de l'or, en particulier, utilise encore le mode d'extraction primitif au vif-argent ou mercure, qui pollue le sol et les cours d'eau. Dans beaucoup de secteurs, la pollution de sol peut être d'origine géologique plutôt que le résultat d'une activité humaine. Actuellement, le dépôt atmosphérique du mercure est un problème de pollution important dans les villes et les lacs sauvages des pays nordiques. La majeure partie des problèmes est associée aux combustibles fossiles et à l'incinération des déchets médicaux.

On envisage de faire appel à la **phytoremédiation** sur des parcelles de terrain qui sont polluées avec des niveaux élevés du mercure, en utilisant des arbres **modifiés génétiquement** pour capter le mercure ionique ou le mercure organique, afin de le convertir en une forme métallique élémentaire moins toxique, laquelle est alors expulsée dans l'atmosphère où elle sera 'suffisamment diluée pour ne présenter aucun risque¹

Les partisans de la phytoremédiation **transgénique**, après évaluation des risques environnementaux, ont argué du fait que les émissions de mercure provenant des emplacements traités se situeraient au-dessous des niveaux courants d'émission de mercure métallique élémentaire. Ils ont dit que le mercure élémentaire serait maintenu dans l'atmosphère pendant deux années et que, durant cette période, il se trouverait dilué à des niveaux "non toxiques" avant d'être précipité²

Ces partisans ont également argué du fait que la pollution serait négligeable par rapport à l'utilisation des combustibles fossiles et à l'incinération de déchets d'hôpitaux. Ils ont affirmé que des animaux nourris avec les plantes génétiquement modifiées seraient exposés à moins de mercure qu'avec des plantes conventionnelles [non modifiées génétiquement] parce que le mercure métallique élémentaire

* 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, *GM Trees Alert*, est consultable sur le site www.i-sis.org.uk/GMtrees.php . Les informations générales de cet institut sont disponibles auprès de Sam Burcher : sam@i-sis.org.uk . L'institut ISIS est dirigé par Mae-Wan HO : m.w.ho@i-sis.org.uk

** Ingénieur CNAM, consultant indépendant . jacques.hallard@wanadoo.fr

1 Rugh C, Senecff J, Meagher R and Merkle S. Development of transgenic yellow poplar for mercury phytoremediation. *Nature Biotech* 1998, 16, 925-6.

Bizily S, Rugh C and Meagher R. Phytoremediation of hazardous organomercurials by genetically engineered plants. *Nature Biotech*. 2000, 18, 213-5.

Kramer U and Chardonens A. The use of transgenic plants in the bioremediation of soils contaminated with trace elements. *Appl Microbiol Biotechnol*. 2001, 55,661-72

2 Pilon-Smits E and Pilon M. Breeding mercury-breathing plants for environmental cleanup. *Trends in Plant Science* 2000, 5,235-6.

serait très rapidement libéré du tissu végétal des **OGM**. Ils ont également tablé sur le fait que les gènes favorisant l'émission du mercure ne seraient pas transférés aux plantes non transgéniques.

Malheureusement, bien que le mercure élémentaire reste dans l'atmosphère pendant une période allant jusqu'à deux années, il est finalement toujours précipité avec la pluie et avec la neige. L'Arctique agit en tant que piège pour condenser le mercure qui a été précipité, mais toutes les communautés nordiques, comprenant de grandes villes de l'Est de l'Amérique du Nord, souffrent d'une accumulation croissante de mercure s'abattant avec les précipitations. Le mercure élémentaire précipité est rapidement converti en mercure ionique et organique, une fois qu'il s'est déposé.

Ce que va apporter la phytoremédiation, c'est de déplacer le mercure du sol des terrains contaminés dans les communautés méridionales, de le disperser et de le redistribuer aux communautés nordiques. Il y a un grand nombre d'emplacements avec des sols et des sédiments pollués par le mercure, avec des secteurs géologiques qui présentent un taux élevé de mercure.

Par exemple, les techniques d'extraction d'or brut utilisées le long de l'Amazone ont laissé des niveaux élevés de mercure dans le sol. Si cette zone devait être soumise à une opération de phytoremédiation, le mercure libéré vers l'atmosphère serait susceptible de se précipiter dans les villes du Nord des Etats-Unis et du Canada, et d'avoir des impacts importants sur l'Arctique. Le mercure émis et condensé dans l'océan, réapparaîtrait sur les tables à manger à travers le monde, du fait de la bioaccumulation dans la chaîne alimentaire.

Basé sur l'expérience actuelle avec les plantes **transgéniques**, il est certain qu'un nombre de grains de pollen et graines transgéniques s'échapperont. Le peuplement, avec de arbres transgéniques pour le captage du mercure, de vastes secteurs déjà concernés par la pollution géologique de mercure, pourrait aboutir à une catastrophe mondiale globale.

L'agence de protection de l'environnement des Etats-Unis (*Environment Protection Agency* ou *EPA*) semble plutôt schizophrène en soutenant, d'un côté, les recherches sur la phytoremédiation du mercure par l'émission dans l'air, tout en aidant également, d'un autre côté, des programmes importants qui visent à réduire les dépôts du mercure. Les Nations Unies devraient jouer un rôle important en réglementant les dépôts du mercure et des autres polluants volatils atmosphériques au niveau mondial.

2. Les arbres génétiquement modifiés avec un taux réduit de lignine , ne sont-ils rien d'autre qu'un roman à sensation ?

Le matériel des parois cellulaires des végétaux se compose de trois constituants importants : la cellulose, la **lignine** et l'hémicellulose. La lignine est particulièrement difficile à dégrader par la voie biologique et elle réduit la disponibilité biologique des autres constituants des parois cellulaires.

La lignine est un polymère complexe constitué d'unités de **phénylpropane**, qui sont reliées avec une grande variété de différentes liaisons chimiques. Du fait de cette complexité, la lignine s'est montrée aussi difficile à caractériser chimiquement, qu'elle est résistante à la dégradation par voie microbienne. Néanmoins, quelques organismes, en particulier des champignons microscopiques ou mycètes, ont développé des enzymes nécessaires pour décomposer la lignine en ses composants chimiques de base et ceci est crucial pour le recyclage et la réutilisation des nutriments dans l'écosystème.

Des gros efforts ont été faits pour modifier génétiquement des arbres pour faire en sorte qu'ils aient un taux réduit de lignine afin de faciliter la production de pulpe à papier. Des plantes fourragères ont été également modifiées pour faciliter le pâturage et pour permettre aux animaux de digérer plus de fourrage ou d'ensilage.

La plupart des modifications génétiques ont inclus l'utilisation de constructions d'ADN **anti-sens** afin d'inhiber les produits particuliers de certains gènes, dans la voie métabolique de production de lignine. Les modifications anti-sens consistent à insérer des gènes qui produisent un ARN messager avec une séquence complémentaire de l'ARN messager du gène, se liant de ce fait avec lui pour former un ARN double-brin ou bicaténaire ; ce dernier est détruit par la cellule végétale en tant qu'élément de défense de la plante contre une infection virale.

La lignine est importante pour le végétal car elle est impliquée dans la résistance des plantes aux stress

et aux agents pathogènes ; il en découle que des arbres ou des plantes fourragères avec de faibles taux de lignine seraient peut être trop fragiles pour prospérer dans le milieu naturel (en dehors d'une serre de culture).

Des peupliers transgéniques réalisés avec la technique anti-sens, à faible taux de lignine et mis en culture pendant quatre années, se sont montrés capables de produire de la pâte à papier de grande qualité sans interférer avec la croissance des sujets et leur bon développement ³.

Un autre peuplier, également réalisé avec la technique anti-sens, avec une faible teneur en lignine, s'est bien avéré avoir un faible taux de lignine, mais la structure de cette dernière était modifiée de telle sorte que cet OGM était moins favorable à la dégradation industrielle que la lignine de l'arbre normal⁴.

Une étude assez complète, portant sur des plantes herbacées pérennes à faible taux de lignine (notamment de la luzerne et des graminées fourragères – le **brome** et le **dactyle** - qui avaient été sélectionnés en utilisant des méthodes conventionnelles, ont présenté des problèmes en culture, dont une faible survie à la sortie de l'hiver et une diminution de la biomasse ⁵.

Les arbres transgéniques à faible taux de lignine et obtenus par la technique anti-sens, nécessitent des expérimentations complémentaires avec une exposition aux stress dans l'environnement et vis-à-vis des parasites, avant que des plantations étendues soient envisagées. En outre, les impacts écologiques de tels arbres, y compris ceux qui peuvent résulter des **flux de gènes**, doivent également être abordés.

3 Pilate G, Guiney E, Holt K, et al. Field and pulping performance of trees with altered lignification" *Nature Biotech* 2002, 20,607-13.

4 Jounanin L, Goujon T, Nadai V, et al. Lignification in transgenic poplars with extremely reduced caffeoyl O-methyltransferase activity. *Plant Physiology* 2000, 123,1363-73

5 Caler M, Buxton D and Vogel K. Genetic modification of lignin concentration affects fitness of perennial herbaceous plants" *Theor Appl Genet* 2002, 104,127-31

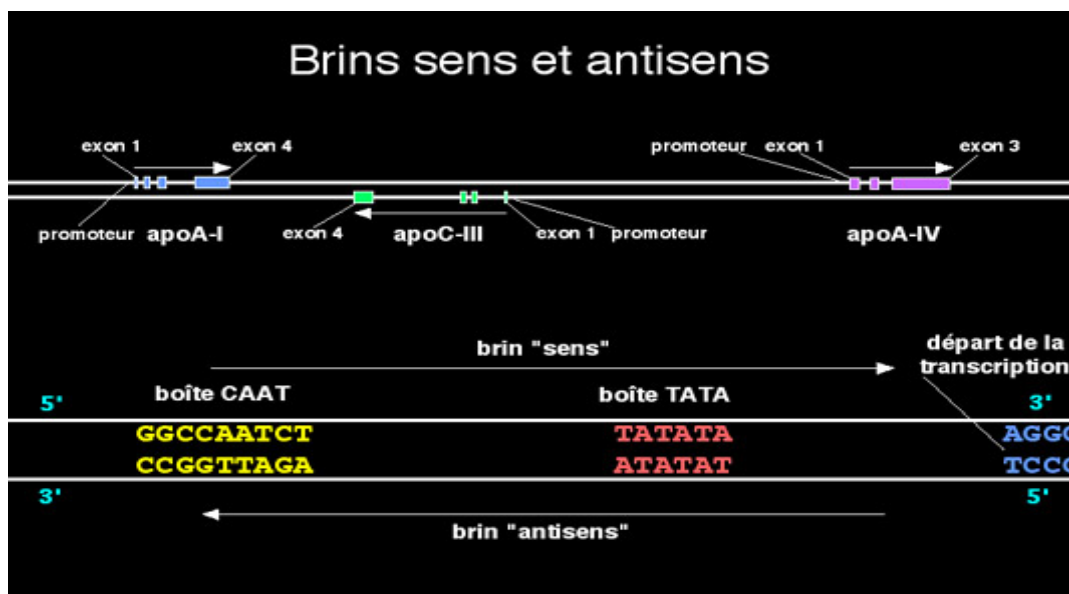
Définitions et compléments d'information en français

Anti-sens ou **antisens** : des gènes "antigènes" qui sont constitués d'oligodésoxynucléotides, c'est-à-dire des fragments d'ADN simple-brin, synthétisés en laboratoire, longs de 12 à 25 nucléotides normaux ou modifiés par voie chimique, dont la séquence bloque un ARN messager dont ils inhibent l'expression, c'est à dire la traduction en une protéine. Si l'on connaît la séquence du gène qui code pour une protéine pathogène, il est possible de synthétiser un antisens complémentaire de cette séquence, qui viendra spécifiquement inhiber son expression. Les antisens n'ont pas besoin de vecteur pour pénétrer dans la cellule.

Les antisens sont capables de reconnaître spécifiquement un ARN messager naturel par appariement des bases complémentaires et empêchent ainsi sa traduction en protéine, car les hybrides ADN-ARN sont détruits dans les cellules par des enzymes spécifiques. Leur utilisation a été proposée en thérapeutique anticancéreuse pour inhiber l'expression des oncogènes ou de gènes de résistance aux médicaments. La principale difficulté du développement de cette stratégie antisens réside dans l'instabilité de ces oligonucléotides dans l'organisme, ainsi que leur faible pénétration intracellulaire, selon Jacques ROBERT sur le site : www.fnclcc.fr/fr/patients/dico/definition.php?id_definition=128

Les stratégies antisens et anti-gènes, applicables en thérapie anticancéreuse, sont traités sur le site suivant : www.biotech-medecine.com/archives/review18/flash1

Le schéma ci-après illustre un exemple de constitution d'un brin d'ADN antisens. Il est emprunté au site : www.chups.jussieu.fr/polys/biochimie/BMbioch/POLY.Chp.5.3.html



Brome, en latin *Bromus sp.* : une centaine d'espèces de graminées originaires d'Europe, de Chine et de Sibérie qui sont cultivée comme pâturage, pour la production de foin et parfois à titre ornemental pour leurs inflorescences en panicule terminale.

Dactyle pelotonné ou aggloméré, en latin *Dactylis glomerata* : une graminée vivace qui est cultivée dans le monde entier comme plante fourragère. C'est une plante de prairie plutôt adaptée à la fauche qu'au pâturage et qui donne un très bon foin. Elle est souvent semée en association soit avec d'autres graminées, soit avec des légumineuses comme le trèfle ou la luzerne).

Flux de gènes : désigne des mouvements ou des échanges de matériel génétique qui ont lieu entre des organismes vivants, quelle que soit la façon dont ils se produisent (par reproduction sexuée, le plus souvent, ainsi que par transmission par un virus ou par un micro-organisme. Dans le débat sur les OGM, il désigne plus spécifiquement la transmission d'un transgène d'une plante de culture modifiée génétiquement vers une plante sauvage considérée comme une "mauvaise herbe"). Le flux de gènes est possible quand les deux plantes concernées présentent une compatibilité sexuelle (espèces apparentées), à la condition qu'elles vivent en sympatrie, c'est-à-dire qu'elles se développent dans le même environnement et à la même époque.

L'existence du flux de gènes a été notamment prouvée par des expérimentations dans le cas du colza et de la navette, cette dernière étant une adventice ou "mauvaise herbe" qui pousse à proximité des cultures de colza. Des modélisations informatiques conduisent à la conclusion que la diffusion du transgène dans la population de mauvaise herbe est alors inéluctable, même pour des croisements interspécifiques rares. La possibilité de flux de gènes est l'un des paramètres pris en compte lors de l'évaluation d'un dossier de demande d'autorisation de culture d'une plante transgénique. En effet, par ce phénomène, un transgène peut s'échapper du cadre dans lequel il a été développé et provoquer dans l'environnement des perturbations difficilement prédictibles. Informations extraites du site Internet : www.debats-science-societe.net/dossiers/ogm/flux-de-genes.html . La dispersion des gènes et les flux de (trans)gènes dans les agroécosystèmes sont notamment abordés de façon plus détaillée sur les sites suivants : www.ese.u-psud.fr/biodiversite/flux.html et www.ogm.gouv.qc.ca/envi_dispersion.html

Lignine : polymère lipidique rigide, enchâssé dans la paroi des cellules végétales des végétaux vasculaires (notamment dans les cellules du **xylème**), qui assure le maintien dressé des espèces vivant sur la terre ferme. Il s'agit d'une substance organique qui imprègne les fibres du bois. La lignine est un polymère en trois dimensions qui est constitué de trois unités monomériques possédant le même squelette carboné **phénylpropane**, mais qui diffèrent par leur degré de méthylation et d'hydroxylation. La lignine est un constituant important du bois qui présente une haute résistance à la dégradation, mais que beaucoup de champignons cependant peuvent attaquer. Le bois est constitué essentiellement de cellulose et de lignine. La cellulose est à la base de la fabrication de la pâte ou pulpe à papier. La lignine est la substance responsable des qualités du bois : imperméabilité et inextensibilité, mais elle doit être éliminée lors de la fabrication du papier. C'est alors un déchet. Les lignines sont des polymères complexes responsables de certaines propriétés des parois. Tout en étant indispensable au bon développement des plantes, ces parois constituent un obstacle à l'industrie de la pâte à papier et elles réduisent par ailleurs la digestibilité des fourrages. Trois secteurs économiques sont particulièrement concernés par la lignine : la fabrication de papiers et cartons, l'alimentation du bétail et le bois-énergie pour de chauffage.

Le sujet traité ici a fait l'objet de débats en France, exprimés en particulier sur le site suivant : www.debats-science-societe.net/glos_lignine.php

Une présentation du problème en Amérique du Nord se trouve sur le site suivant : http://www.ogm.gouv.qc.ca/infopot_vege_fore.html

Enfin des informations scientifiques générales sur la **lignine** peuvent être consultées sur le site suivant : <http://www.ujf-grenoble.fr/JAL/Choler/BEV/cour/iicv/sld002.htm>

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 Hg₂O 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 Hg²⁺, Hg₂SO₄), et degré II (ion mercurique Hg²⁺, HgO, HgSO₃, HgI⁺, HgI₂, HgI₃⁻, HgI₄²⁻). Le mercure est le seul élément, en dehors des gaz rares, à exister sous forme de vapeur monoatomique Hg⁰.

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 :

a) **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^0). 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^0). Le mercure, en chauffant, se transforme en vapeur. Cette première forme est notée Hg^0 .

1.3. Le mercure inorganique, sous forme **ionique**, des ions notés Hg^{2+} .

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

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 2500 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 4000 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.

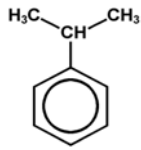
Une étude exhaustive en français sur le mercure et ses dérivés est fournie par l'INERIS : *Fiche de données toxicologiques et environnementales, DRC-00-25590-99DF389.doc Version N°2-2 mai 2005* accessible en consultant le site : www.ineris.fr/index.php?module=doc&action=getFile&id=2186

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.

Phénylpropane ou **cumène** ou **isopropylbenzène**: un composé organique aromatique, présent notamment dans le pétrole brut et raffiné ainsi dans certains végétaux et microorganismes qui le synthétisent par la voie de biosynthèse du shikimate, pour produire des substances aromatiques

diverses, classées dans les familles des monoterpènes, des sesquiterpènes, des triterpènes et leurs dérivées. Sa formule chimique développée est extraite du site : fr.wikipedia.org/wiki/Isopropylbenzène



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/phyto remed/ . Pour la contamination par les métaux en général, on parle aussi de phytoextraction.

Dans ce processus de phytoextraction, la plante absorbe les métaux lourds par la racine 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 ainsi récupérer les métaux de ces plantes.

Pour plus de détails, voir le site : www.biofondations.gc.ca/francais/View.asp?x=742 . Enfin Louis-Marie Houdebine traite de la phytoremédiation au moyen des OGM dans une note que l'on peut consulter sur le site : www.ircm.qc.ca/bioethique/obsgenetique/zoom/zoom_05/z_no21_05/z_no21_05_01.html

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** = **O**rganisme **G**énétiquement **M**odifié. Un transgène peut être conçu et réalisé à partir d'une ou de plusieurs espèces différentes.

Références bibliographiques

Bizily S, Rugh C and Meagher R. Phytoremediation of hazardous organomercurials by genetically engineered plants. *Nature Biotech.* 2000, 18, 213-5.

Caler M, Buxton D and Vogel K. Genetic modification of lignin concentration affects fitness of perennial herbaceous plants" *Theor Appl Genet* 2002, 104,127-31

Jouananin L, Goujon T, Nadai V, et al. Lignification in transgenic poplars with extremely reduced caffeic acid O-methyl transferase activity. *Plant Physiology* 2000, 123,1363-73

Kramer U and Chardonens A. The use of transgenic plants in the bioremediation of soils contaminated with trace elements. *Appl Microbiol Biotechnol.* 2001, 55,661-72

Pilate G, Guiney E, Holt K, et al. Field and pulping performance of trees with altered lignification" *Nature Biotech* 2002, 20,607-13.

1 Pilon-Smits E and Pilon M. Breeding mercury-breathing plants for environmental cleanup. *Trends in Plant Science* 2000, 5,235-6.

Rugh C, Senecff J, Meagher R and Merkle S. Development of transgenic yellow poplar for mercury phytoremediation. *Nature Biotech* 1998, 16, 925-6.