

PHYTOREMÉDIATION ET PHYTOÉPURATION

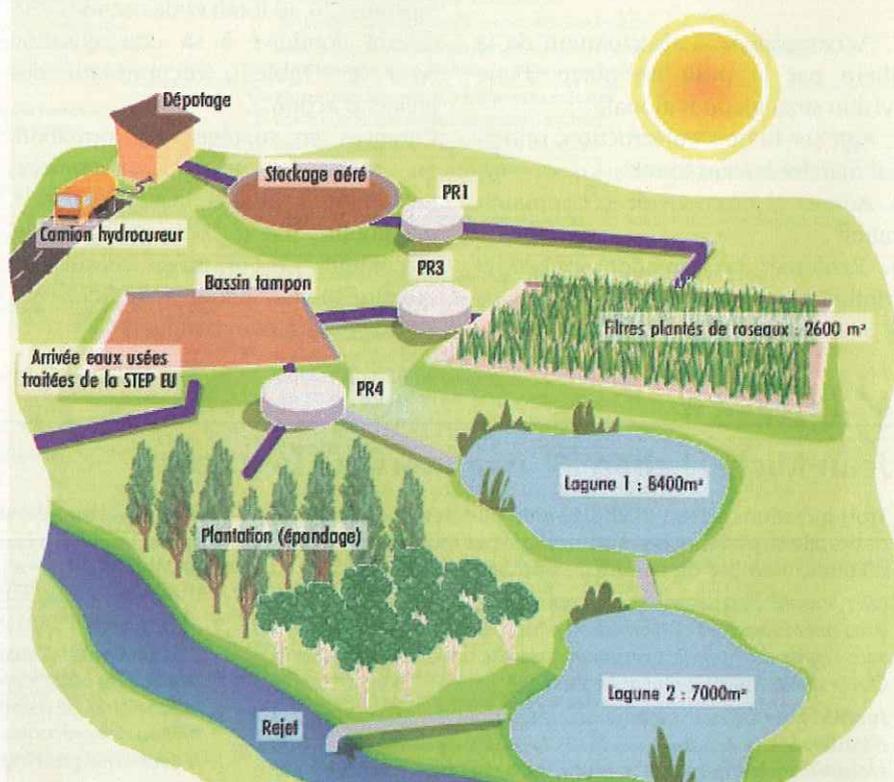
Ouvrir de nouvelles perspectives aux taillis à courtes rotations

Encore peu développées en France, les techniques de dépollution et d'épuration par les plantations forestières denses pourraient se développer dans les années à venir. Leur dimension environnementale et les avantages socio-économiques qu'elles sont censées apporter plaident en leur faveur, d'autant plus que leur recours a été inscrit dans les lois du Grenelle de l'environnement. Jean-Yves Gautry et Alain Bailly présentent les expérimentations conduites par FCBA dans ce domaine.

La France comptait en 2010 plus de 250.000 anciens sites industriels ayant accueilli une activité polluante (hydrocarbures, métaux lourds ou ETM (1), solvants, etc.). Ces sites sont susceptibles de créer des nuisances ou des risques particuliers pour l'homme et l'environnement. C'est pourquoi les pouvoirs publics ont engagé une action pour environ 4.000 d'entre eux, pouvant conduire à des opérations de dépollution. Parmi les techniques envisagées figure la phytoremédiation, une technologie végétale basée sur les capacités des plantes à extraire ou à bloquer des polluants. "Ses principaux avantages sont de ne pas modifier l'environnement parce qu'elle utilise des processus naturels, et de coûter de 10 à 100 fois moins cher que les méthodes conventionnelles d'excavation et de traitement", explique FCBA (source Ademe 2006). Ses points faibles

✓ ZOOM

L'exemple de Négrepelisse



FCBA assure le suivi expérimental d'une plantation de quatre hectares de TCR de peupliers et d'eucalyptus, située à proximité de la station d'épuration de la commune de Négrepelisse (Tarn-et-Garonne). Cette plantation sera bientôt irriguée avec les eaux usées épurées selon la technique des filtres plantés de roseaux (FPR). Cette expérimentation présente la particularité d'utiliser les arbres comme traitement tertiaire des matières de vidange avant rejet dans le milieu naturel, et constitue en cela une première du genre en France. L'irrigation va démarrer au printemps 2012 et les premiers résultats devraient être connus en 2013/2014.

sont la lenteur du procédé de décontamination (plusieurs années) et l'absence de filière globale incluant le traitement des plantes jusqu'au stade ultime. Cette technique a été expérimentée sur le peuplier cultivé en taillis, dans le cadre du projet de recherche Phytopop.

Par rapport aux espèces annuelles utilisables en phytoremédiation (dites plantes hyper-accumulatrices), les espèces ligneuses ont l'avantage de produire une plus grande quantité de biomasse et d'explorer le sol sur une plus grande profondeur. D'autre part,



Un exemple de récolte en Bretagne de TCCR de saules plantés à l'origine pour traiter des effluents.

la valorisation énergétique de ces taillis dans des chaudières adaptées représente une vraie alternative par rapport aux cultures agricoles à vocation alimentaire. Le peuplier est d'autre part un bon compromis sur trois caractéristiques : vitesse de croissance, rusticité et facilité de culture. La pollution de l'eau résultant des usages domestiques (toilettes, cuisine, machines à laver, etc.) représente une autre forme de pollution, plus diffuse mais non moins dommageable à l'environnement. Elle représente environ 150 litres d'eau usée par habitant et par jour, sous forme de matières organiques, d'azote et de phosphore auxquels s'ajoutent des milliards de germes et des ETM. Après passage dans une unité de traitement, l'eau est restituée au milieu naturel suivant des normes de rejet fixées par la législation. A ce stade, l'idée d'utiliser des eaux usées épurées pour irriguer des cultures constitue une étape supplémentaire dans la protection de la ressource en eau.

✓ ZOOM

Le projet Phytopop

Le projet Phytopop est financé par l'Agence nationale de la recherche dans le cadre d'une action Precodd. Coordonné par l'université de Nancy, ce projet a associé six partenaires (FCBA, Cofely, le CEA de Cadarache, le CNRS de Gif-sur-Yvette et l'Inra d'Orléans). Démarré en 2007, ce projet s'est terminé en juin dernier. Outre l'évaluation de l'efficacité dépolluante de différents cultivars de peuplier, deux autres volets ont été étudiés dans ce projet : d'abord la valorisation bioénergétique de la biomasse produite avec tests de combustion pour donner une indication sur le cheminement des ETM, puis les mécanismes impliqués dans le transport et le stockage des ETM dans les organes pérennes.

Les taillis à courtes rotations peuvent être ce dernier étage de traitement avant le rejet 0, et procurer une quantité non négligeable de biomasse pour différents usages, dont les bioénergies. FCBA s'intéresse depuis plusieurs années à la biomasse produite par les taillis sur ces sols dégradés ou irrigués avec des effluents peu chargés. Plusieurs dispositifs ont été mis en place avec pour objectif de mesurer l'efficacité dépolluante et d'apporter des réponses globales sur la faisabilité du système.

Exploiter les potentialités du peuplier

L'objectif général du projet est de mieux exploiter les potentialités du peuplier dans le domaine de la phyto-

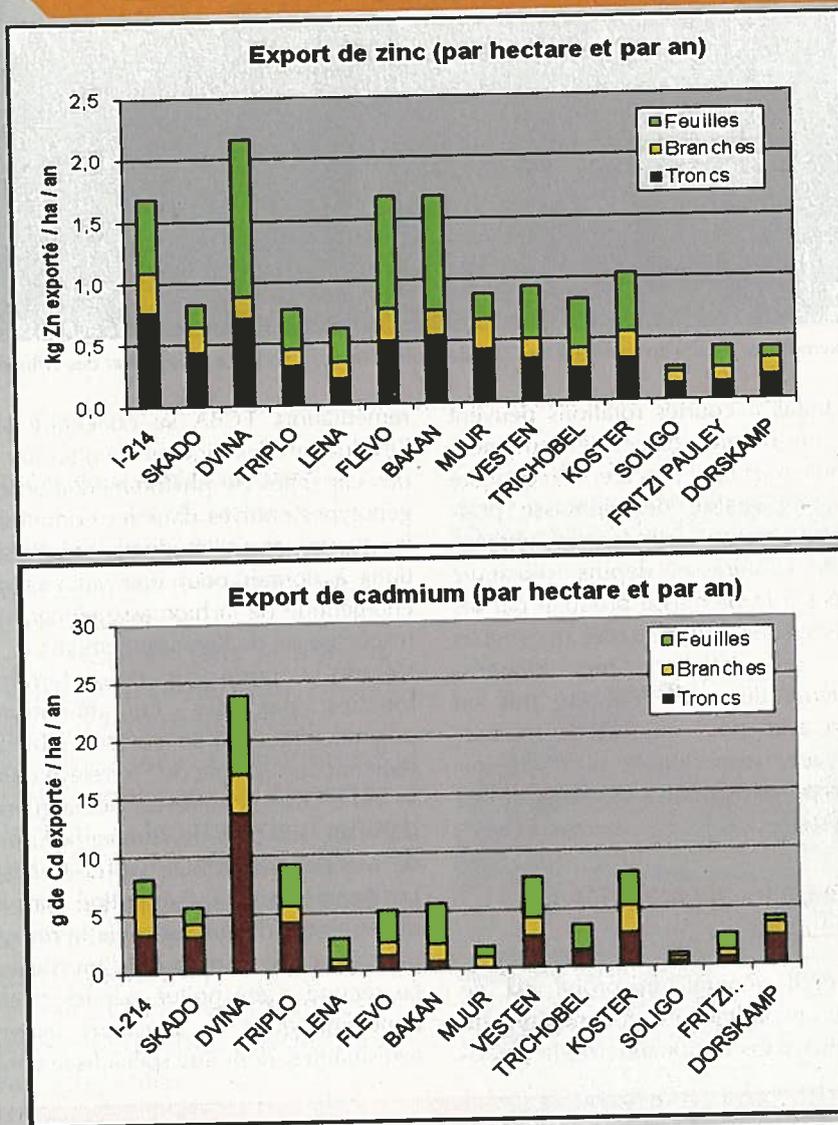
remédiation. FCBA se concentre sur l'évaluation des itinéraires culturaux et des capacités de phytoremédiation de génotypes cultivés dans les conditions françaises ; et sur l'étude des préconisations à donner pour une valorisation énergétique de la biomasse efficace et respectueuse de l'environnement.

L'étude a porté sur deux terrains touchés par des contaminations polymétalliques, l'un sur sol sableux (Bessancourt, plaine de Pierrelaye dans le Val-d'Oise), l'autre sur sol argileux (Leforest, site près de l'ancienne usine de Métaeurop dans le Pas-de-Calais). Le premier site a été pollué par le déversement d'eaux usées de la région parisienne pendant près d'un siècle. Le second a été pollué par les rejets atmosphériques de plusieurs usines avoisinantes, dont une spécialisée dans

Origine botanique des cultivars utilisés sur les essais de terrain du projet Phytopop (P = populus, P. x = peuplier hybride)

Nom du clone	Espèce botanique
Bakan	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>
Fritzi Pauley	<i>P. trichocarpa</i>
Muur	<i>P. x euramericana</i>
Skado	<i>P. maximowiczii</i> x <i>P. trichocarpa</i>
Trichobel	<i>P. trichocarpa</i>
Vesten	<i>P. x euramericana</i>
Dvina	<i>P. deltoides</i>
I-214	<i>P. x euramericana</i>
Lena	<i>P. deltoides</i>
Soligo	<i>P. x euramericana</i>
Triplo	<i>P. x euramericana</i>
Dorskamp	<i>P. x euramericana</i>
Flevo	<i>P. x euramericana</i>
Koster	<i>P. x euramericana</i>

Capacités d'exportation de zinc et de cadmium (mg/kg de matière sèche) des 14 cultivars de peupliers sur le site de Pierrelaye, parcelle TTCR



le traitement des métaux non ferreux. Ces deux sites sont fortement contaminés par le plomb, le cadmium, le zinc et le mercure (uniquement sur le site de Bessancourt pour ce dernier).

Sur le terrain, le choix s'est arrêté sur quatorze cultivars de peupliers appartenant à plusieurs espèces dont la plupart sont utilisés en populiculture classique. Ces différents cultivars ont été conduits selon deux itinéraires de taillis :

- taillis à courtes rotations (TCR) : plantation à 1.000 plants/ha, exploitation de petits billons vers 7/8 ans ;
- taillis à très courtes rotations (TTCR) : plantation à 10.000 plants/ha, exploitation de petites perches vers 3/4 ans.

Le potentiel de phytoremédiation du peuplier a pu être évalué sur la partie TTCR du site de Bessancourt à partir des paramètres du sol et de la biomasse. Les teneurs en ETM initiales du sol ont été déterminées à partir d'un "point

zéro" puis après récolte, et cela dans chaque plateau élémentaire développé sur le site l'expérimentation, en distinguant les éléments facilement extraits par les plantes (phytodisponibles) de ceux retenus dans les matières orga-

niques. Les capacités de phytoextraction des différents cultivars après une rotation ont été obtenues en combinant deux paramètres (biomasse x concentration en ETM) et cela pour chaque compartiment (feuilles, branches, tronc). Enfin, le bois récolté sur sols pollués a été utilisé dans une chaudière expérimentale identique dans son principe à des chaudières industrielles. Les données de biomasse recueillies montrent que les cultivars les plus productifs produisent autant que ces mêmes cultivars dans des contextes non pollués. Le peuplier possède un potentiel accumulateur important de métaux, en particulier le zinc et le cadmium, mais il varie en fonction du cultivar. Ce potentiel est principalement lié à la production de matière sèche mais aussi à la capacité de concentration dans les tissus.

Des cultivars apparaissent plus intéressants pour la phytostabilisation et la production de biomasse peu contaminée. Ce sont des cultivars productifs mais peu accumulateurs. Les analyses révèlent un appauvrissement généralisé de la fraction biodisponible des ETM dans le sol, mais pas d'impact sur la fraction liée aux matières organiques. En utilisant un dispositif de filtration efficace sur les cheminées de chaudières, il est possible de contenir les polluants dans les cendres et de maintenir ainsi les émissions dans l'atmosphère à un seuil très inférieur au seuil réglementaire. Les résultats obtenus après la première récolte de TTCR sont en accord avec ceux rencontrés dans la littérature et confirment des durées de dépollution estimées à plusieurs décennies. Il est toutefois trop tôt pour conclure sur le choix de l'itinéraire le plus approprié

✓ **ZOOM**

Phytoépuration et phytoremédiation ?

Phytoépuration des eaux : cette technique consiste à faire circuler des eaux usées au travers de racines de végétaux qui, en association avec le sol et les micro-organismes, sont capables d'absorber les éléments minéraux issus de la décomposition de la matière organique, mais aussi d'autres catégories de polluants. Dans le cas des taillis à courtes rotations, l'irrigation est faite à partir d'eaux usées épurées.

La phytoremédiation (grec phyto : plante, latin remedium : corriger un méfait) est l'utilisation de plantes vertes et de leur microbiote associé, d'amendement du sol et de techniques agricoles pour éliminer, contenir ou rendre moins toxiques les contaminants environnementaux (Cunningham, 1995). Schématiquement deux stratégies sont développées : soit on cherche à réduire la mobilité des polluants en les stabilisant et les séquestrant (phytostabilisation), soit on réduit leur teneur dans le sol en les absorbant ou en les dégradant (phytoextraction ou phytodégradation).

dans une optique de phytoextraction. FCBA explique que les investigations vont se poursuivre pour estimer notamment l'efficacité de la dépollution lors de la seconde rotation, compte tenu du développement du système racinaire, et la part de polluants stockée dans les racines.

Vers l'irrigation des TCR avec des eaux usées épurées

L'utilisation des eaux usées épurées pour l'irrigation de zones boisées ou d'espaces verts paysagers vise une épuration complémentaire des eaux traitées en station d'épuration avant d'être rejetées dans un cours d'eau. Conduite correctement, cette opération présente un double avantage : atteindre le rejet zéro, objectif qui pourrait devenir obligatoire pour toutes les communes dans les années à venir, et produire une matière première renouvelable et non alimentaire. Les systèmes utilisant les plantations forestières comme traitement tertiaire des eaux usées ont été développés dans des pays où la réglementation impose des rejets nuls dans les eaux superficielles (États-Unis, Australie, Nouvelle-Zélande) et où les déficits hydriques sont avérés. D'autres pays comme la Suède couplent clairement ce traitement à la production d'énergie renouvelable.

Les espèces les plus communément utilisées dans ces systèmes sont réputées exigeantes en eau et en nutriments, azote et phosphore principalement, et aptes à produire des quantités importantes de biomasse. Parmi celles-ci on peut citer les saules, les peupliers et les eucalyptus, mais d'autres espèces dites secondaires ont



Un exemple de récolte en Bretagne de TCR de saules plantés à l'origine pour traiter des effluents.

aussi de fortes potentialités, telles que l'aulne, le séquoia ou le frêne.

La conduite en taillis, par la forte densité des tiges, apparaît comme la sylviculture la mieux adaptée à cet usage, assurant à la fois une bonne épuration et une production importante de biomasse dès les premières années d'implantation. Les retours d'expériences montrent globalement une bonne efficacité dépolluante (demande chimique en oxygène (ou DCO en abrégé), nitrates, phosphates...) par l'absorption par le sol et la végétation (arbres plus végétation d'accompagnement) et une production de bois nettement augmentée. Le fonctionnement d'un tel système peut être perturbé si les principes de base ne sont pas respectés (effluents peu chargés, sol adapté, doses ajustées...). Dans ce cas, on peut assister aux phénomènes suivants : colmatage du sol, augmentation de la salinité du sol, saturation en azote du système.

Les eaux usées provenant des réseaux collectifs et non collectifs sont envoyées dans une station d'épuration, installée à l'extrémité du réseau de collecte.

Ces eaux usées sont ensuite traitées selon plusieurs procédés (primaires, physico-chimiques, biologiques) qui assurent à chaque stade l'extraction des polluants. Les eaux usées ainsi épurées (environ 90% des polluants sont éliminés) contiennent encore des fertilisants comme l'azote et le phosphore, qui peuvent être utilisés à des fins d'irrigation de parcelles de taillis (TCR ou TTCR), plutôt que d'être envoyées dans une lagune de décantation puis dans le lit d'un cours d'eau. En régime d'été, les eaux usées épurées provenant de la station d'épuration s'écoulent dans un bassin tampon, à partir duquel va s'effectuer l'irrigation de la plantation (lire par ailleurs "Zoom : l'exemple de Négrepelisse").

La phytoépuration des eaux usées par les arbres offre des possibilités de développement des taillis sur des terrains dans les communes rurales qui ne rentrent pas en concurrence avec les productions alimentaires.

L'expérimentation conduite par FCBA permettra d'obtenir des informations sur l'impact de cette pratique tant au niveau du sol que sur la quantité et la qualité de la biomasse produite.

✓ ZOOM

Les aspects réglementaires

- Les taillis à courtes et très courtes rotations ont le statut de cultures agricoles dans la mesure où leur cycle de production n'excède pas 20 ans.
- L'arrêté de janvier 1998 pris en application du décret du 8 décembre 1997 définit les règles selon lesquelles les épandages de boues et d'effluents issus du traitement des eaux usées peuvent être effectués sur les sols agricoles.
- L'arrêté du 2 août 2010 "fixe les prescriptions sanitaires et techniques applicables à l'utilisation d'eaux usées traitées à des fins d'irrigation de cultures ou d'espaces verts". C'est la charge organique de l'effluent qui définit le cadre dans lequel peut s'effectuer l'épandage : plan d'épandage (arrêté du 8 janvier 1998) ou demande d'autorisation (arrêté du 2 août 2010).

Dans les deux cas, les opérations sont validées par un arrêté préfectoral.

- La directive Nitrates s'applique également à cet usage des taillis compte tenu de la charge en azote des effluents.

Sd

Source FCBA — Jean-Yves Gautry et Alain Bailly
(1) ETM : Éléments-traces métalliques
(communément appelés métaux lourds).