



# QUELS RÔLES LES PLANTES PEUVENT-ELLES JOUER VIS A VIS DE LA POLLUTION A L'INTERIEUR DES LOCAUX ?

## RESUME

*Cet article met l'accent sur les moyens de remédiation par rapport à la pollution de l'air intérieur. Mettant en avant l'utilisation de procédés naturels pour l'épuration de l'air, le but de cet article est d'aborder les rôles que pourraient jouer les végétaux dans cette thématique. Après avoir rappelé les principes fondamentaux servant de base à l'utilisation des végétaux, il insiste sur les capacités que peuvent présenter les plantes elles-mêmes et non sur les systèmes de traitement de l'air basés sur la rhizofiltration.*

## INTRODUCTION

Nous passons plus de 90% de notre temps à l'intérieur d'un local. Malgré cela, les connaissances sur les différentes nuisances auxquelles nous sommes exposés restent fragmentaires. Cela étant, les travaux réalisés ces dernières années, y compris dans notre région nous permettent de commencer à répondre à nos principales interrogations aussi bien sur la nature des polluants que sur leurs effets et sur les moyens de remédiation. Parmi ces moyens, beaucoup font appel à des processus physico-chimiques que ce soit en améliorant la ventilation ou en favorisant les dégradations des polluants. Avec l'accroissement de l'intérêt du grand public pour des méthodes alternatives, naturelles, dites aussi écologiques, dans la conception et l'équipement du logement, est née l'utilisation de procédés naturels pour l'épuration de l'air, à l'instar de ce qui existait déjà pour le traitement des effluents liquides.

Le but de cet article est d'aborder les rôles que pourraient jouer les végétaux dans cette thématique. Nous insisterons sur les capacités que peuvent présenter les plantes elles-mêmes et non sur les systèmes de traitement de l'air basés sur la rhizofiltration.

## Un peu d'histoire.

Au niveau scientifique, les premiers travaux importants sur l'utilisation des végétaux supérieurs dans l'épuration de l'air datent des années 80. Ces expériences ont été menées par la NASA pour la purification de l'atmosphère des engins spatiaux (navettes et stations orbitales). Nous reviendrons dans un paragraphe ultérieur sur les principaux résultats obtenus. Leur auteur, B. WOLVERTON (1992-1985), a développé une méthode afin d'évaluer les capacités d'épuration d'une cinquantaine de plantes d'intérieur communes. Il a d'ailleurs fondé en 1990 une société de service qui propose différentes solutions, essentiellement basées sur l'emploi des végétaux pour le traitement de l'eau et de l'air. Depuis cette époque le nombre de travaux scientifiques s'est agrandi avec, pour la très grande majorité d'entre eux, les mêmes objectifs d'évaluation des capacités d'épuration et le devenir des polluants au sein des végétaux.

## I - LES PRINCIPES FONDAMENTAUX SERVANT DE BASE A L'UTILISATION DES VEGETAUX.

Tous ces travaux portent sur le principe général de phytoremédiation (le préfixe phyto désignant la plante). Nous pouvons le définir comme l'utilisation des plantes pour l'extraction, l'accumulation et/ou la dégradation de polluants du milieu où elles se développent. La phytoremédiation est un domaine connu et utilisé, par exemple, dans le cas de sols pollués par les éléments traces métalliques. C'est une notion plus originale en ce qui concerne l'épuration de l'air. Bien entendu, il s'agit d'un concept large. Il implique différents processus qui

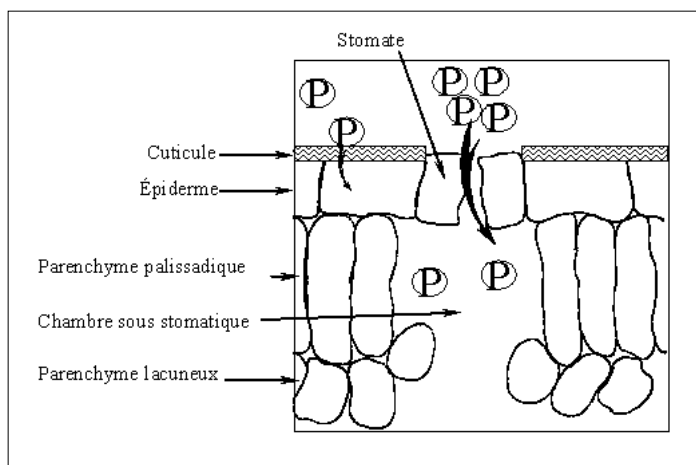
1. Laboratoire de Botanique, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille.

2 Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, Département de Climatologie, Aérodynamique, Pollution et Epuration. Nantes.

peuvent, en fonction des besoins, faire appel à différentes voies physiologiques. Si l'on utilise des plantes pour extraire et accumuler les polluants on parlera de phytoextraction et de phytoaccumulation. Au sein de la plante, les polluants seront accumulés ou dégradés (on parle alors de phytodégradation). Justement, ce qui se passe au sein des plantes reste un sujet central de cette thématique. En effet l'utilisation des plantes sera différente si la plante accumule le polluant dans ses tissus ou au contraire si elle le dégrade complètement pour intégrer les produits de dégradation dans son propre métabolisme.

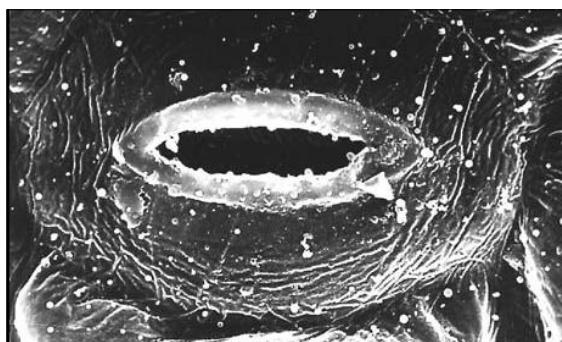
## II - QUE PEUT-IL SE PASSER AU SEIN DES PLANTES ?

Tout d'abord, un polluant atmosphérique peut pénétrer dans une plante par deux voies possibles. La première est la voie racinaire, après la mise en solution du composé dans l'eau du sol. Nous n'insisterons pas sur cette voie, qui implique avant l'entrée du polluant dans la plante tout un ensemble de réactions physico-chimiques et biologiques dans le sol (avec la participation des microorganismes). La deuxième voie concerne l'entrée des polluants par les feuilles. A ce niveau, deux autres voies sont possibles : par les stomates ou suite à un dépôt de surface (figure 1).

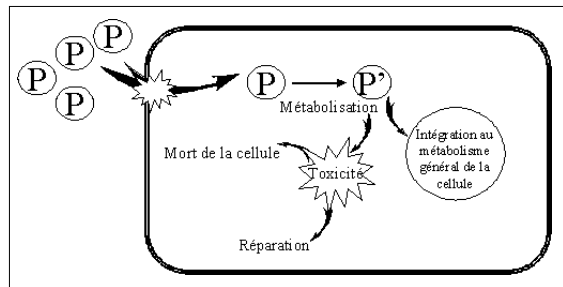


**Figure 1 : coupe transversale d'une feuille. Ce schéma résume les différentes voies d'entrée des polluants dans les feuilles.**

Les stomates sont des orifices situés essentiellement sur l'épiderme foliaire des végétaux et qui sont nécessaires pour la respiration, la photosynthèse et la régulation hydrique. C'est donc grâce à ces stomates que les échanges de gaz entre la plante et l'atmosphère ont lieu (photo 1).

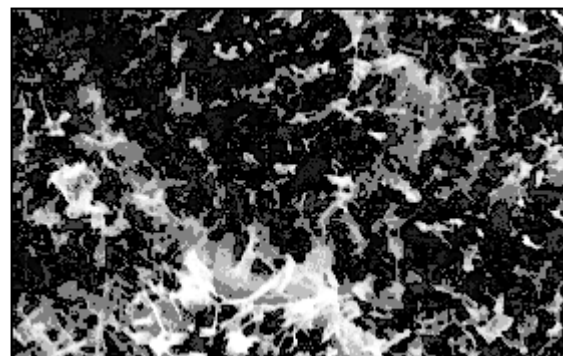


Tous les polluants ne pourront entrer par cette voie. Seuls l'emprunteront, les composés très volatils de faible poids moléculaire et souvent, solubles dans l'eau (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, CO, formaldéhyde, benzène, toluène...). Une fois dans la cavité sous-stomatique, les polluants entrent en contact avec l'eau qui tapisse les parois. En phase liquide, ils pourront entrer dans les cellules pour y être métabolisés (au sens large du terme, y compris y exercer des effets délétères) ou éventuellement y être stockés (figure 2).



**Figure 2 : représentation schématisée simplifiée des différents devenir des polluants absorbés au sein des cellules.**

Les polluants déposés à la surface des feuilles entrent en contact avec la cuticule. Cette couche lipidique continue (sauf au niveau des stomates) constitue une barrière de protection ayant de multiples rôles pour la plante. Il faut retenir que cette cuticule n'est pas seulement en surface mais possède un relief et des prolongements vers l'intérieur de l'épiderme (photo 2).



**Photo 2 : exemple de la surface cuticulaire d'une feuille, vue en microscopie électronique à balayage (Photo, Université du Littoral, MREID)**

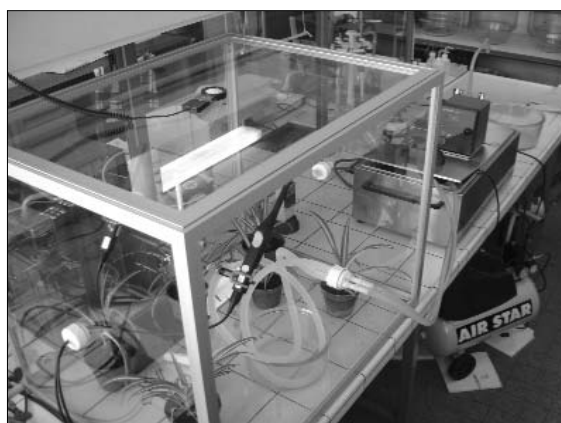
Les polluants peuvent migrer au sein de cette cuticule sous l'influence de nombreux paramètres : température, nature du polluant... Ce sont les composés de volatilité intermédiaire (par rapport à ceux qui entrent par les stomates), les composés de haut poids moléculaire et ceux sous forme de poussière et d'aérosol qui se déposeront préférentiellement sur la cuticule.

**Photo 1 : Stomate, vue en microscopie électronique à balayage (Photo, D. Cuny)**

Comme nous le verrons dans le paragraphe suivant, les travaux ont essentiellement porté sur les performances épuratoires des végétaux en conditions contrôlées. Il serait impossible ici de faire le tour des travaux sur les effets de polluants sur les végétaux (notamment les polluants inorganiques gazeux). La majorité d'entre eux a été menée dans le contexte de la pollution de l'air extérieur. Beaucoup de résultats restent transposables à la problématique de l'air intérieur. En ce qui concerne les polluants organiques, nous connaissons à l'heure actuelle certaines voies métaboliques mises en jeu lors de l'absorption de composés, surtout les herbicides mais aussi le formaldéhyde, le benzène, le toluène<sup>1</sup>. Ainsi, ces composés pénètrent dans les cellules foliaires et y sont métabolisés. Les réactions de détoxification aboutissent à la formation de produits qui intègrent le métabolisme cellulaire. Cependant, ces métabolites peuvent posséder leur toxicité intrinsèque (l'acide muconique formé par les réactions de détoxification du benzène en est un exemple, cf. UGREKHELIDZE et al. (1997). Ces réactions s'accompagnent également de différents mécanismes connexes, qui constituent un stress pour la cellule végétale. Nous citerons comme exemple, l'induction du système enzymatique Cyt. P450 qui peut générer des espèces réactives de l'oxygène à la base d'un stress oxydant dans la cellule. Les effets de ces mécanismes ne sont encore que très partiellement connus. Ainsi, les travaux sur l'utilisation des végétaux supérieurs dans la dépollution de l'air intérieur doivent s'accompagner de recherches physiologiques, ce qui a très rarement été le cas.

### III - QUELS SONT LES PRINCIPAUX RESULTATS ET LES LIMITES DES ETUDES MENEES SUR LES PERFORMANCES EPURATOIRES DES PLANTES ?

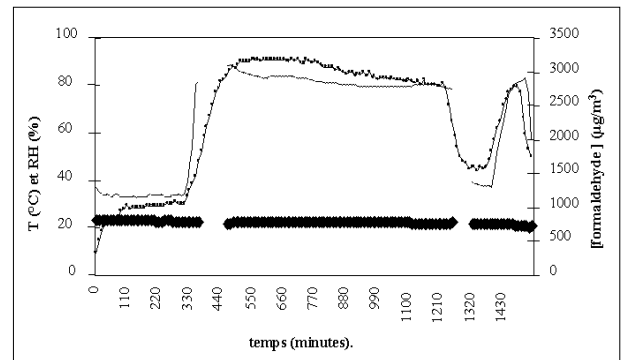
La très grande majorité des études dans ce domaine a utilisé des expositions en enceintes contrôlées. Il s'agit, le plus souvent, d'enceintes en verre, de volume variable (de 100 l à 1 m<sup>3</sup>) où les paramètres environnementaux, y compris les concentrations en polluant, sont contrôlés. L'injection des polluants peut se faire en une fois ou en continu (mode dynamique). Le brassage de l'air dans l'enceinte est assuré par un ventilateur. La photo 3 présente l'enceinte utilisée par notre équipe. L'apparente homogénéité des méthodes ne doit pas masquer la disparité des techniques et des protocoles utilisés.



<sup>1</sup> Pour les lecteurs désirant approfondir ce thème, nous pouvons citer les travaux de Giese et al. (1994) ou de schmitz et al. (2000) pour le formaldéhyde et ceux de Ugrekheldze et al. (1997) et de Korte et al. (2000) pour les autres polluants organiques.

Différents paramètres environnementaux sont contrôlés : humidité relative, température, [CO<sub>2</sub>], luminosité et concentration en polluant.

Ceci rend les comparaisons délicates et les agglomérations de résultats limitées. Certains paramètres environnementaux ne sont pas étudiés ou leurs variations ne sont pas montrées. Ceci est particulièrement important car ils agissent directement sur les concentrations de polluant. Ainsi, notre équipe a mis en évidence que les simples variations d'humidité dans l'enceinte influent significativement sur les concentrations de formaldéhyde (Figure 3 selon RZEPKA et al., 2005).



**Figure 3 : influence de l'humidité relative sur les concentrations de formaldéhyde à l'intérieur de l'enceinte.**

La principale variable observée est la diminution de la concentration en polluant dans l'enceinte au cours du temps (très rares sont les travaux qui ont dosé l'éventuelle accumulation du polluant dans les plantes). D'une manière générale, cette diminution est observée avec des rendements différents en fonction des plantes et des polluants. Ainsi, BUTLEAU (2004) présente un tableau des vitesses d'élimination du formaldéhyde pour 27 espèces différentes, avec des résultats allant de 1863 µg.h<sup>-1</sup> (pour *Nephrolepis exaltata* « *Bostniensis* ») à 188 µg.h<sup>-1</sup> (pour *Aloe barbandensis*). De la même manière, CORNEJO et al. (1999) ont observé une sélectivité pour *Kalanchoe blossfeldiana* qui épure l'air enrichi en benzène mais pas celui enrichi en toluène. Pour le benzène leurs résultats s'étendent de 8.5 µg de benzène épuré en 24 heures par gramme de feuille (avec *Pelargonium domesticum*) à 1.2 µg en 24h par gramme de feuille (pour *Chlorophytum comosum*). Une cinquantaine de plantes a été couramment utilisée dans la littérature. Le nombre de polluants est plus restreint, on retrouve essentiellement : le formaldéhyde, le benzène, le toluène, le monoxyde de carbone ou encore le trichloréthylène. Comme annoncé en introduction de cet article, nous focalisons notre attention sur les plantes. Cependant, nous citerons ici l'expérience de BUTLEAU (2004) qui a comparé les performances de différentes configurations. Ces configurations étaient : les plantes en pots, les plants sans feuilles dans les pots, les plants en culture hors sol (sans terre ni microorganismes), les feuilles seules, le sol seul, stérilisé ou non. Les différentes expériences ont montré que c'est le système-

**Photo 3 : enceinte de 300l contenant 6 plants de *Chlorophytum comosum* exposés à du formaldéhyde.**

me le plus complet qui est le plus efficace, à savoir la plante en terre. Différents travaux se sont portés sur la rhizofiltration seule. Les résultats précédents tendent à montrer qu'il faut le « mini écosystème » complet. Compte-tenu des relations étroites qu'entretiennent les plantes avec les microorganismes du sol, ces résultats sont assez logiques.

Les concentrations utilisées par les différents auteurs sont très souvent très supérieures à ce qui est communément rencontré dans l'habitat. Cette méthodologie est habituelle pour ce genre de travaux. Elle permet de travailler en se basant sur des hypothèses majorantes (qui peut le plus, peut le moins !) et de raccourcir les temps d'exposition. Cela offre également l'avantage de travailler dans une gamme de concentrations largement au dessus des seuils de détection des appareils et de fournir des données fiables sur les décroissances observées (liées à la sensibilité des appareils). Par contre, ces stratégies se heurtent à certaines limites. Ainsi, comme nous l'avons exposé dans les paragraphes précédents, une part des mécanismes d'absorption repose sur un équilibre qui se crée entre la feuille et l'atmosphère. En utilisant de fortes concentrations, l'équilibre est en quelque sorte déplacé et forcé. De ce fait, la transposition des résultats aux faibles concentrations ne peut être linéaire. C'est important car il s'agit là, rappelons-le, d'évaluer des performances épuratoires. De la même manière, beaucoup de travaux portant sur les effets des polluants ont montré que les mécanismes cellulaires sont différents en fonction des concentrations. Certains d'entre eux sont stimulés, inhibés ou induits différemment en fonction de la quantité de polluant présente. Enfin, nous pouvons observer que les travaux reposent sur des expositions courtes. Certes, il est difficile de maintenir des conditions uniformes sur de longues périodes, mais les cinétiques couramment utilisées sont de quelques heures (jusqu'à 72). Si l'on dresse un bilan global des travaux, nous sommes essentiellement dans un contexte d'exposition (d'intoxication) aiguë. Or, la place des végétaux vis-à-vis de la pollution de l'air intérieur ne peut être celle-ci. A la vue des connaissances actuelles, en cas de doses massives dans l'habitat, les plantes n'auraient qu'un rôle mineur et insuffisant. Par contre, elles prendraient toute leur place dans un contexte de pollutions chroniques (faibles doses sur le long terme). On voit bien ici le glissement que doivent suivre les travaux de recherche sur ce thème afin de se placer dans un contexte plus proche de la réalité.

Cette transposition des résultats de laboratoire en conditions réelles (in situ) n'a que très rarement été tentée selon une méthodologie stricte. La plupart des auteurs utilisent directement leurs résultats (les performances épuratoires étant souvent exprimées en fonction de l'aire foliaire) en appliquant une règle de proportionnalité linéaire. Certains travaux ont montré que cette approche reste à prendre avec recul. Ainsi, DINGLE *et al.* (2000) ont étudié l'élimination du formaldéhyde dans différents locaux (d'une vingtaine de m<sup>3</sup>). Ils ont exposé différentes espèces en apportant dans les pièces de plus en plus de plants (0 au jour 1 à 20 plants au jour 9). Ils ont ainsi montré qu'avec 5 ou 10 plants les taux de formaldéhyde n'étaient pas différents de ceux dans la pièce témoin. L'apport de 20 plants diminue les concentrations de 11%. Cependant, le trop faible nombre d'études sur ce sujet ne permet pas de conclure sur ce point. Simplement, il doit nous inciter à poursuivre les travaux.

## CONCLUSION

L'utilisation des plantes pour l'épuration de l'air intérieur connaît actuellement un intérêt croissant. A la faveur d'une perception accrue des risques potentiels présents dans l'habitat et d'une sensibilité écologique plus forte, cette question s'ouvre vers de nouvelles perspectives. Scientifiquement, beaucoup d'arguments sont en faveur d'une certaine efficacité, mais ces mêmes arguments restent encore trop hétérogènes et partiels. De plus, les méthodologies employées ne permettent pas d'avoir assez de recul sur le long terme. Enfin, le manque criant de données sur les effets des polluants intérieurs sur les végétaux ne permet pas non plus d'envisager une application « grand public » dans l'immédiat. L'utilisation de protocoles plus standardisés incluant des expositions à long terme et en conditions réelles (dans la limite du possible) et prenant en compte les effets des substances sur les plantes est nécessaire. Ce sont justement les principaux objectifs du programme PHYTAIR sur ce sujet, initié au sein de nos équipes et financé, dans notre région, par le Conseil Régional Nord-Pas de Calais, l'ADEME et les fonds FEDER.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES :

- BULTEAU G., 2004, *Définition d'une méthodologie d'évaluation des procédés d'élimination des composés organiques volatils de l'air intérieur*, Thèse de Doctorat en Sciences pour l'ingénieur, spécialité génie des procédés, soutenue le 10/12/04, Université de Nantes, 228 p.
- CORNEJO J.J., MUNOZ E.G., MA C.Y. & STEWART A.J., 1999, "Studies on the decontamination of air by plants", *Ecotoxicology*, 8, p.311-320.
- DINGLE P., TAPSELL P. & HU S., 2000, "Reducing formaldehyde exposure in office environments using plants", *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 64, p.302-308.
- GIESE M., BAUER-DORANTH U., LANGEBARTELS C. & SANDERMANN H. Jr., 1994, "Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) and by soybean (*Glycine max* L.) cell-suspension cultures", *Plant Physiology*, 104, p.1301-1309.
- KORTE F., KXESITADZE G., UGREKHELIDZE D., GORDEZIANI M., KHATISSASHVILI G., BUADZE O., ZAALISHVILI G. & COULSTON F., 2000, "Organic toxicants and plants (review)", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 47, p.1-26.
- RZEPKA M.A., CUNY D., BULTEAU G., LAKE A., CAZIER F., VAN HALUWYN C., 2005, "Accumulation and effects of formaldehyde in plants perspective for an use for indoor air treatment ?" in: *Third international conference on plants and environmental pollution*; Lucknow, Inde, 28/11/05 - 2/12/05.
- SCHMITZ H., HILGERS U. & WEIDNER M., 2000, "Assimilation and metabolism of formaldehyde by meaves appear unlikely to be a value for indoor air purification", *New Phytologist*, 147 (2), p.307-315.
- UGREKHELIDZE D., KORTE F. & KVESITADZE G., 1997, "Uptake and transformation of benzene and toluene by plant leaves", *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 37, p.24-29.
- WOLVERTON B., C. & WOLVERTON J., 1992, *Interior plants and their role in indoor air quality : an overview*, Wolverton Environmental Services.
- WOLVERTON B. C., MCDONALD R. C. & MESICK H. H., 1985, "Foliage plants for indoor removal of the primary combustion gases carbon monoxide and nitrogen dioxide" *Journal of the Mississipi Academy of Sciences*, 30, 1-8.