

Épuration de l'air à l'intérieur des locaux par les plantes : état des lieux, limites et perspectives

Marie-Amélie RZEPKA, Damien CUNY

Université de Lille 2 – EA 2690, Laboratoire de Botanique
Faculté des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques
3, rue du Professeur Laguesse – 59006 Lille Cedex
marie-amelie.rzepka@etu.uni-lille2.fr

Nous passons près de 90 % de notre temps à l'intérieur de locaux où l'atmosphère contient des polluants qui présentent des risques pour la santé. Plusieurs solutions sont d'ores et déjà proposées afin d'en réduire les concentrations : aération/ventilation, utilisation raisonnée des produits domestiques, entretien des installations à combustion... Parmi ces solutions, s'est intégrée l'utilisation des végétaux supérieurs dans des systèmes de bioépuration. Ils s'ajoutent aux différentes solutions techniques d'épuration de l'air intérieur actives, principalement basées sur des réactions physico-chimiques, comme par exemple la photocatalyse.

Le but de cette communication est de présenter les principaux travaux concernant l'évaluation des capacités d'épuration de l'air intérieur par les végétaux supérieurs et leurs utilisations. Nous présentons également les principales limites de ces travaux, de l'utilisation des végétaux, ainsi que quelques perspectives de recherches.

Bref historique et premiers résultats

Historiquement, les expériences qui, encore à l'heure actuelle, font référence dans ce domaine sont celles de Wolverton. Elles ont été menées, à la base, dans le cadre de recherches sur l'épuration de l'air (mais aussi de l'eau) de véhicules spatiaux (notamment à partir du programme Skylab). Ainsi, Wolverton présenta un projet d'une station orbitale équipée d'un module spécialisé dans le traitement de l'air et de l'eau à l'aide de systèmes associant des plantes et des micro-organismes [1]. Même s'ils n'ont pas connu d'applications dans le domaine spatial, il est clair que ces travaux ont permis d'obtenir les premiers résultats à grande échelle sur ce sujet, aussi bien par le nombre de plantes testées (au moins une cinquantaine) que par celui des polluants (parmi lesquels : le formaldéhyde, le benzène, les xylènes, le trichloréthylène, le CO, ainsi que certaines substances responsables d'odeurs dans les locaux...) [2, 3]. Les principaux enseignements que nous pouvons en tirer sont que, au cours d'études en laboratoire, les plantes présentent des capacités d'élimination des polluants. Certains abattements obtenus sont importants comme par exemple, *Nephrolepis exaltata* qui élimine 1863 µg de formaldéhyde par heure ou encore *Crassula portulaca* qui élimine 724,9 µg de benzène par m² de feuillage par jour [4, 5]. Cependant, les résultats ne sont pas homogènes car il existe de

grandes disparités interspécifiques. De plus, les performances varient pour la même espèce exposée à divers polluants. Ainsi, il existerait une certaine spécificité du couple plante/polluant.

Les méthodologies couramment employées et leurs principales limites

La très grande majorité des travaux utilise des expositions en laboratoire au sein d'enceintes en verre, de volume variable (de 100 L à 1 m³) où les paramètres environnementaux, y compris les concentrations des polluants, sont contrôlés. L'injection des xénobiotiques peut s'y faire en une fois ou en continu (mode dynamique), les expositions étant exclusivement réalisées avec un seul polluant. Le brassage de l'air dans l'enceinte est assuré par un ventilateur. Les temps d'expositions sont également variables, d'environ 10 heures [6] à plusieurs jours [7]. La principale variable observée est la diminution de la concentration des polluants dans l'enceinte au cours du temps (très rares sont les travaux qui ont dosé l'éventuelle accumulation du polluant dans les plantes).

L'apparente homogénéité des méthodes ne doit pas masquer la disparité des techniques et des protocoles utilisés. Ceci rend les comparaisons délicates et les agglomérations de résultats limitées. Certains paramètres environnementaux ne sont pas étudiés ou leurs variations ne sont pas décrites dans les publications. Ceci est particulièrement important car ils peuvent agir directement sur les concentrations de polluants [8]. Ainsi, par exemple, notre équipe a mis en évidence que les variations d'humidité dans l'enceinte influent significativement sur les concentrations de formaldéhyde [9].

Les concentrations utilisées par les différents auteurs sont souvent très supérieures à ce qui est communément rencontré dans l'habitat (par exemple 15 à 18 ppm de formaldéhyde [10]). Cette méthodologie est habituelle pour de telles expériences car elle permet de travailler en se basant sur des hypothèses majorantes et de raccourcir les temps d'exposition. Elle offre également comme avantages de faciliter la manipulation des polluants, de travailler avec des concentrations largement supérieures aux seuils de détection des appareils permettant ainsi de fournir des données fiables sur les décroissances observées. Par contre, ces stratégies se heurtent à certaines limites. En effet, les mécanismes d'absorption reposent sur un équilibre qui se crée entre la feuille et l'atmosphère. En utilisant de fortes concentrations, cet équilibre est, en quelque sorte, déplacé et forcé. De ce fait, la déclinaison des résultats aux faibles concentrations ne peut être, *a priori*, considérée comme linéaire.

De même, la transposition des résultats de laboratoire aux conditions réelles (dans les locaux) n'a que très rarement été envisagée 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. Par exemple, Liu *et al.* extrapolent directement leurs résultats (obtenus à partir de la fumigation de plantes à 150 ppb de benzène dans des enceintes de 75,5 L) à une pièce de 25,5 m³ contaminée à la même concentration [4]. Ces auteurs calculent que l'utilisation d'espèces telles que *Crassula portulaca*, *Hydrangea macrophylla* ou *Cymbidium Golden Elf* (avec une surface foliaire de 1 m²) permettrait un abattement total du benzène en une durée comprise entre 45 minutes et 1 h 20. De nombreuses limites biologiques apparaissent face à ce type de transposition directe, nonobstant le manque de réalisme par rapport aux paramètres importants concernant la pièce (sources et flux de polluants, performances de la ventilation...). D'autant plus que d'autres travaux montrent que ce type d'approche est à prendre avec recul. Ainsi, Dingle *et al.* ont étudié l'élimination du formaldéhyde dans plusieurs locaux (d'une vingtaine de m³) [11]. 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 %. Le trop faible nombre d'études sur ce sujet ne permet pas de conclure sur ce point. Simplement, cela nous incite à poursuivre les travaux, notamment en accentuant l'utilisation de la modélisation.

Les premières applications en conditions réelles

Dans leur grande majorité, les dispositifs actuels utilisant les végétaux sont des systèmes de biofiltration. Nous insistons ici sur les principes fondamentaux de tels systèmes qui reposent sur une infiltration de l'air au sein de la rhizosphère. Ils font ainsi essentiellement appel à la dégradation des polluants par les micro-organismes contenus dans le sol ainsi qu'à la surface de matériaux adsorbants. Wolverton et Wolverton *et al.*, ont été les premiers à réaliser différents appareils de taille réduite et bâtis sur la base d'un pot de fleur dont le substrat est enrichi en charbon actif [12, 13]. Ils reposent sur une circulation d'air forcée et s'appuient sur les capacités d'épuration du sol et dans une moindre mesure sur celle des plantes. Ce biofiltre a subi de nombreuses modifications et la version actuellement commercialisée combine une circulation d'air forcé dans des matériaux absorbant, une photocatalyse (utilisation d'UV) et des plantes. Dans ses travaux, Wolverton présente plusieurs déclinaisons de son procédé, adaptées à différentes situations comme l'épuration de l'air de plates-formes complètes de bureaux (avec une connexion sur la ventilation et/ou la climatisation) ou des versions plus légères pour les habitats. Des systèmes plus complexes et de plus grande taille ont vu le jour depuis ces premiers travaux [14]. Ils reprennent des principes similaires en s'appuyant sur des murs végétaux de différentes tailles pour des habitats ou des espaces publics. Le rôle des plantes peut ici

apparaître comme mineur et l'adjonction de matériaux tels que le charbon actif (ou de processus physico-chimiques) renforce cette idée. Cependant, les plantes et les micro-organismes présents à proximité de leurs racines entretiennent des relations étroites qui participent aux performances observées.

Les principales questions qui se posent et les perspectives pour de futures recherches

Comme tous les systèmes, les techniques d'épuration basées sur les végétaux (avec ou non l'intégration de leur substrat) montrent des limites. Dans leur concept, nous avons déjà évoqué le frein qui réside dans l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation des performances d'épuration. Elle limite les comparaisons et rend difficile la synthèse des données. Cela met en évidence la nécessité d'une standardisation méthodologique à l'instar, par exemple, de ce qui est réalisé dans le domaine de l'évaluation des émissions des matériaux.

Des limites ont trait aux plantes elles-mêmes. Certaines possèdent, en effet, des propriétés toxiques (par inhalation, ingestion ou contact). Les travaux réalisés ont généralement évité les variétés présentant un risque trop important. De plus, les espèces utilisées ne fleurissent pas dans les conditions rencontrées dans les locaux, ce qui limite les risques vis-à-vis de l'appareil respiratoire. Il se pose également le problème d'une contamination microbologique (essentiellement bactérienne et fongique) apportée dans les locaux par les plantes et leur substrat. Si l'on considère par exemple les moisissures, il est clair que leur impact sanitaire n'est plus à démontrer [15]. Cependant, compte tenu des nombreuses sources potentielles de contaminations microbiologiques au sein d'un local, la contribution exacte des plantes n'est pas encore clairement estimée et les quelques travaux sur ce thème tendent à montrer qu'elle n'est pas significative. Ce point mérite certainement d'être approfondi. Enfin, les plantes sont capables d'émettre des composés organiques issus de leur métabolisme. Un nombre très important de travaux a été publié sur ce thème concernant les écosystèmes naturels. Ils montrent notamment que les émissions varient qualitativement et quantitativement d'une espèce à l'autre [16]. Il n'existe pas à notre connaissance de travaux similaires concernant les espèces les plus couramment utilisées à l'intérieur des locaux. Ceci constitue également un point à développer, surtout pour les espèces pour lesquelles les performances épuratrices sont importantes.

Une des perspectives de développement nous paraît être l'utilisation des plantes d'intérieur dans la biosurveillance des polluants. La biosurveillance se définit comme « l'utilisation à tous les niveaux d'organisation biologique (moléculaire, biochimique, cellulaire, physiologique, tissulaire, morphologique, écologique) d'un organisme ou d'un ensemble d'organismes pour prévoir et/ou révéler une altération

de l'environnement et pour en suivre l'évolution » [17]. Il s'agit de mettre en évidence les effets des polluants sur des organismes modèles représentatifs des écosystèmes. Ainsi, de très nombreux travaux ont été réalisés sur les effets des polluants atmosphériques extérieurs sur les végétaux. Ceux-ci provoquent des perturbations physiologiques qui s'expriment parfois macroscopiquement (formation de nécroses foliaires dues à l'ozone par exemple) [18, 19]. Différentes recherches ont permis une étude approfondie de ces perturbations par le biais de biomarqueurs cellulaires [20]. Ceux-ci ont en plus l'avantage de mettre en évidence des effets précoces des polluants. Il s'agit notamment des indicateurs de la génération d'un stress oxydant [21-23] ou de génotoxicité [24-26]. Dans le cadre du programme PHYTAIR*, les auteurs de ce texte ont mis en évidence que le benzène, le formaldéhyde et le monoxyde de carbone exercent des effets toxiques sur trois plantes d'intérieur au niveau physiologique (perturbation de la photosynthèse), et cellulaire (génération d'un stress oxydant et effets génotoxiques).

D'un point de vue fondamental ces travaux permettent de comprendre les mécanismes d'absorption, de métabolisation et d'effets des xénobiotiques. Ils connaissent également des applications telle que la mise en évidence des effets des polluants, pouvant être intégrées au sein de démarches d'évaluation des risques environnementaux et sanitaires. Ainsi, même s'il existe relativement peu de travaux dans le domaine de la qualité de l'air à l'intérieur des locaux [6], quelques utilisations du test micronoyaux ont été réalisées dans des habitations ou en milieux professionnels [27-29]. Elles ont permis de mettre en évidence le caractère génotoxique de l'atmosphère au sein de ces différents environnements. Ces recherches confirment que la biosurveillance végétale peut tout aussi bien être utilisée à l'intérieur des locaux qu'à l'extérieur mais ce domaine reste encore à être exploré.

Conclusion

À l'issue de ce rapide tour d'horizon, il est clair que les végétaux présentent des potentiels d'applications réels mais qui méritent d'être encore développés. Il convient également de mettre en perspective cette utilisation des plantes dans l'ensemble de leurs apports. En effet, il ne faut pas oublier le rôle qu'elles jouent dans l'amélioration du cadre de vie en général et sur celle de la perception et du ressenti par rapport à l'environnement. Ces rôles plus globaux ont depuis longtemps été démontrés ainsi que leurs effets bénéfiques sur l'homme.

Le nombre de publications sur cette thématique, après avoir stagné à la fin des années 80, montre à nouveau une augmentation. Les techniques de phytoremédiation offrent une bonne acceptabilité de la part du public et présentent des coûts relativement limités. Elles répondent également à une demande sociale de la part du grand public vis-à-vis de méthodes alternatives répondant aux problèmes environnementaux, y compris à l'intérieur des locaux, comme en témoigne le développement des constructions HQE. Compte tenu des risques sanitaires des polluants intérieurs il est souhaitable que la communauté scientifique, à la suite d'expériences menées dans un cadre méthodologique strict, amène des réponses claires quant à la réelle pertinence de ces méthodes.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les organisateurs du colloque RSEIN/OQAI pour leur avoir permis de présenter ce travail.

Références

- [1] Wolverton BC. Houseplants, indoor air pollutants and allergic reactions. Rapport NASA, 1986 : 22 p.
- [2] Longuetaud L. Des plantes d'appartement qui épurent l'air intérieur ! Mythe ou réalité ? Thèse de Doctorat pour l'obtention du diplôme d'État de Docteur en Pharmacie, Université Henri Poincaré Nancy 1, 2005 : 103 p.
- [3] Oyabu T, Sawada A, Onodera T, Takenaka K, Wolverton BC. Characteristics of potted plants for removing offensive odors. *Sensors and Actuators* 2003 ; B89 : 131-6.
- [4] Liu YJ, Mu YJ, Zhu YG, Ding H, Arens NC. Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air? *Atmospheric Environment* 2007 ; 41 : 650-4.
- [5] Wolverton BC, Wolverton JD. Plants and Soil Microorganisms – Removal of Formaldehyde, Xylene and Ammonia from the Indoor Environment. *Journal of the Mississippi Academy of Sciences* 1993 ; 38 (2) : 11-5.
- [6] Cornejo JJ, Munoz FG, Ma CY, Stewart AJ. Studies on the decontamination of air by plants. *Ecotoxicology*, 1999 ; 8 : 311-20.
- [7] Woods RA, Orwell RL, Tarran J, Torpy F, Burchett MD. Potted-plant/growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. *Journal of Horticultural Sciences and Biotechnology* 2002 ; 77 (1) : 120-29.
- [8] Franzaring J. Temperature and concentration effects in biomonitoring of organic air pollutants. *Environmental Monitoring and Assessment* 1997 ; 46 : 209-20.
- [9] Cuny D, Rzepka MA, Bulteau G, Lakel A, Devred I, Van Haluwyn C. Quels rôles les plantes peuvent-elles jouer vis-à-vis de la pollution à l'intérieur des locaux ? *Air Pur* 2006 ; 69 : 33-6.

* Programme de recherches PHYTAIR : « étude de faisabilité pour l'utilisation des végétaux supérieurs pour l'épuration et la biosurveillance des polluants à l'intérieur des locaux », financé par : l'ADEME, les Conseils Régionaux Nord-Pas-de-Calais et Pays de Loire, le CSTB et les fonds FEDER. Il regroupe les équipes du CSTB de Nantes, du Laboratoire de Botanique de la faculté de Pharmacie de Lille et de l'Association Plant'Airpur.

- [10] Wolverton BC, Mc Donald RC. Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy efficient homes. *Economic Botany*, 1985 ; 38 (2) : 224-9.
- [11] Dingle P, Tapsell P, Hu S. Reducing formaldehyde exposure in office environments using plants. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2000 ; 64 : 302-8.
- [12] Wolverton BC. Foliage plants for removing air pollutants from energy-efficient buildings. Rapport NASA, 1985 : 10 p.
- [13] Wolverton BC, Johnson A, Bounds K. Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement. NASA/ALCA Final Report, Plants for Clean Air Council, Davidsonville – Maryland 1989 : 22 p.
- [14] Darlington A, Chan M, Malloch D, Pilger C, Dixon MA. The biofiltration of indoor air: implications for air quality. *Indoor Air* 2000 ; 10 : 39-46.
- [15] D'Halewyn MA, Leclerc JM, King N, Bélanger M, Legris M, Fenette Y. Moisissures en milieu intérieur et risques pour la santé. *Bulletin d'Information en santé Environnement*, 2003 ; 14 (1) : 1-6.
- [16] Batten JH, Stutte GW, Wheeler RM. Volatile organic compounds detected in the atmosphere of NASA's biomass production chamber. *Advanced. Space Research* 1996 ; 18 (4/5) : 189-92.
- [17] Garrec JP, Van Haluwyn C. Biosurveillance végétale de la qualité de l'air. Tec & Doc, Paris 2002 : 117 p.
- [18] Klumpp A, Ansel M, Klumpp G, Vergne P, Sifakis N, Sanz M.J, Rasmussen S, Ro-Poulsen H, Ribas A, Peñuelas J, Kambezidis H, He S, Garrec JP, Catalayud V. Ozone pollution and ozone biomonitoring in European cities Part II. Ozone-induced plant injury and its relationship with descriptors of ozone pollution. *Atmospheric Environment* 2006 ; 40 : 7437-48.
- [19] Vollenweider P, Ottiger M, Günthardt-Goerg MS. Validation of leaf ozone symptoms in natural vegetation using microscopical methods. *Environmental Pollution* 2003 ; 124 (1) : 101-18.
- [20] Kammerbauer J, Dick T. Monitoring of urban traffic emissions using some physiological indicators in *Ricinus communis* L. plants. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 2000 ; 39 (2) : 161-6.
- [21] Arora A, Sairam RK, Srivastava GC. Oxidative stress and anti oxidative system in plants. *Current Science* 2002 ; 82 : 1227-38.
- [22] Cuny D, Van Haluwyn C, Shirali P, Zerimech F, Jérôme L, Haguenoer JM. Cellular impact of metal trace elements in terricolous lichen *Diploschistes muscorum* (Scop.) R. Sant. – Identification of oxidative stress biomarkers. *Water Air and Soil Pollution* 2004 ; 152 : 55-69.
- [23] Puckett MC, Weng H, Mahalingam R. Physiological and biochemical responses to acute ozone-induced oxidative stress in *Medicago truncatula*. *Plant Physiology and Biochemistry* 2007 ; 45 (1) : 70-9.
- [24] Ma TH. *Tradescantia Micronucleus* bioassay and pollen tube chromatid aberration test for in situ monitoring and mutagen screening. *Environmental Health Perspectives* 1981 ; 37 : 85-90.
- [25] Gichner T, Plewa MJ. Induction of somatic DNA damage as measured by single cell gel electrophoresis and point mutation in leaves of tobacco plants. *Mutation Research* 1998 ; 401 : 143-52.
- [26] Gichner T, Lovecká P, Kochánková L, Macková M, Demnerová K. Monitoring toxicity, DNA damage, and somatic mutations in tobacco plants growing in soil heavily polluted with polychlorinated biphenyls. *Mutation Research/ Genetic Toxicology and Environmental Mutagenesis* 2007 ; 629 : 1-6.
- [27] Ma TH. In situ monitoring of environmental clastogens using Tradescantia-micronucleus bioassay, In : Sandhu SS, Lower WR, de Serres FJ, Suk WA, Tice RR. In situ evaluation of biological hazards of Environmental Pollutants. Plenum press, New York 1990 : 183-90.
- [28] Ma TH, Harris MM. Tradescantia-micronucleus (TRAD-MCN) assay – a promising indoor pollution monitoring system. In: Proceedings of the 4th International Conference of Indoor Air Quality and Climate, Berlin 1987 : 243-7.
- [29] Monarca S, Feretti D, Zanardini A, Moretti M, Villarini M, Spiegelhalder B, Zerbini I, Gelatti U, Lebbolo E. Monitoring airborne genotoxicants in the rubber industry using genotoxicity tests and chemical analyses. *Mutation Research* 2001 ; 490 : 159-69.