



L'épuration de l'air intérieur par les plantes : état des connaissances

**Journée technique
6 mai 2010, 8h30-17h00, CSTB, Paris**

RECUEIL DES RESUMES

L'épuration de l'air intérieur par les plantes : état des connaissances

Contexte et objectifs de la journée technique du 6 mai

Depuis quelques années, une forte médiatisation et un marketing intensif se sont développés autour de l'épuration de l'air intérieur par les plantes. Des recherches scientifiques ont été conduites sur ce sujet depuis les premières expérimentations de la NASA, mais aucun travail de synthèse ne permet aujourd'hui de statuer sur l'efficacité et l'innocuité de tels dispositifs.

L'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (OQAI) étant souvent interrogé sur ce sujet, il a semblé utile aux pouvoirs publics et instances qui soutiennent l'OQAI de faire une analyse critique des connaissances et d'organiser les données scientifiques disponibles en France et à l'étranger afin d'avoir une vision plus claire des potentialités de ce type d'épuration.

Organisées en partenariat avec l'ADEME, co-financeur du programme national Phytair, et la Faculté des sciences pharmaceutiques et biologiques de Lille, largement impliquée sur le sujet depuis plusieurs années *via*, entre autres, le programme Phytair, deux journées sont programmées pour élaborer une synthèse et la porter à la connaissance du public : une journée technique le 6 mai 2010 et un atelier public le 28 juin 2010.

La journée technique du 6 mai est ouverte sur invitation aux membres des conseil de surveillance et conseil scientifique de l'OQAI, ainsi qu'aux scientifiques des domaines de l'air intérieur, de l'épuration et/ou des plantes. Les exposés des travaux français et la revue des recherches conduites à l'échelle internationale sur le sujet doivent servir de base pour les discussions entre participants.

Le fruit de ces échanges sera formalisé dans un document de synthèse qui sera rendu public le 28 juin prochain lors du prochain « Atelier de l'OQAI » (CSTB, Paris). Ouvert à tous, cet atelier public sera l'occasion de rendre compte des conclusions du travail de synthèse de la journée technique (bulletin d'inscription sur le site web de l'OQAI : www.air-interieur.org). Avec l'autorisation des intervenants, les résumés des présentations de la journée technique seront publiés à l'occasion de l'atelier et mis en ligne sur le site de l'OQAI. Enfin, un des prochains numéros du « Bulletin de l'OQAI » présentera également la restitution des échanges de la journée technique.

L'épuration de l'air intérieur par les plantes : état des connaissances

Programme

9.00 – 9.15 : **Introduction**, objectifs de la journée, [Séverine Kirchner, CSTB](#)

9.15 – 10.00 : **La problématique** : quels sont les grands domaines explorés et restant à explorer dans le domaine des plantes et de l'air intérieur ? [Damien Cuny, Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille](#)

10.00 – 10.45 : **Physiologie de la plante**, les processus mis en jeu dans l'élimination des polluants, [Jean-Pierre Garrec, Laboratoire Pollution Atmosphérique, INRA Nancy](#)

10.45 – 11.30 : **Impact toxique et allergique des plantes d'intérieur**, [Jean Bruneton, Professeur des Universités, Pharmacognosie](#), et [Suzanne Déoux, Professeur associé à l'Université d'Angers, Risques en santé dans l'environnement bâti et urbain](#)

11.30 – 11.45 : **Pause**

11.45 – 13.00 : **Les travaux français : le programme Phytair**

- Présentation générale du programme, [François Boisieux, ADEME](#)
- L'épuration par les plantes en comparaison des autres procédés d'épuration de l'air intérieur, [Gaëlle Bulteau, CSTB](#)
- Le rôle du substrat dans les processus d'épuration par les plantes, [Benjamin Hanoune, CNRS / Université de Lille 1](#)
- Les autres composantes de la thématique : les effets des polluants intérieurs sur la plante, la biosurveillance de l'air intérieur, [Marie-Amélie Rzepka, Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique / Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques de Lille](#)

13.00 – 14.30 : **Déjeuner – buffet**

14.30 – 16.00 : **Les travaux dans les autres pays**

- Les travaux sur l'épuration de l'air intérieur par les plantes conduits à l'étranger : une vision panoramique, [Jean-Claude Mauget, AGROCAMPUS OUEST – Centre d'Angers – Institut National d'Horticulture et de Paysage, Association Plant'Airpur](#)
- Botanical filtration system involving testing, full-scale performance evaluation, demonstration and modeling, [Pr. Jensen Zhang, Syracuse University, US](#)

16.00 – 16h15 : **Le point de vue de l'ADEME**, [Laurence Galsomiès, ADEME](#)

16.15 – 17.00 : **Débat** : les perspectives, les limites, les besoins de recherche

Modérateur de la journée : Yvon Le Moullec, président du conseil scientifique de l'OQAI

Introduction générale : quels sont les grands domaines explorés et restant à explorer dans le domaine des plantes et de l'air intérieur ?

Damien CUNY

Université Lille Nord de France, E.A. « Impacts de l'environnement chimique sur la santé humaine »,
Faculté des Sciences Pharmaceutiques et Biologiques, 3 rue du Professeur Laguesse, B.P. 86, 59800
Lille, France

damien.cuny@univ-lille2.fr

Nous passons près de 90 % de notre temps dans les espaces clos. Ces environnements comprennent de nombreuses sources de polluants atmosphériques (par exemple : les installations à combustion, les matériaux d'ameublement, de décoration, de construction) auxquelles s'ajoutent les activités humaines (tabagisme, utilisation et stockage des produits cosmétiques, d'entretien et de bricolage...). Cette multitude d'émissions génère un cocktail de polluants dont il est clairement établi aujourd'hui qu'il exerce des effets sanitaires à court comme à long terme. Les résultats des premières investigations ont provoqué une véritable prise de conscience de ce phénomène par les autorités comme par le grand public. Ceci a entraîné une demande croissante de données afin d'affiner les démarches d'évaluation des risques, mais aussi d'obtenir un panel de solutions de remédiation. Ces dernières sont nombreuses et passent en premier lieu par la maîtrise des sources alliée à l'optimisation de l'aération. Elles peuvent également faire appel à des systèmes de traitement d'air. C'est dans ce domaine que des recherches sont menées pour l'utilisation des plantes la biosurveillance (au sens large¹) de la qualité de l'air intérieur. De par leur nature, les techniques faisant appel aux végétaux suscitent une attente importante de la part du grand public.

Historiquement, ce sont les agences spatiales américaines (principalement) et soviétiques qui, dans les années 80, sont à l'origine des recherches sur l'utilisation des végétaux dans les environnements intérieurs. L'idée maîtresse de ces travaux était d'utiliser les végétaux pour l'épuration de l'air des véhicules spatiaux. Ces recherches n'ont pas débouché sur des applications concrètes dans le domaine spatial, mais ont été déclinées pour la mise au point de différents dispositifs d'épuration de l'air à l'intérieur des locaux. Ceux-ci sont de taille et de forme très diverses, présentés et commercialisés pour l'épuration de l'atmosphère d'habitation comme de locaux publics (salles de spectacle, bureaux...). Quel que soit le modèle, le principe de fonctionnement est fréquemment identique faisant appel à un passage de l'air forcé (i.e. convection forcée) au travers du substrat des plantes (microorganismes, sol enrichi ou non en substances adsorbantes telles que du charbon actif). Ces systèmes peuvent entrer dans la catégorie des biofiltres même si leur définition est plus large. Ils font essentiellement appel à la fois à la fixation des polluants dans le substrat et à leur dégradation par les microorganismes ; le rôle des plantes peut apparaître ici assez secondaire même si en réalité il est fondamental car ce sont les plantes qui entretiennent la faune et la flore du sol. En parallèle, même si elle a déjà fait l'objet de travaux, la contribution du substrat en dehors de tout système de biofiltration reste également à décrire et à évaluer.

¹ 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 » Garrec & Van Haluwyn, 2002.

Comme pour tous les systèmes de biofiltration, les questions de colmatage/saturation du substrat, ainsi que celles de la formation et de l'émission de sous-produits restent posées et nécessitent d'être évaluées.

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, le principal frein qui réside dans l'hétérogénéité des méthodes d'évaluation des performances d'épuration (même si celles-ci sont très proches). 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. Cette nécessité va au-delà puisqu'elle concerne également la certification de ces procédés comme pour les autres techniques d'épuration de l'air.

Des limites sont liées aux plantes elles-mêmes. En effet, certaines possèdent des propriétés toxiques (par inhalation, ingestion ou contact). Les travaux réalisés ont généralement évité les variétés présentant un risque trop important. Ainsi les espèces les plus fréquemment 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 microbiologique (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. 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. Une mise au point sur cette thématique vient d'être récemment publiée. Ainsi, près de 100 000 composés chimiques sont produits par les végétaux et au moins 1 700 sont volatils. Ils sont émis non seulement par les fleurs, mais aussi par les organes végétatifs dont les racines. On y retrouve essentiellement des terpènes, des composés azotés et aromatiques. Cependant, les travaux publiés sur ce thème concernent les écosystèmes naturels. Ils montrent notamment que les émissions varient qualitativement et quantitativement d'une espèce à l'autre. 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.

Ces trois derniers thèmes ne sont pas strictement liés au cadre de l'utilisation des plantes dans le traitement de l'air intérieur, mais plus généralement concernent la présence des plantes dans les locaux, éventuellement recevant des publics fragiles.

Une des perspectives de développement nous paraît être l'utilisation des plantes d'intérieur dans la biosurveillance des polluants tel que cela se fait depuis de très nombreuses années pour l'air extérieur. Il s'agit de mettre en évidence les effets des polluants sur des organismes modèles. Ceux-ci provoquent des perturbations physiologiques qui s'expriment parfois macroscopiquement (formation de nécroses foliaires dues à l'ozone par exemple). Différentes recherches ont permis une étude approfondie de ces perturbations par le biais de biomarqueurs cellulaires. 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 ou de génotoxicité.

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 telles 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, quelques utilisations du test micronoyaux (test Tradescantia) ou celui des comètes ont été réalisées dans des habitations, en milieux professionnels et dans des écoles. 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.

Physiologie de la plante : Processus mis en jeu pour la capture et l'élimination des polluants

Jean-Pierre GARREC

INRA Nancy, Laboratoire Pollution Atmosphérique, 54280 Champenoux

garrec@nancy.inra.fr

Introduction

La capture des polluants par la plante peut avoir lieu :

- Soit au niveau du système racinaire ;
- Soit au niveau du système foliaire.

Dans le cas des polluants atmosphériques, on considère que la voie foliaire est la voie majoritairement concernée.

Cette capture des polluants atmosphériques par la feuille peut s'effectuer au moyen de 2 voies :

- Soit par la voie des stomates : orifices qui régulent les échanges gazeux entre l'extérieur et l'intérieur de la feuille ;
- Soit par la voie de la cuticule : structure lipidique qui recouvre et protège la feuille.

Selon la nature des polluants, gazeux ou particuliers, organiques ou inorganiques, ceux-ci utiliseront l'une ou l'autre voie pour pénétrer et/ou s'accumuler dans ou sur la feuille, et être par la suite éliminés.

Processus de capture et d'élimination des polluants par les stomates

On considère que ce sont essentiellement les polluants sous forme gazeuse (polluants organiques ou inorganiques) qui vont pénétrer et s'accumuler dans la plante par l'intermédiaire des stomates. Comme pour l'air extérieur, la pénétration des polluants de l'air intérieur par la voie stomatique va être influencée par de nombreux paramètres schématisés sur la figure 1.

Après accumulation des polluants dans les tissus foliaires, leur élimination selon leur nature organique ou inorganique, est schématisée sur la figure 2. Cependant il faut savoir qu'il y aura toujours parallèlement pour la plante, un impact physiologique lié à la présence du polluant et/ou de ses produits de métabolisation. Cet impact sera plus ou moins important selon leurs natures et leurs concentrations.

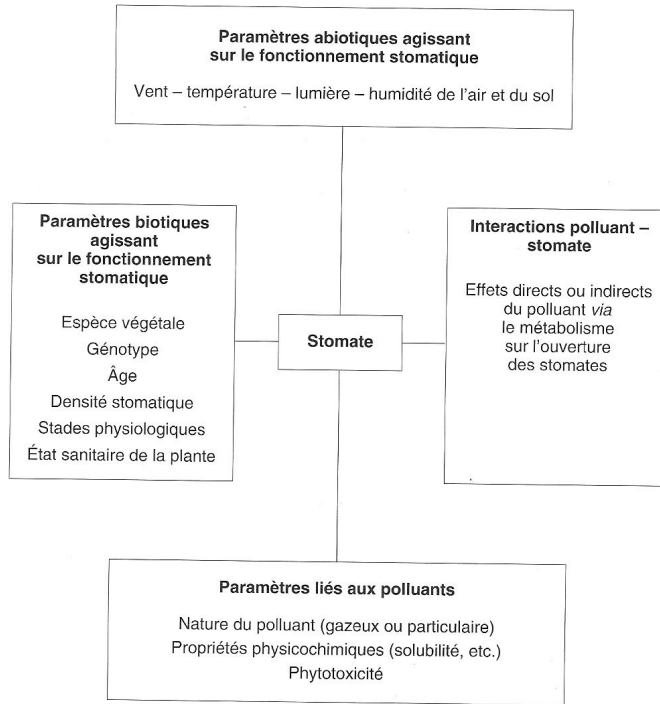


Figure 1 : Paramètres agissant sur l'entrée des polluants par les stomates

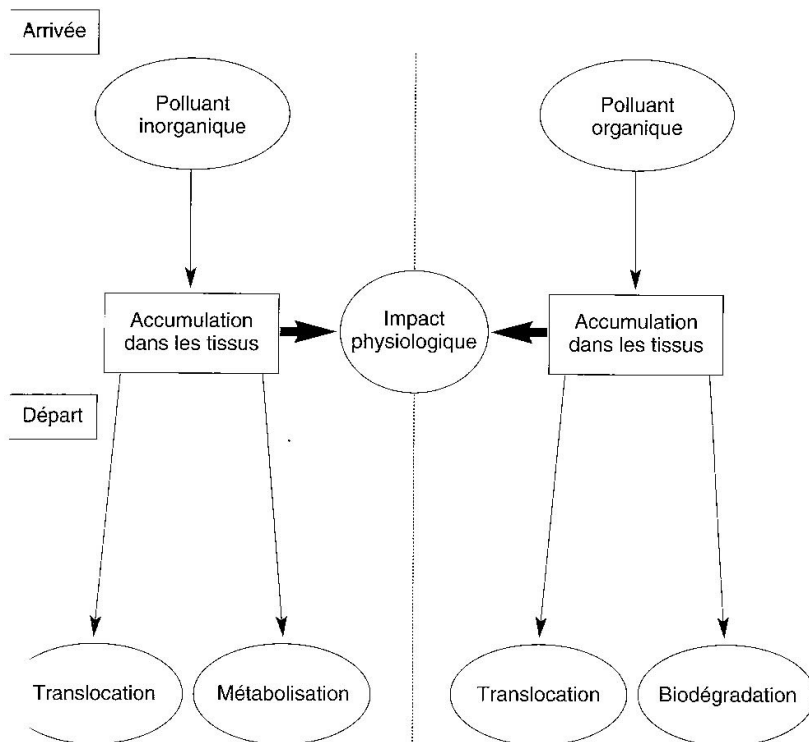


Figure 2 : Mécanismes régissant l'élimination des polluants inorganiques ou organiques accumulés dans les tissus foliaires

Processus de capture et d'élimination des polluants par les surfaces foliaires : cuticule

Les surfaces foliaires de par :

- leur rugosité liée à la présence des cires épicuticulaires ;
- le caractère lipophile de ces cires et la présence d'un film d'eau ;

sont particulièrement efficaces pour capturer, accumuler et de ce fait éliminer les polluants particulaires (inorganiques comme organiques) comme les polluants gazeux présents dans l'air.

Cependant il faut savoir que cette accumulation au niveau des surfaces foliaires est « plafonnée », car au bout d'un certain temps, un équilibre, fonction des niveaux de pollution, s'installe entre la capture permanente de polluants sur ces surfaces et des pertes continues. Ces pertes ont de multiples origines : les frottements, la volatilisation, la production permanente de cires, la croissance des feuilles, le lessivage...

Parallèlement, une certaine proportion des polluants gazeux et particulaires (après dissolution) accumulés sur les surfaces, va pouvoir traverser par la suite la cuticule et s'accumuler dans les tissus foliaires. Sur la figure 3, nous avons schématisé les paramètres agissant sur cette pénétration des polluants par l'intermédiaire de la surface foliaire, ceci avant leur accumulation et leur élimination dans les tissus foliaires.

Conclusion

On sait depuis longtemps que les plantes captent très bien les polluants atmosphériques au moyen de leur feuillage, mais peuvent-elles par la même occasion dépolluer l'air ? De nombreux espoirs ont d'abord été fondés sur l'utilisation directe des plantes, mais malheureusement cette façon de dépolluer dont nous venons de détailler les processus, s'est vite révélée trop faible pour être applicable. Parallèlement les recherches ont montré que si l'on utilisait les propriétés de dégradation des bactéries vivant sur les plantes (particulièrement au niveau des racines), on possédait alors un système très performant pour éliminer en particulier les polluants organiques. Différents dispositifs utilisant plus ou moins de technologie avec tous les problèmes que cela pose (consommation d'énergie, maintenance, entretien, etc.) ont alors été proposés. Dans tous les cas, l'idée est de forcer au moyen d'un ventilateur l'air pollué à circuler entre les racines de plantes, ou à plus grande échelle au travers de plantes et de mousses maintenues humides sur des supports grillagés verticaux. Ces systèmes ont maintenant prouvé leur efficacité, mais on s'est fortement éloigné de la simplicité d'une plante en pot comme de la plante en elle-même.

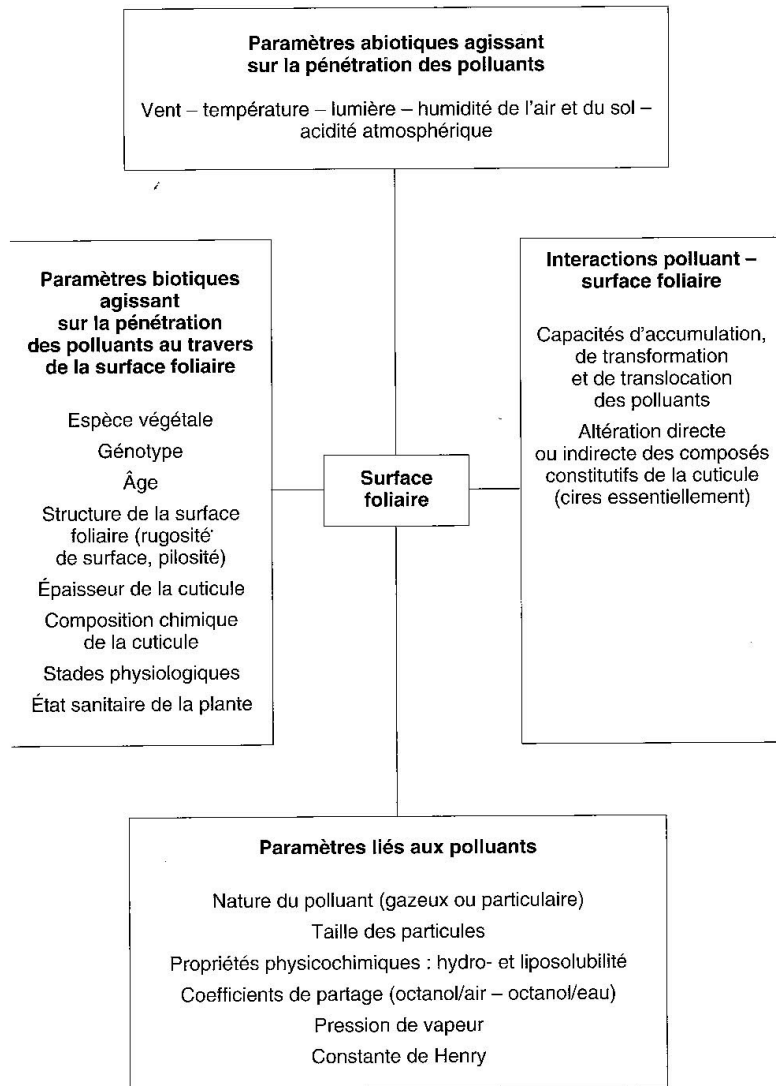


Figure 3 : paramètres agissant sur l'entrée des polluants dans la plante par l'intermédiaire de la surface foliaire

Impact toxique et allergique des plantes dans l'environnement domestique

Jean BRUNETON¹ et Suzanne DEOUX²

¹ Professeur des universités (pharmacognosie), bruneton.jean@wanadoo.fr

² médecin ORL, Professeur associé à l'université d'Angers, Risques en santé dans l'environnement bâti et urbain, suzanne.deoux@univ-angers.fr

Dans une société très urbanisée, le besoin de contact avec la nature explique la présence « d'échantillons » dans l'environnement quotidien, à proximité et à l'intérieur des habitations.

Si la présence végétale a de multiples avantages, divers autres impacts sanitaires doivent être évalués. L'influence d'une trop grande quantité de plantes sur l'humidité relative des locaux peut ne pas être négligeable en raison de leur émission de vapeur d'eau. La toxicité de certaines espèces et le caractère allergisant d'autres ne peuvent être écartés.

1. Impact toxique des plantes, en particulier pour l'enfant

Le risque lié à l'exposition au végétal, à la maison ou au jardin, n'est pas uniquement lié à une toxicité par ingestion. Blessures par épines, urticaires, irritations mécaniques ou chimiques, projections oculaires, phototoxicité, allergies sont aussi à l'origine d'accidents de degré de gravité variable.

1.1. Fréquence des incidents et accidents liés aux végétaux - populations concernées (1)

Les incidents ne sont pas rares, les accidents graves sont exceptionnels. Un indicateur, certes imparfait, est le nombre d'appels reçu par les centres antipoison (CAP). En 2007, 5 % des 142 000 appels reçus par 9 CAP français concernaient des plantes (2).

Les incidents et accidents liés aux plantes surviennent essentiellement chez le jeune enfant : 65 % des appels évoqués ci-dessus concernaient l'enfant de moins de 4 ans. Les données internationales montrent que ce taux avoisine 80 % lorsque l'on considère les enfants de 5 ans et moins. Ces « intoxications » sont généralement sans conséquence : dans 80 % des cas signalés aux CAP français en 2007, une abstention thérapeutique a pu être préconisée. Les éventuels symptômes observés sont généralement digestifs et/ou cutanés.

Toutefois, un accident grave est toujours possible : 18 ont été notifiés aux CAP français en 2007 (tous âges confondus, dont 7 avec le seul *Datura* (3)). Les décès sont rares (ex. : 11 décès pour 700 000 cas enregistrés entre 1987 et 1993 aux États-Unis d'Amérique, tous âges confondus). Chez l'enfant, les conséquences majeures et les décès sont encore plus rares : un décès et 33 symptomatologies majeures dans une autre série nord-américaine de 375 000 cas.

1.2. Circonstances des incidents et des accidents

Chez l'adulte, le risque peut-être cutané ou oculaire (jardiniers, horticulteurs...). Les intoxications par ingestion sont rares et toujours liées : à une erreur d'identification – consommation de plantes sauvages supposées alimentaires (4) ou présumées médicinales (5) ; à un effet indésirable (produits de phyto-thérapie) ; à un trouble psychiatrique ; à un choix délibéré (suicide (6), prise d'hallucinogènes).

Le très jeune enfant porte tout à la bouche : il suce et mâchonne tout ce qui est à sa portée, les plantes d'appartement aussi bien que les autres objets de son environnement. Un peu plus tard, il acquiert l'autonomie et accède à la terrasse, au jardin, à l'environnement du bac à sable. Le jeu peut le conduire – il ne fait pas toujours « pour de faux » – à ingérer feuilles, fruits ou graines. Particulièrement attiré par les fruits, il peut en consommer des quantités non négligeables.

1.2.1. Dans l'appartement, le danger est celui des plantes en pots ou en bacs ; parfois des fleurs en vase. Certaines espèces sont allergisantes (voir partie 2, ci-après) ; d'autres sont agressives pour la peau et les muqueuses, cutanée ou oculaire.

Quel est le risque ? Il est parfois important : dans un tiers des cas, les *Dieffenbachia* (feuilles, tiges) induisent irritation buccale, œdème, voire gêne respiratoire et difficultés de déglutition. La projection dans l'œil est également dangereuse. Les *Dieffenbachia* sont des plantes à proscrire des appartements, crèches, salles d'attente, etc. D'autres plantes de la même famille suscitent des interrogations : *Anthurium*, *Caladium*, *Epipremnum*, *Philodendron*, *Spathiphyllum*, *Syngonium*, *Zantedeschia*, etc.

Souvent accusé, le *Poinsettia* semble plutôt anodin : 3,4 % d'effets mineurs, 19 effets modérés et un effet majeur pour 23 000 signalements (mais il peut induire une allergie). D'autres espèces de la même famille sont irritantes (*Euphorbia splendens*). Ingérées, les plantes à bulbes peuvent provoquer vomissements et diarrhée. Les cactus sont à l'origine de désagréments souvent très douloureux (peau, œil, articulations) et difficiles à résoudre.

1.2.2 Sur les balcons, les terrasses et dans le jardin, le laurier-rose est un toxique cardiaque (mais de texture coriace) et les gousses du cytise ont une toxicité voisine de celle de la nicotine. Des espèces sauvages, agressives, envahissent parfois le jardin : *Arum*, euphorbes.

L'if (*Taxus* spp.), arbre largement planté, est une espèce mortelle qui illustre la difficulté qu'il peut y avoir à évaluer le risque. La chair du fruit n'est pas toxique, la graine l'est. Qu'a réellement ingéré l'enfant ? La chair ? La graine ? Mâchée ? Entière ? Le risque, faible, n'est pas nul : sur une série de 11 000 cas, 92,5% ont été asymptomatiques, 7 % ont présenté une symptomatologie mineure, 30 cas ont été marqués par des troubles gastro-intestinaux, cardiovasculaires (6 cas) ou neurologiques (6 cas). Quatre cas ont engagé le processus vital. Il n'y a eu aucun décès.

Remarque : certaines plantes mortelles sont disponibles dans toutes les jardineries (digitales, colchique, aconits) ; ainsi d'ailleurs que de puissants inducteurs de délires (*Brugmansia*).

1.2.3 Et les fruits sauvages ? Ils sont habituellement anodins, du moins quand l'ingestion se limite à un petit nombre. Certains sont des toxiques violents (belladone, redoul).

Quelques exemples sont rapidement présentés : au jardin : *Cotoneaster* et *Pyracantha* (épines !), *Aucuba*, troène, symphorine, *Mahonia*, sorbier, lierre (coriaces !), et, en promenade, chèvrefeuilles (5 % de cas symptomatiques), morelles, gui (feuilles !), tamier, bryone, etc.

Certaines plantes constituent un réel danger. Le risque, minime, peut être réduit par des mesures de bon sens et l'éducation de l'enfant.

Références bibliographiques

(1) Sauf référence spécifique, les données utilisées ici sont tirées de : Bruneton, J. (2005). *Plantes toxiques - Végétaux dangereux pour l'Homme et les animaux*, 3^e éd., Tec & Doc, Paris. Une bibliographie actualisée sur le sujet est disponible en ligne : <http://ead.univ-angers.fr/~pharma/bruneton/index.php> (2053 références au 12-04-2010).

(2) Flesch, F. (2008). Intoxications végétales en France : aspects épidémiologiques, 46^e congrès de la STC, 16-18 octobre 2008, Essaouira, *Infotox*, (29), 3. En ligne : <http://www.toxicologie.clinique.org>

(3) Les intoxications au *Datura* (ou au *Brugmansia* = " *datura*" arborescent ") sont le plus souvent volontaires, ces espèces étant utilisées pour leur propriétés " hallucinogènes ". Elles peuvent, plus rarement, résulter d'une confusion avec un légume, *cf., inter alia* : Papoutsis, I., Nikolaou, P., Athanaselis, S. *et al.* (2010). Mass intoxication with *Datura innoxia*. Case series and confirmation by analytical toxicology, *Clin. Toxicol. (Phila.)*, **48**, 143-145.

(4) Le Roux, G., Lagarce, L. et Harry, P. (2009). Confusions entre plantes sauvages réputées alimentaires et plantes sauvages toxiques : étude rétrospective sur un an au centre antipoison d'Angers, Poster, 47^e congrès de la Société de toxicologie clinique (STC), Toulouse, 2-3 avril 2009. En ligne : <http://www.toxicologie-clinique.org>

(5) Lin, C.C., Yang, C.C., Phua, D.H. *et al.* (2010). An outbreak of foxglove leaf poisoning, *J. Chin. Med. Assoc.*, **73**, 97-100.

(6) Strzelecki, A., Pichon, N., Gaulier, J.M. *et al.* (2010). Acute toxic herbal intake in a suicide attempt and fatal refractory ventricular arrhythmia, *Basic Clin. Pharmacol. Toxicol.*, à paraître (en ligne, 26 mars 2010).

2. Impact allergique des plantes d'intérieur

Réaction anormale de l'organisme face à des substances extérieures appelées allergènes, l'allergie est un conflit immunitaire entre un antigène et un anticorps spécifique à cet antigène. Plusieurs facteurs sont en cause. L'hérédité joue un rôle important. Un individu dont un des parents est allergique a 30 % de risque d'être atteint d'allergie. Si les deux parents sont atteints, le risque est de 60 %. L'exposition aux allergènes crée une sensibilisation progressive aux substances allergisantes. Ce facteur environnemental est la partie la moins bien connue de l'allergie. L'environnement professionnel a révélé de nombreuses allergies avant leur description en milieu domestique.

Les réactions aux plantes d'appartement sont variées, eczéma ou toxicité cutanée, rhinoconjonctivite et asthme. Elles sont plus fréquentes chez les professionnels, mais se manifestent aussi par des symptômes respiratoires, dans l'environnement domestique, chez les atopiques.

2.1. Allergies respiratoires aux plantes d'intérieur

Les sources d'aéroallergènes des plantes à feuillage sont les feuilles, les tiges, la sève et le latex alors que pour les plantes fleuries, ce sont principalement les pollens. Des allergies IgE dépendantes ont été décrites pour le ficus, mais aussi pour d'autres plantes d'appartement. Certaines étiologies se limitent actuellement à quelques cas publiés, mais peuvent annoncer des pathologies allergiques émergentes.

2.1.1. Le *Ficus benjamina*

Parmi les plantes arbustives d'appartement, des allergies aux yuccas (famille des Agavacées) ont été rapportées, par exemple, lors de la taille par des allergiques. Les troubles les plus fréquents surviennent néanmoins avec les ficus et notamment le *Ficus benjamina* (FB). L'incidence de cette allergie n'est pas négligeable. Selon Axelsson (1) qui a rapporté, en 1985, les premiers cas d'allergie au FB chez des horticulteurs, les sensibilisations atteindraient 21 % en milieu professionnel et 6 % dans l'environnement domestique.

Les allergènes de FB peuvent se comporter comme des aéroallergènes. Transportés par le latex, ils se déposent à la surface des feuilles. Ils sont présents dans la poussière de moquettes, mais aussi de sofas et de matelas, localisés à plus de trois mètres de cette plante. Six mois après l'éviction de la plante, les allergènes peuvent encore être présents dans les extraits de poussière. Les allergènes de FB

ont probablement un comportement aérien voisin de celui des allergènes des acariens et des blattes et ne peuvent pas être mis en évidence dans l'air en l'absence de perturbation domestique vigoureuse.

La symptomatologie allergique est perannuelle. Elle peut s'accroître lors de la manipulation ou du bouturage des ficus. Les allergènes de FB peuvent être à l'origine de rhinites, de conjonctivites et d'asthmes (2,3), mais aussi d'eczémas atopiques (4) dont l'apparition peut coïncider avec l'acquisition d'un *Ficus benjamina*. L'éviction de la plante peut être suivie d'une disparition complète et durable de la symptomatologie.

Le diagnostic d'allergie au ficus est orienté par l'interrogatoire, à la recherche de la présence de la plante dans l'environnement intérieur du patient. Il est confirmé par les tests cutanés effectués en prick-tests, soit avec une goutte du latex liquide recueilli par section d'une tige, soit à travers une feuille, ou mieux avec un extrait allergénique aqueux de FB. Le dosage des IgE sériques spécifiques et, éventuellement, les tests de provocation nasale et/ou bronchique complètent le bilan.

Diverses allergies croisées existent avec les ficus, comme entre le latex de *F. benjamina* et celui d'*Hevea brasiliensis*. Le contact avec la plante ainsi que l'inhalation de particules végétales peuvent induire une réaction allergique soudaine et violente chez les sujets allergiques au latex. Depuis vingt-cinq ans, ceux-ci deviennent de plus en plus nombreux, le latex étant un produit ubiquitaire. Une réaction croisée existe aussi entre les figuiers et les ficus qui appartiennent tous deux à la famille des Moracées. Des chocs anaphylactiques après ingestion de figue sont survenus chez des malades sensibilisés au ficus (5,6). Les allergènes responsables de ces réactions croisées sont vraisemblablement des enzymes, notamment des cystéines protéases telle la papaïne.

2.1.2. Autres plantes

D'autres espèces végétales provoquent des sensibilisations allergiques. Parmi elles, on peut citer des cactus appartenant au genre *Schlumbergera* (cactus de Noël) qui sont responsables, en milieu horticole, d'urticaires de contact lors de la manipulation de ces plantes avec dans quelques cas rhinoconjonctivite et asthme (7). Les prick-tests effectués avec un extrait allergénique obtenu à partir des feuilles de cactus ont été positifs et des IgE sériques spécifiques ont pu être mises en évidence. Dans une étude effectuée parmi 103 employés en contact avec des cactus, 8 % étaient cliniquement allergiques à ces plantes (8).

Le latex des poinsettias (*Euphorbia pulcherrima*) peut déclencher asthme (9), rhinoconjonctivite et éruption généralisée. Il existe un haut degré d'allergie croisée entre ce latex et celui d'*Hevea brasiliensis*.

Des manifestations d'allergie respiratoire et cutanée peuvent aussi survenir avec le *Spathiphyllum* (fleur de lune), le papyrus. Un cas d'allergie à la misère (famille des Commelinacées, genre *Tradescantia*) a été rapporté chez une employée de bureau de 32 ans qui présentait une pollinose aux pollens d'arbres et une rhinoconjonctivite (10). Lors du rempotage de deux misères, elle a eu immédiatement un œdème de la face et de la gorge et de l'asthme. Les prick-tests effectués à travers des feuilles de misère étaient fortement positifs. Des IgE spécifiques ont été mises en évidence vis-à-vis d'un extrait de feuille. Il n'y avait pas d'allergènes croisant avec les allergènes de FB.

2.2. Dermatitis de contact

Les allergies de contact sont décrites depuis plusieurs décennies en milieu professionnel horticole. Elles peuvent survenir avec de nombreuses plantes présentes dans les bâtiments notamment avec le *Philodendron scandens*, le croton, les primevères et les cyclamens, tous deux appartenant à la famille des Primulacées, etc. Les contacts répétés déclenchent des manifestations cutanées sur les mains, les bras et la face (11, 12, 13).

3. Impact fongique du substrat des plantes d'intérieur

Le substrat des plantes en pot est un réservoir de moisissures. L'exposition aux moisissures se fait par ingestion, inhalation et contact cutané.

Divers composants fongiques sont à l'origine d'une variété de réactions humaines (14).

Les composés organiques volatils sont responsables de l'odeur de moisi. En milieu professionnel, l'exposition à de fortes teneurs cause des irritations respiratoires et des symptômes tels des maux de tête, des déficits d'attention, des difficultés de concentration.

Quelques espèces produisent, dans des conditions environnementales spécifiques, des mycotoxines provoquant des réponses toxiques (*Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Chaetomium*, *Cladosporium*, *Fusarium*, *Paecilomyces*, *Penicillium*, *Stachybotrys* et *Trichoderma*). L'impact sanitaire des mycotoxines inhalées dans les bâtiments n'est pas actuellement validé.

En raison de la présence d'allergènes dans les spores, de nombreuses moisissures sont susceptibles de déclencher des réactions allergiques au niveau des voies respiratoires supérieures, sinusite et asthme.

Les moisissures sont enfin à l'origine d'infections. Diverses études indiquent que la présence de plantes en pot dans l'environnement des personnes souffrant de mucoviscidose (15) ou présentant des troubles sévères du système immunitaire (chimiothérapie, transplantations d'organe ou de moelle osseuse, sida...) constitue un risque sérieux de colonisation respiratoire.

Seize espèces potentiellement pathogènes ont été isolées dans la terre des plantes en pots (16), notamment *Aspergillus fumigatus* (53.5 unités formant colonie -UFC- par gramme de sol sec) et *Scedosporium apiospermum* (97.0 UFC/g). Diverses études indiquent la possible dispersion de champignons pathogènes opportunistes à partir du sol des plantes. La lutte contre les maladies nosocomiales impose la suppression des plantes en pots dans les hôpitaux.

Références bibliographiques

- 1) Axelsson IG, Skedinger M, Zetterström O. Allergy to weeping fig – a new occupational disease. *Allergy* 1985;40:461–4.
- 2) Bessot J. C., Tannous R., Newinger G., Feuerstoss D., De Blay F., Pauli G. Allergie respiratoire au *Ficus Benjamina*: à propos de 10 observations. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*. 1993, vol. 33, n° 4, pp. 319-349
- 3) Bessot J.C. . Allergènes végétaux non polliniques. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique* 43 (2003) 40–52
- 4) Fontaine J. F., Lavaud F., Sabouraud-Leclerc D., Lebargy F. Allergie à *Ficus benjamina* à propos d'un cas d'aggravation d'eczéma atopique chez l'adulte. *Revue française d'allergologie et d'immunologie clinique*. 1999, vol. 39, n° 6, pp. 508-526
- 5) Dechamp C, Bessot JC, Pauli G, Deviller P. First report of anaphylactic reaction after fig (*Ficus carica*) ingestion. *Allergy* 1995;50:514–6.
- 6) Diaz-Gomes ML, Quirce S, Aragonés E, Cuevas M. Asthma caused by *Ficus benjamina* latex: evidence of cross-reactivity with fig fruit and papain. *Ann Allergy, Asthma Immunol* 1998;80:24–30.
- 7) Paulsen E, Skov P, Bindslén-Jensen C. Occupational type 1 allergy to Christmas cactus (*Schlumbergera*). *Allergy* 1997;52:656–60.
- 8) Andersen F, Bindslén-Jensen L, Stahl-Skov P, Paulsen F. Immediate allergic and non allergic reactions to Christmas and Easter Cactus, *Allergy* 1999;54:511–6.

- 9) Ibanez D et al. Asthma induced by latex from 'Christmas Flower'. *Allergy* 2004;59:1127-8
- 10) Wüthrich B, Johansson SG. Allergy to the ornamental indoor green plant *Tradescantia* (*Albiflora*). *Allergy*. 1997 May;52(5):556-9.
- 11) Hammershøy O, Verdich J. Allergic contact dermatitis from *Philodendron scandens*. *Contact Dermatitis*. 1980 Jan;6(2):95-9.
- 12) Knight TE. *Philodendron*-induced dermatitis: report of cases and review of the literature. *Cutis*. 1991 Nov; 48(5):375-8.
- 13) Hausen BM, Schulz KH. Occupational contact dermatitis due to croton. Sensitization by plants of the Euphorbiaceae. *Contact Dermatitis*. 1977 Dec; 3(6):289-92.
- 14) WHO guidelines for indoor air quality : dampness and mould. World Health Organization Regional Office for Europe. 2009.
- 15) Pihet M, Carrere J, Cimon B, Chabasse D, Delhaes L, Symoens F, Bouchara JP. Occurrence and relevance of filamentous fungi in respiratory secretions of patients with cystic fibrosis--a review. *Med Mycol*. 2009 Jun;47(4):387-97.
- 16) Summerbell RC, Kraiden S, Kane J. Potted plants in hospitals as reservoirs of pathogenic fungi. *Mycopathologia*. 1989 Apr;106(1):13-22.

Présentation générale du programme PHYTAIR

François BOISLEUX¹ et Laurence GALSOMIES²

ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)

¹ Délégation Nord-pas-de-Calais, centre tertiaire de l'arsenal, 20 rue du prieuré, 59 500 Douai, France, francois.boisleux@ademe.fr

² Service Evaluation de la Qualité de l'Air, 27 rue Louis Vicat, 75 737 Paris cedex 15, France, laurence.galsomies@ademe.fr

Les objectifs du programme PHYTAIR

Le programme PHYTAIR étudie les capacités épuratoires des végétaux qui sont exposés aux polluants de l'air à l'intérieur des locaux.

Trois phases d'étude sont mises en œuvre :

- Faisabilité de la méthode ou phase 1 ;
- Etude en laboratoire ou phase 2 ;
- Etude dans l'habitat ou phase 3.

Bref rappel du contexte du programme PHYTAIR

Etats des lieux avant PHYTAIR

La question d'un air sain en milieu clos s'est posée dès la course à la conquête de l'espace. L'air étant le seul compartiment de l'environnement auquel l'homme ne peut se soustraire, il fallait que l'homme emporte son air dans l'espace. Les équipes de la NASA (Agence spatiale américaine) se sont interrogées sur les méthodes possibles pour disposer d'un air sain non pollué dans les capsules spatiales. Le Docteur Wolverton a été chargé par la NASA de répondre à cette question et il a eu l'idée d'étudier certaines propriétés des plantes. Les premières expériences l'ont conduit à exposer une quinzaine de plantes dans un bâtiment appelé « Biohome », simulant ainsi l'espace intérieur d'une station orbitale en présence d'un cocktail de polluants, principalement des composés organiques volatils. La mission skylab3 de 1973 avait en effet révélé, au retour de la mission, la présence dans la station de plus d'une centaine de molécules organiques volatiles à des doses importantes. Plus tard, poursuivant ces travaux en dehors de la NASA, le Docteur Wolverton étudie l'efficacité dépolluante d'une cinquantaine de plantes vis-à-vis de divers polluants le plus souvent en présence de fortes doses. Ensuite, dans les années 80, ces résultats seront publiés dans des articles scientifiques et des ouvrages.

La capacité dépolluante des plantes est démontrée par le Dr. Wolverton depuis les années 1980 dans des conditions d'expérimentations particulières (NASA – avec des doses de polluants peu réalistes des conditions réelles en milieu intérieur)

Principaux résultats du programme PHYTAIR

Au niveau français, la capacité dépolluante des plantes restait à démontrer dans des conditions réalistes de concentrations observées dans l'air intérieur. Un partenariat s'est donc créé entre le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB), la faculté de pharmacie de Lille et l'association Plant'Airpur pour étudier le pouvoir dépolluant des plantes.

PHYTAIR étudie trois gaz car ils sont souvent présents en intérieur du fait de leurs multiples sources rémanentes de pollution. Les appareils de combustion (du fait d'un mauvais entretien) émettent du **CO** ; certains produits et sources diverses (détergents ménagers, désodorisants d'intérieur, des peintures, des revêtements, des bois agglomérés) émettent du **formaldéhyde** et du **benzène**.

Les concentrations pour ces trois polluants sont plutôt étudiées à des fortes doses et en injection unique (phase 1), mais aussi pour des faibles doses et en injection en continu (phase 2). Rares sont les études scientifiques qui ont étudié ces conditions expérimentales de faibles doses et en continu.

Les concentrations de polluants choisis en phase 2 sont les suivantes :

- 0 et 30 ppm pour le CO ;
- 250 ppb et 5 ppm pour le formaldéhyde ;
- 0,5 et 3 ppm pour le benzène.

PHYTAIR Phase 1 (2004)

Mettre en évidence la capacité épuratrice des plantes et les effets des polluants

Le CO est testé à 10 ppm, le formaldéhyde à 5,7 ppm et le benzène à 3 ppm (par injection unique).

Trois plantes sont étudiées, car elles sont fréquentes dans les lieux clos, faciles à entretenir et ne fleurissent pas :

- *Scindapsus aureus* (Pothos) ;
- *Chlorophytum comosum* (plante araignée ou phalangère) ;
- *Dracaena marginata* (Dragonnier).

Ces plantes sont aussi choisies en raison de leurs caractéristiques foliaires différentes (surface et densité foliaire différentes).

Les premiers résultats ont abouti à la fois à des résultats concrets mais aussi à des perspectives de recherche encourageantes :

- La phase 1 a permis la mise au point et a montré la faisabilité d'un protocole d'exposition des végétaux à des faibles doses et en continu (autrement dit, à des concentrations de polluants réalistes que l'on retrouve assez souvent dans les habitations) ;
- Les performances d'épuration diffèrent en fonction des plantes et des polluants. Le pourcentage d'abattement des concentrations de polluants est d'abord plus fort pour le CO, puis le formaldéhyde et le benzène ;
- Les performances d'épuration des plantes sont aussi dépendantes de certains paramètres, tels que la surface foliaire, mais aussi la densité du feuillage qui joue un rôle dans la zone d'échange entre l'atmosphère et le polluant. Mise en évidence de cette influence chez *Scindapsus aureus* (benzène et formaldéhyde) et *Chlorophytum comosum* (benzène). D'autres paramètres influent également les capacités dépolluantes des plantes, comme la température, la luminosité, l'humidité et la teneur en CO₂ ;

- et aussi, les polluants en fonction de la dose peuvent provoquer certains dégâts sur la physiologie des plantes. Les effets des polluants sur leur ADN se sont révélés régulièrement significatifs (test des comètes). Cependant, dans le cadre de la phase I du programme, les conditions expérimentales ne permettaient pas de savoir si ces atteintes sont durables ou non. Ces aspects « impacts » des polluants sur les plantes seront donc poursuivis dans les phases suivantes du programme.

La capacité épuratrice des végétaux dépend des espèces étudiées ainsi que des polluants auxquels elles sont exposées, mais aussi probablement d'autres paramètres tels que la température, l'humidité, la luminosité, la concentration de CO₂ ainsi que la surface foliaire.

Les résultats de la Phase 1 ont montré que les végétaux ont un rôle réel à jouer dans le domaine de l'épuration, en plus des améliorations qu'ils procurent au niveau du ressenti général vis-à-vis de la qualité de l'environnement intérieur. L'objectif de la phase I n'a pas permis d'étudier l'ensemble des paramètres environnementaux contrôlant les variations d'abattement d'épuration des plantes. Mais dès le premier stade du programme, **il a été clairement mis en évidence que lorsqu'une relation n'est pas directe, il est déconseillé d'utiliser une relation linéaire entre les résultats de performance observés en enceintes contrôlées et des résultats de performance potentielle pour de plus grands volumes à l'échelle de pièces d'habitations.**

Au cours de la phase 1, certaines observations ont permis de distinguer quelques pistes de recherche pour orienter les objectifs de la phase 2. Par exemple, l'humidité est un paramètre qui influence l'épuration des polluants par les plantes. C'est le cas pour le formaldéhyde.

PHYTAIR Phase 2 (2006)

Mettre en évidence la capacité d'épuration des polluants par les plantes avec une dose unique et en continu

Les résultats de la phase 1 ont montré généralement une capacité d'absorption des polluants peu efficace chez le Dragonnier (*Dracaena marginata*). Les expérimentations en phase 2 se sont donc poursuivies avec *Scindapsus aureus* car il est plus sensible aux polluants et se présente aussi comme un meilleur modèle pour l'étude des relations dose/effet comparé à *Chlorophytum comosum*.

Les expérimentations réalisées en enceintes contrôlées sont suivies en injection unique et en continu pour des concentrations plus faibles de polluants comparées à la phase 1.

La phase 2 a permis d'élaborer une méthode standardisée d'évaluation des végétaux dans un objectif de promouvoir un label « plante épuratrice d'air ».

A cette fin, deux axes de recherche ont été étudiés :

- Optimisation de la maîtrise des paramètres environnementaux (température et humidité) et essai de mise au point d'une mesure des performances épuratrices des plantes exposées en continu : cela permet de déterminer la capacité de régénération du pouvoir épurateur de la plante ;
- En ce qui concerne les paramètres physiologiques : essais d'une mesure en continu des paramètres de fluorescence (i.e. pendant l'exposition) et intégration de deux nouvelles enzymes (superoxyde dismutase et glutathion réductase) venant compléter les renseignements donnés par les enzymes déjà étudiées (MDA, gaïacol peroxydase, ascorbate peroxydase).

Les polluants sont étudiés à différentes concentrations :

- 5, 10, 20 et 30 ppm pour le CO
- 250 ppb, 500 ppb et 5,7 ppm pour le formaldéhyde
- 0,5, 1,5 et 3 ppm pour le benzène

Scindapsus aureus (Pothos) a clairement montré des capacités de dépollution du benzène en fonction du temps (en enceinte contrôlée).

Par ailleurs, la phase 2 du programme PHYTAIR a aussi été l'occasion d'utiliser des plantes dans une approche de biosurveillance, plus particulièrement pour mettre en évidence le caractère génotoxique de l'air.

Une étude sur la qualité de l'air intérieur dans les écoles, menée par ATMO Nord-Pas de Calais (financement FRAMEE) a testé des plants de *Scindapsus aureus*. Cette étude réalisée en région Nord-Pas de Calais avait pour but de caractériser l'air de 10 établissements scolaires (dont des crèches). Les premiers résultats font apparaître :

- une utilisation de plantes en condition expérimentale, en parallèle avec d'autres instruments de mesure de la qualité de l'air (par métrologie), ce qui souligne la faisabilité de ce genre d'expérience ;
- une mise en évidence d'effets génotoxiques significatifs dans l'air des établissements étudiés.

Ces travaux confirment l'utilisation des plantes pour la mise en évidence de la présence mais surtout des effets des polluants. Un autre résultat très important à ne pas négliger est que l'absorption par les pots semble être aussi efficace que par les plantes (expérience benzène – pot). Le sol joue un rôle non négligeable dans les mécanismes d'accumulation.

Les trois polluants étudiés dans le programme PHYTAIR ont des actions différentes, le benzène étant celui qui exerce le plus d'effets sur le matériel génétique des cellules des plantes.

PHYTAIR Phase 3 (2009)

Voir l'adaptation de la méthode de laboratoire (enceintes contrôlées) à des conditions réelles (pièce – habitat)

La phase 3 du programme PHYTAIR a pour objectifs d'étudier le dimensionnement des dispositifs expérimentaux (enceintes) étudiés en laboratoire pour une application en conditions réelles.

Cette phase 3 produira des résultats intéressants et très novateurs d'ici mars 2011. Cela consiste à évaluer la capacité des plantes à réduire les concentrations de polluants à l'intérieur des lieux clos pour le monoxyde de carbone (CO), le benzène et le formaldéhyde. Cette évaluation portera également sur les substances organiques et chimiques émises par les plantes.

Un outil numérique sera utilisé, dans le but d'observer le comportement des polluants dans une pièce en présence des plantes (car les caractéristiques des polluants peuvent varier).

Des scénarios réalistes pourront être établis dans un premier temps pour mieux caractériser les types de comportement des polluants.

Ces essais seront réalisés *in situ*, dans une pièce témoin de la maison expérimentale MARIA du CSTB, dans des conditions réalistes de ventilation de la pièce. Cet équipement permettra dans un second temps de valider les scénarios testés.

L'épuration par les plantes en comparaison des autres procédés d'épuration de l'air intérieur

Gaëlle BULTEAU

Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB)

gaelle.bulteau@cstb.fr

Le contrôle des sources d'émission et l'amélioration des systèmes de ventilation constituent les deux principales voies envisagées depuis de nombreuses années afin de limiter l'exposition humaine à la pollution intérieure. Toutefois, une possible troisième voie consiste à traiter l'air par l'utilisation de technologies reposant sur différents mécanismes d'élimination, avec transfert de masse simple ou suivi de réactions chimiques, et en présence d'un support physique ou biologique. Concernant l'élimination des composés organiques volatils (COV) présents dans l'air intérieur, quelques procédés de traitement d'air applicables sont décrits ci-après.

Procédé avec transfert de masse sans réaction chimique : l'adsorption sur milieu poreux

Par définition l'adsorption est un phénomène de surface résultant du transfert de matière entre une phase gazeuse ou liquide (l'adsorbant) et une phase solide (l'adsorbant). Ce transfert peut être schématisé en plusieurs étapes détaillées sur la Figure 1.

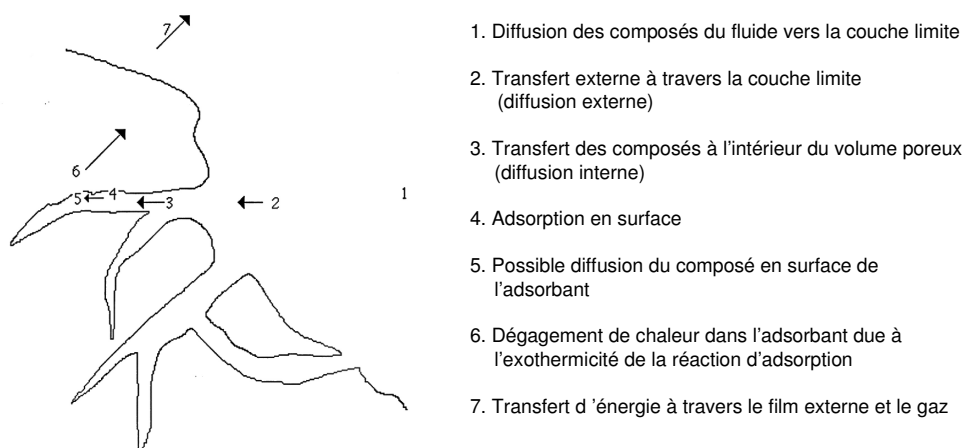


Figure 1 : Représentation schématique des phénomènes de transports, de transferts et d'interactions dans une structure poreuse

L'adsorption est favorisée dans les matériaux poreux car les surfaces développées y sont très importantes, et les quantités adsorbées sont proportionnelles à cette caractéristique. Parmi les supports adsorbants utilisés dans le traitement des COV, le charbon actif est de loin le matériau le plus utilisé devant les supports poreux synthétiques ou naturels tels que les zéolithes, les argiles ou la sépiolite. Les performances d'adsorbants solides dépendent de plusieurs facteurs dont : i) la présence d'autres gaz ou vapeur, par exemple l'humidité, ii) les caractéristiques physiques et chimiques des polluants (concentration, polarité...) et de l'adsorbant (masse, porosité, surface spécifique...).

L'efficacité des adsorbants est généralement évaluée en terme de capacité d'adsorption c'est-à-dire de quantité totale de polluant pouvant être éliminée. Ces capacités d'adsorption peuvent être déterminées pour un couple polluant-adsorbant en réalisant des courbes isothermes d'adsorption. La Figure 2 est un exemple de cinétique d'élimination obtenue en réacteur fermé.

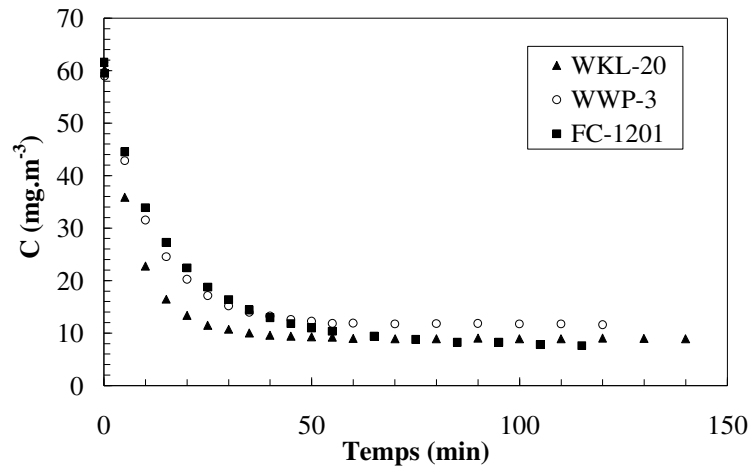


Figure 2 : Exemples de cinétiques d'élimination du formiate d'éthyle sur trois tissus de carbone activé

Procédé avec transfert de masse avec réaction chimique : l'oxydation photocatalytique

Contrairement à l'adsorption sur matériaux poreux, l'oxydation photocatalytique est un procédé destructif. Sous l'action de la lumière UV, un électron issu de la bande de valence d'un matériau semi-conducteur est transféré à sa bande de conduction, si l'énergie des photons est supérieure à l'énergie de la bande interdite du matériau. Il y a alors formation d'une paire électron-trou capable de participer à des réactions chimiques. Le plus souvent, il y a formation de radicaux hydroxyles (OH^\cdot) et d'ions superoxydes ($\text{O}_2^{\cdot-}$), espèces très réactives capables d'oxyder les COV adsorbés à la surface du catalyseur. Les ultimes produits issus de cette réaction sont le dioxyde de carbone et l'eau. La Figure 3 synthétise ces différentes étapes.

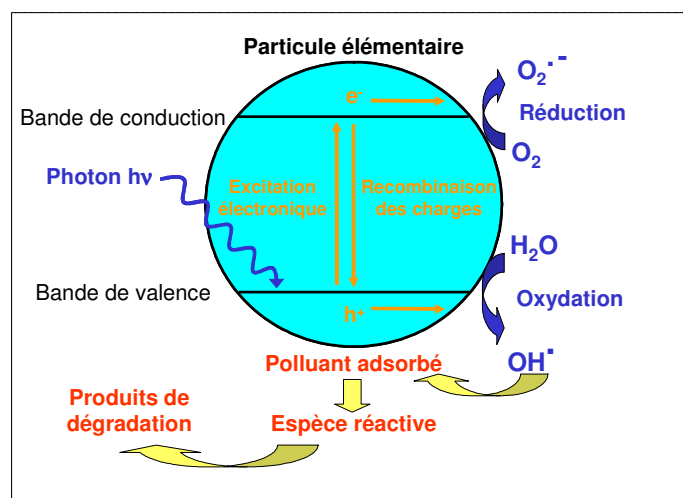


Figure 3 : Schéma de principe de l'oxydation photocatalytique

Le processus d'oxydation photocatalytique fait intervenir une phase fluide (liquide ou gazeuse) et un catalyseur solide. Il s'agit alors d'un cas particulier de la catalyse hétérogène, comprenant les étapes suivantes : i) diffusion du réactif, ii) adsorption du réactif, iii) réaction en surface, iv) désorption du produit, v) diffusion du produit. Les étapes du processus régissant la photocatalyse hétérogène sont similaires à celles observées dans le cas du mécanisme d'adsorption, la réaction en surface constituant la seule étape supplémentaire. Les paramètres cités dans la littérature comme ayant une influence sur l'efficacité d'une réaction d'oxydation photocatalytique sont les suivants : le type de photoréacteur, le photocatalyseur, la présence d'humidité, la concentration en oxygène, la concentration initiale en polluant, l'irradiation lumineuse (type de lampe et intensité lumineuse). La Figure 4 présente des exemples de cinétiques d'élimination du formiate d'éthyle à différentes concentrations initiales.

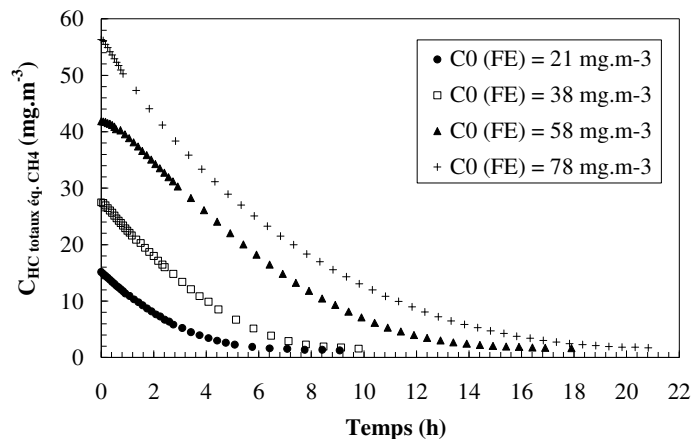


Figure 4 : Dégradation photocatalytique du formiate d'éthyle en présence de 12 g.m^{-3} de vapeur d'eau et 10 g de TiO_2

Procédé biologique : les plantes

Les recherches sur la capacité des plantes à dépolluer l'air intérieur ont été initiées à la NASA dès 1984 par Wolverton. L'objectif à l'époque était de vérifier si les plantes étaient en mesure de purifier l'air, notamment pour une application dans des systèmes clos tels que les stations spatiales d'une part, et les bâtiments d'autre part. Wolverton a étudié en chambre expérimentale l'élimination de quelques composés organiques volatils par une quarantaine de plantes, dites d'intérieur. L'ensemble des études qu'il a menées lui a permis de dresser des tableaux donnant des vitesses d'élimination pour un couple plante-polluant donné. Les quantités éliminées apparaissent sensiblement différentes d'une espèce à une autre pour un même polluant, et d'un polluant à un autre pour une même espèce.

Peu d'études ont été recensées sur la compréhension des mécanismes biologiques impliqués dans l'élimination des composés organiques par les plantes. Il semble que le substrat avec ses microorganismes associés, ainsi que les feuilles des plantes, sont tous deux impliqués dans l'élimination des composés chimiques.

Les résultats obtenus lors d'essais réalisés au CSTB (Figure 5) sont en accord avec les études menées dans les années 80 par Wolverton. Des abattements assez importants (20 %) ont également été observés en présence uniquement du support de culture (terreau). Ces résultats laissent penser que l'élimination du toluène n'est pas due principalement à une sorption sur les feuilles de la plante ou à une capture par la plante elle-même. Le support de culture apparaît donc comme étant un facteur contribuant de façon non négligeable à l'élimination du toluène. Par ailleurs, les microorganismes présents dans le sol semblent également jouer un rôle important dans le processus d'élimination du polluant. En effet, certains microorganismes sont connus pour leur aptitude à dégrader les composés organiques. Cette caractéristique est d'ailleurs largement utilisée dans les procédés de biofiltration, notamment des effluents gazeux.

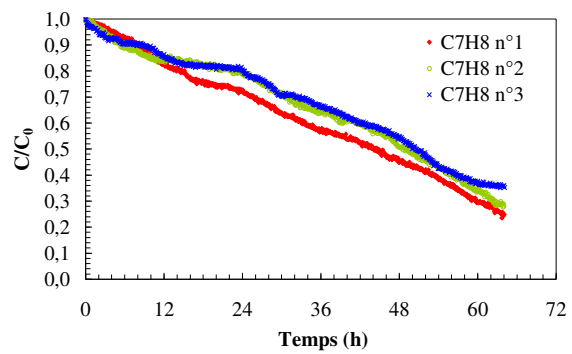


Figure 5 : Exemple de cinétiques d'élimination du toluène par *Chlorophytum comosum*

Le rôle du substrat dans les processus d'épuration par les plantes

Benjamin HANOUNE¹ et Damien CUNY²

¹ Physicochimie des Processus de Combustion et de l'Atmosphère, UMR CNRS 8522, Bâtiment C11, Université de Lille 1 Sciences et Technologies, 59655 Villeneuve d'Ascq, benjamin.hanoune@univ-lille1.fr

² Université de Lille Nord de France, E.A. 2690, « Toxiques et Cancérogènes, Professionnels et Environnementaux : nouveaux marqueurs et effets sur la santé », Département de Botanique, Faculté des Sciences Biologiques et Pharmaceutiques, 3, rue du Professeur Laguesse, 59006 Lille Cedex, damien.cuny@univ-lille2.fr

Introduction

Les travaux dans le cadre des programmes Phytair 1 et 2 ont porté sur les performances épuratrices du système complet plante/substrat. Il est apparu lors de la deuxième phase que ces deux éléments devaient être pris en compte séparément, avec d'une part des processus d'épuration liés uniquement au système aérien de la plante, et ceux liés au substrat même, que ce soit à travers le solide proprement dit, l'eau qui y est contenue, et/ou les microorganismes qui y sont présents.

Il est cependant difficile de séparer les propriétés épuratoires du substrat (biofiltration) des propriétés épuratoires de la plante (phytoremédiation), à cause de l'interdépendance entre les populations de microorganismes, le taux d'humidité et la présence de la plante. Peu de travaux ont été publiés sur ce sujet, mais on peut citer notamment ceux de Wolverton à la NASA à partir des années 1980 [1] sur la dégradation de COV, dont le benzène, le formaldéhyde, et le trichloréthylène, qui ont montré que les techniques de phytoremédiation ont une bonne efficacité potentielle associée à un faible coût et une très bonne acceptabilité sociétale. Ces constatations ont entraîné la mise sur le marché de plusieurs systèmes commerciaux de dépollution « par les plantes », même si les performances réelles de ces systèmes ne sont pas avérées, les mécanismes pas encore compris, ni les conséquences indirectes, comme la présence accrue de bactéries et de moisissures dans l'air, correctement évaluées.

La compréhension de ces mécanismes et l'évaluation des performances aussi bien en conditions contrôlées en laboratoire que dans des environnements réels font l'objet de quelques études plus récentes (par exemple [2-4]). C'est dans ce cadre que nous avons mis en place de nouvelles expériences, en complétant et modifiant le protocole initial mis au point dans la phase 2 de Phytair [5], de manière à pouvoir éventuellement intégrer l'effet du substrat lors de l'évaluation de la capacité épuratoire des plantes à l'échelle réelle, qui fait l'objet principal du programme Phytair 3.

Matériel et méthode

Comme dans le protocole développé dans Phytair 2, les expositions de *Scindapsus aureus* au monoxyde de carbone ou au benzène sont réalisées en enceinte de 300 L. Le polluant est injecté à partir d'un échantillon gazeux concentré, de manière à obtenir instantanément une concentration stable dans l'enceinte. L'injection initiale peut être suivie par une injection continue à faible concentration pendant la durée de l'expérience (24 heures).

Les niveaux de concentration en polluant choisis sont pour le monoxyde de carbone de 5, 10, 20 et 30 ppm, et pour le benzène de 500 ppb, 1.5 ppm et 3 ppm. Le suivi des concentrations dans l'enceinte

se fait par une sonde Testo pour le monoxyde de carbone, et par chromatographie en phase gazeuse pour le benzène. Les paramètres environnementaux (température, humidité relative, luminosité, CO₂) sont également suivis lors des expositions.

Chaque série d'expérience consiste en l'exposition de la plante complète, puis de la plante à laquelle on a retiré le système aérien, pour déterminer par différence son rôle spécifique. Le substrat est alors stérilisé pendant 20 mn à 121°C puis réhydraté et exposé une troisième fois, ce qui donne le rôle de la phase solide, de l'humidité et des microorganismes. Enfin, une exposition de terreau vierge nous permet de remonter aux relations entre les microorganismes et la plante.

Résultats

On observe, dans le cas d'une exposition à une concentration initiale de monoxyde de carbone, que la présence de l'appareil foliaire induit une diminution plus rapide de la concentration en polluant dans l'enceinte. Cette vitesse de diminution, qui semble être corrélée à la masse foliaire lorsque l'appareil aérien est présent, augmente linéairement avec le nombre de pots (de 1 à 6) lorsque cet appareil aérien est absent. Ceci induit un taux d'abattement plus fort (Figure 1) quand un ou deux pots seulement sont exposés.

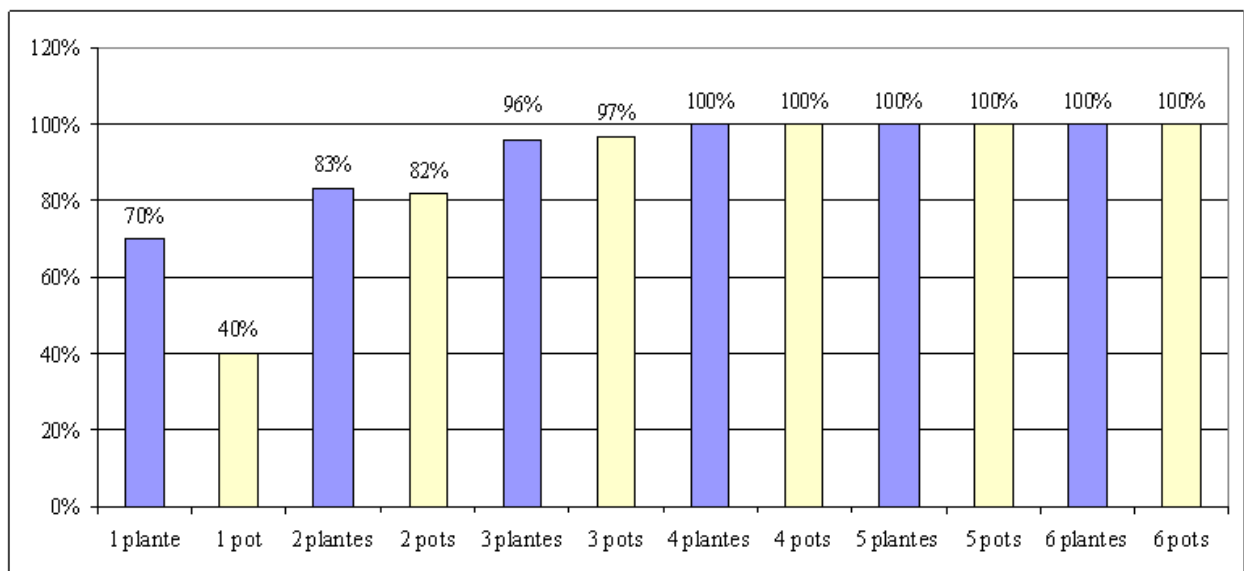


Figure 6: pourcentage d'abattement avec (bleu) et sans (rose) appareil foliaire pour une concentration initiale de 10 ppm de CO

Dans ces mêmes conditions d'exposition à 10 ppm de monoxyde de carbone, l'exposition du substrat stérilisé ne montre aucune réduction de la concentration atmosphérique, à la différence du terreau vierge ou du substrat non stérilisé, ce qui confirme le rôle majeur joué par les microorganismes. La vitesse de disparition du CO dans l'enceinte est plus forte, et par suite l'abattement constaté du CO (Figure 2), lors des expositions aux pots contenant le système racinaire que lors de l'exposition de pots avec du terreau vierge, confirmant le rôle synergique de la plante et des microorganismes.

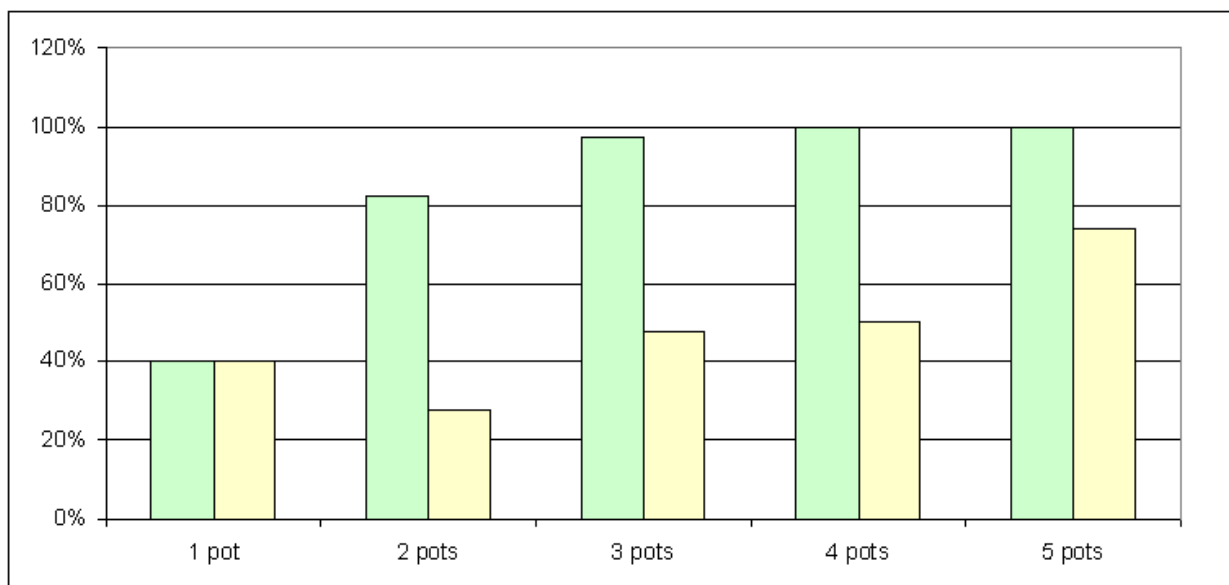


Figure 7: pourcentage d'abattement sans l'appareil foliaire (vert) ou avec du terreau vierge pour une concentration initiale de 10 ppm de CO

Conclusion et perspectives

Ces premières données sur le rôle du substrat lors de l'exposition de *Scindapsus aureus* au monoxyde de carbone doivent encore être complétées, à d'autres niveaux de concentration du polluant, et dans le cas d'injections continues, qui correspondent plus aux conditions réelles en air intérieur. Ces mesures, ainsi que celles sur l'exposition au benzène sont en cours de réalisation. Elles sont couplées également à l'analyse des microorganismes contenus dans le substrat ainsi que dans l'air.

Références bibliographiques

1. Wolverton, B.C. and J.D. Wolverton, *Plant and soil microorganisms: removal of formaldehyde, xylene and ammonia from the indoor environment*. J. of the Mississippi Acad. Sci., 1993. **38**: p. 11-15.
2. Dingle, P., P. Tapsell, and S. Hu, *Reducing Formaldehyde Exposure in Office Environments Using Plants*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2000. **64**(2): p. 302-308.
3. Darlington, A., et al., *The Biofiltration of Indoor Air: Implications for Air Quality*. Indoor Air, 2000. **10**: p. 39-46.
4. Orwell, R., et al., *Removal of Benzene by the Indoor Plant/Substrate Microcosm and Implications for Air Quality*. Water, Air, & Soil Pollution, 2004. **157**(1): p. 193-207.
5. Cuny, D., B. Hanoune, and M.-A. Rzepka, *Programme Phytair – phasell : Biosurveillance des polluants de l'air intérieur*. 2009.

Les autres composantes de la thématique : les effets des polluants intérieurs sur la plante, la biosurveillance de l'air intérieur

Marie-Amélie RZEPKA

Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique (APPA), Comité régional Nord-Pas de Calais, 235 avenue de la recherche, CS50086, 59373 LOOS

marzepka@appanpc.fr

Introduction

Nous passons près de 90 % de notre temps dans des espaces clos, où nous sommes exposés à un cocktail de polluants issus des matériaux de construction et d'ameublement, des produits d'entretien, ou encore de nos activités (bricolage, cuisine...). Certains gestes simples permettent d'agir sur la pollution de l'air intérieur, notamment l'aération quotidienne des locaux, la présence d'une ventilation mais aussi la limitation des sources et l'utilisation rationnelle des produits. Depuis quelques années se développent également des appareils de traitement de l'air intérieur, basés sur divers procédés physicochimiques comme la photocatalyse et le traitement thermique. Les dispositifs de filtration de l'air commercialisés aujourd'hui contiennent des matrices adsorbant les polluants, comme le charbon actif, mais peuvent aussi utiliser des systèmes biologiques au sein desquels les microorganismes et les végétaux peuvent jouer un rôle dans l'épuration de l'air (biofiltration). Concernant les végétaux plus particulièrement, les premiers travaux de grande ampleur sur les capacités épuratrices des plantes ont débuté dans les années 80, menés par le Docteur Wolverton, alors chargé par la NASA de mettre au point un système d'épuration de l'air au sein des navettes spatiales.

Le Programme PHYTAIR, qui a commencé en 2004, est un programme de recherche français initié par six partenaires : la délégation régionale Nord-Pas de Calais de l'ADEME, la Faculté de Pharmacie de Lille, le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment de Nantes, les conseils régionaux du Nord-Pas de Calais et des Pays de Loire, et l'Association Plant'Air Pur. Il poursuit l'étude des capacités d'épuration de l'air intérieur par les plantes, mais s'intéresse également aux mécanismes biologiques qui sont impliqués, et aux possibilités d'application des méthodes de biosurveillance végétale - plus communément utilisées pour la qualité de l'air extérieur - aux environnements intérieurs. Dans le cadre de ce programme, ce sont les réponses non visibles, au niveau des cellules ou du matériel génétique (ADN) qui sont recherchées dans les feuilles des plantes exposées aux polluants. Pour cela, une grande partie du programme est consacrée à la mise au point d'un protocole standard d'exposition des plantes, pour l'étude en routine des interactions entre celles-ci et les polluants, permettant ensuite des comparaisons fiables entre les résultats.

Le programme se divise en trois phases, passant progressivement de conditions d'exposition au laboratoire en enceintes étanches (300 litres) vers une exposition reflétant davantage celle retrouvée dans les logements (enceinte CUBE de 8 m³ du PC2A et maison test MARIA du CSTB de Paris). La phase de dimensionnement, actuellement en cours, permettra d'apporter des réponses par rapport au nombre de plantes nécessaires pour obtenir une diminution de concentration des polluants, mais aussi par rapport à l'évolution de l'état de santé de ces plantes au cours de leur exposition.

Méthodologie

Pour la première campagne nationale d'étude de la qualité de l'air dans les logements menée par l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur (entre 2003 et 2005), les polluants à prendre en compte pour l'évaluation du risque sanitaire dans l'air intérieur ont été hiérarchisés en fonction de leur fréquence et de leur toxicité (www.air-interieur.org). Le Programme PHYTAIR concerne le formaldéhyde, le benzène (hautement prioritaires) et le monoxyde de carbone (très prioritaire). A long terme, le benzène peut causer des troubles nerveux et sanguins. Le formaldéhyde possède des propriétés irritantes et allergisantes, et peut provoquer à long terme des pathologies respiratoires chroniques. Ce sont tous les deux des composés organiques volatils reconnus cancérigènes. Le monoxyde de carbone (CO) peut entraîner la mort dans le cas d'intoxications aiguës, et des troubles cardiovasculaires dans le cas d'intoxications chroniques.

Dans la première phase du programme, trois modèles végétaux et trois polluants fréquents ont été étudiés : *Chlorophytum comosum*, *Dracaena marginata*, et *Scindapsus aureus*.

Ces plantes ont été choisies pour leur fréquence dans les logements et leur bonne adaptation à ce type d'environnement. De plus, elles ne présentent aucun caractère allergisant par voie respiratoire, et les dégâts foliaires provoqués par des agents autres que la pollution ont été étudiés et sont connus. A l'issue de la phase 1, l'espèce *Scindapsus aureus* s'est avérée être un bon modèle, pratique à manipuler, et dont la sensibilité aux polluants permet l'étude des relations dose/réponse. Elle fut donc retenue pour les tests des phases suivantes.

Pour les trois polluants, deux modes d'exposition en enceinte contrôlée ont été testés (injection unique et injection en continu), à différentes concentrations (0,5 à 3 ppm de benzène, 0,25 à 6 ppm de formaldéhyde et 5 à 30 ppm de CO). Une application concrète a été réalisée en exposant des plants de *Scindapsus aureus* dans dix écoles de la région Nord-Pas de Calais, dans le cadre d'une collaboration avec le réseau ATMO Nord-Pas de Calais qui effectuait des mesures de concentrations en différents polluants.

A l'issue de l'exposition, la méthode utilisée est la même quel que soit le mode d'exposition. Des fragments de feuilles sont prélevés à l'emporte-pièce sur les plants exposés et témoins, pesés, trempés dans l'azote liquide et congelés pour le dosage des marqueurs de stress oxydant (dégradation des lipides membranaires et activités enzymatiques antioxydantes). En parallèle, pour étudier les effets génotoxiques, deux disques foliaires sont prélevés sur chaque plant et préparés pour réaliser le test des comètes immédiatement afin de limiter les phénomènes de réparation de l'ADN.

Résultats

Actuellement, le polluant pour lequel les résultats sont les plus complets est le benzène. En injection unique, les variations des activités de la guaiacol peroxydase (GPX), et de la glutathion réductase (GR) sont similaires à celles de l'APX, ce qui suggère l'implication du glutathion dans les mécanismes antioxydants. La concentration en MDA (témoin de la dégradation des membranes) et l'activité ascorbate peroxydase (APX) évoluent en sens inverse, quels que soient la concentration et le type d'injection. Les résultats suggèrent que l'activité APX antioxydante est efficace jusqu'à une certaine dose d'exposition. En injection continue, les activités de la GPX et de la GR augmentent avec la dose d'exposition. Ces résultats suggèrent que l'injection continue permet l'induction de mécanismes antioxydants.

En ce qui concerne les effets génotoxiques, en injection unique, les atteintes génotoxiques sont supérieures au témoin quelle que soit la dose injectée, sans différence d'effet selon la dose. En revanche, en injection continue, les atteintes génotoxiques sont supérieures au témoin quelle que soit la dose injectée, mais il semble y avoir avec une relation dose effet, qui reste à vérifier.

Les effets génotoxiques observés sur les plants exposés dans les écoles varient en fonction des établissements, mais les différences entre les témoins et les plants exposés sont toujours significatives. Ceci met en évidence les propriétés génotoxiques sur les plantes du cocktail de polluants présents dans l'air à l'intérieur des salles de classe.

Conclusion

Suite à ces travaux, la méthode de travail élaborée dans le programme PHYTAIR pourra être utilisée, notamment par les professionnels de l'horticulture, pour réaliser des tests en routine sur d'autres plantes et d'autres polluants de l'air intérieur, l'objectif final en filigrane étant la commercialisation de plantes dont le caractère épurateur de l'air aura été scientifiquement prouvé. Cependant, nous venons de voir que l'exposition aux polluants n'est pas sans effet sur les plantes, et il semble important de ne pas négliger les aspects biologiques et physiologiques dans les expériences futures, d'autant plus qu'il est probable que l'état de santé de la plante ait une influence sur ses capacités à absorber les polluants. En outre, ce sont ces mêmes altérations cellulaires et intracellulaires qui pourraient servir de biomarqueurs dans le cadre d'une mise en place d'une biosurveillance de l'air intérieur par les végétaux supérieurs dans des locaux aussi divers que des logements, des salles de classe ou encore des bureaux.

Les travaux sur l'épuration de l'air intérieur par les plantes conduits à l'étranger : une vision panoramique

Jean-Claude MAUGET

AGROCAMPUS OUEST – Centre d'Angers – INHP, Association Plant'Airpur

mauget@angers.inra.fr

Introduction

La prise de conscience de l'existence d'une pollution de l'air intérieur des bâtiments est relativement récente. L'idée que les plantes puissent être une solution pour épurer, dépolluer ou tout simplement maintenir la qualité de l'air intérieur est encore plus récente même si la phytoremédiation était connue depuis déjà de nombreuses années.

L'examen d'une récente analyse bibliographique réalisée par un groupe d'étudiantes de l'INHP (Deblock et al., 2010) montre que les recherches conduites sur la qualité de l'air intérieur ne représentent qu'une faible partie des travaux consacrés aux pollutions atmosphériques. Ces recherches sont en général très disparates, les plus nombreuses étant des études de caractérisation des polluants rencontrés dans les bâtiments.

Les travaux sur les potentialités de dépollution des plantes vertes ont commencé dans les années 1980 aux Etats-Unis : ils sont l'œuvre de Wolverton qui, à la demande de la NASA, recherchait des moyens d'épurer l'air à bord des stations orbitales. Les recherches qui ont suivi avaient pour but de vérifier les résultats de Wolverton. Elles sont finalement le fait d'équipes relativement peu nombreuses.

On peut s'interroger sur la faible attractivité de cette thématique pour les équipes de recherche malgré l'intérêt du sujet et le contexte d'une demande sociale fortement orientée en faveur des dispositifs « écologiques ». Plusieurs arguments peuvent expliquer au moins partiellement ce relatif manque d'intérêt :

- les plantes vertes d'intérieur ne sont pas des modèles séduisants pour les chercheurs, si l'on met à part le Kalanchoë longtemps utilisé comme support expérimental pour l'étude de la photosynthèse des Crassulacées. Leur très grande diversité ne facilite pas la mise en évidence de mécanismes suffisamment génériques ;
- les polluants rencontrés dans les locaux d'habitation, ou à usage professionnel sont eux-mêmes extrêmement diversifiés : si l'on croise diversité des végétaux et diversité des molécules réputées polluantes, on atteint vite un très grand nombre de situations expérimentales ;
- enfin, et cela a été souligné plus haut, la prise de conscience de l'importance de cette pollution intérieure est encore récente.

Quoiqu'il en soit, les systèmes biologiques d'épuration de l'air sont, bien entendu, très fortement concurrencés par des systèmes physiques de plus grande antériorité et dont l'efficacité est connue.

Nous centrerons l'étude bibliographique sur les points suivants :

- les travaux sur la biofiltration : ce sont des approches assez globalisantes dans lesquelles on s'intéresse à l'activité dépolluante du complexe plante-microorganisme-sol (ou substrat) ;

- l'étude du potentiel de dépollution des plantes : les recherches sont centrées sur la plante elle-même, les approches assez disparates ;
- pour mémoire, car très peu de travaux ont été conduits dans ce domaine, des recherches sur la plante comme source de polluants de l'air intérieur.

Nous n'évoquerons ici ni les travaux d'identification et caractérisation des polluants, essentiellement les composés organiques volatils (COV), ni ceux portant sur l'origine de ces composés et leurs conséquences sur la santé humaine.

1. Considérations d'ordre général

1.1. Les principaux pays où sont conduites les recherches

Les pays les plus actifs sont les Etats-Unis, le Japon, l'Italie et le Danemark. Au total, plus de 70 laboratoires s'intéressent ou se sont intéressés à la pollution de l'air intérieur, mais ce nombre en apparence important ne doit pas masquer la réalité que, bien souvent, les recherches dans le domaine n'ont été que très ponctuelles. Très peu de laboratoires manifestent un intérêt soutenu pour cette thématique. Le nombre des laboratoires travaillant sur l'action dépolluante des plantes est encore plus faible.

1.2. Les espèces étudiées

Elles sont extrêmement nombreuses (plusieurs dizaines) et reflètent la grande variété des végétaux utilisés comme plante d'intérieur. De ce fait il n'existe pas de plante modèle sur laquelle les équipes ont fait converger leurs efforts.

2. La biofiltration

Il s'agit d'approches en général très globales comme celles mises en œuvre par Alquezar et al. (2006) qui prennent la forme d'une enquête : on constate l'effet épurateur de plantes différentes disposées dans des locaux dont l'atmosphère contient divers COV en plus ou moins grande concentration. Des mesures de concentration réalisées à différents moments montrent que la présence de plantes conduit à une réduction du niveau total de COV. Ce type d'expérience n'apporte aucune information sur les mécanismes en jeu ; il a par contre l'avantage de montrer l'intérêt des plantes vertes pour maintenir ou restaurer la qualité de l'air dans les bâtiments.

Des analyses plus précises visent à comprendre la part respective de la partie aérienne des végétaux et de l'ensemble racine / microorganismes / substrat dans l'activité dépolluante des plantes d'intérieur comme l'ont étudié Wood et al. (2006), Orwell et al. (2002, 2004) ou Mung Hwa Yoo et al. (2006). Ces travaux permettent de mettre en évidence le rôle de la partie souterraine, mais sans que la quantification des effets soit très précise. En règle générale, les dispositifs expérimentaux sont trop variables et souvent trop complexes (plusieurs espèces végétales en expérimentation elles-mêmes soumises à différents types de contaminants) pour qu'il soit possible de déduire des relations de portée générale. De telles expérimentations ne permettent pas d'avoir accès aux mécanismes en jeu. Elles peuvent inspirer des hypothèses en particulier sur la façon dont les microorganismes interviendraient mais sans pouvoir les vérifier.

3. Potentiel de dépollution des plantes

On a affaire ici à un ensemble d'expériences dont le principe est toujours le même. L'expérimentateur place une ou des plantes dans une enceinte contenant une concentration connue en molécules polluantes. Il mesure alors, en général en continu, l'évolution de cette concentration, toujours une décroissance, en présence des végétaux. Il peut ainsi quantifier l'activité potentielle de dépollution des plantes en expérimentation. Ce schéma expérimental est très éloigné des conditions d'un local habité et il n'est donc pas possible d'utiliser directement ces données pour prévoir l'efficacité de telle ou telle plante en conditions normales. Par contre, ces dispositifs expérimentaux permettent d'établir des comparaisons entre espèces, d'évaluer l'effet de certains paramètres caractérisant les plantes (surface foliaire, âge de la plante, présence de fleurs) ou leur environnement (éclairage, humidité relative de l'air).

Comme précédemment, ces expériences sont souvent trop complexes et de ce fait leur interprétation n'est pas toujours aisée : un grand nombre de plantes est exposé à plusieurs espèces de polluants considérées séparément. Par contre, très peu de travaux (Mung Hwa Yoo et al., 2006 ; Orwell et al., 2006) considèrent le mélange de plusieurs polluants, situation rencontrée en conditions réelles, et cherchent à comprendre comment la présence d'un polluant peut modifier l'efficacité dépolluante d'une plante vis-à-vis d'une autre molécule par rapport à l'efficacité mesurée quand cette molécule est seule. Ces travaux montrent l'existence d'interactions entre les contaminants qui ont pour conséquences de faire varier l'efficacité dépolluante du végétal.

4. La plante, source de pollution

Les allergies sont aujourd'hui une question de santé publique importante. Le fait d'utiliser des plantes pour assainir l'air intérieur pose inmanquablement la question du rôle moins favorable que pourrait avoir ces plantes. La majorité des végétaux utilisés n'étant pas des plantes à fleur, le risque d'allergies polliniques est relativement réduit. Par contre la question du dégagement de composés volatils par les plantes d'intérieur reste posée et très peu de travaux y sont consacrés. A cet égard, le travail de Yang et al. (2009) est intéressant : il montre que certaines plantes comme *Spathiphyllum wallisii*, *Sansevieria trifasciata*, *Ficus benjamina* ou *Chrysalidocarpus lutescens* dégagent des composés volatils et des terpénoïdes dont certains sont reconnus pour être biologiquement actifs même si leur effet sur la santé humaine n'est pas connu. Il est certain qu'il faudra être attentif à cette question.

De la même façon, le rôle possible que pourraient jouer le substrat et les microorganismes présents dans le substrat sur la qualité de l'air dans les locaux d'habitation est certainement à prendre en considération.

Ce qu'il faut retenir

Il existe dans le monde un courant de recherche sur l'épuration de l'air intérieur par les plantes. Il est le fait d'un nombre de laboratoires relativement peu important. Les travaux sont le plus souvent orientés vers de la caractérisation d'un potentiel de dépollution, par contre les recherches sur les mécanismes en jeu (devenir des polluants dans la plante, rôle des microorganismes du substrat et de la rhizosphère, dégâts provoqués par les polluants sur la plante, à différents niveaux d'organisation) sont relativement rares.

De ce point de vue, les recherches conduites en France dans le cadre du programme Phytair, avec le soutien de l'association Plant'airpur[®], sont intéressantes car elles visent à :

- comprendre le comportement des plantes vis-à-vis des COV ;
- comprendre les mécanismes par lesquels les plantes absorbent et transforment ces molécules et par lesquels les polluants de l'air intérieur peuvent agir sur la physiologie de la plante.

Cependant de larges pans de connaissances restent encore inexplorés comme le rôle du substrat et des microorganismes. Par ailleurs, la question du dimensionnement des dispositifs de dépollution par les plantes (combien de plantes, de quelle dimension et comment les disposer de façon efficace dans une pièce de volume donné, surface foliaire exposée rapportée au volume de la pièce, influence de la ventilation ou du conditionnement de l'air...) n'est pas abordée de façon rigoureuse et il apparaît nécessaire aujourd'hui de dépasser les approches purement empiriques mises en œuvre.

CHOIX DE REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Kim K.J., Kil M.J., Song J.S., Yoo E.H., Son K.-C., Kays S.J. 2008 – Efficiency of volatile formaldehyde removal by indoor plants : contribution of aerial plant parts versus the root zone. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 133, 521-526

Orwell R.L., Wood R.A., Tarran J., Torpy F., Burchett M.D. 2002 – Potted-plant / growth media interactions and capacities for removal of volatiles from indoor air. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 77, 120-129

Wood R.A., Burchett M.D., Alquezar R., Orwell R.L., Tarran J., Torpy F., 2006 – The potted-plant microcosm substantially reduces indoor VOC pollution : I. Office-field study. *Water, Air & Soil Pollution*, 175, 163-180

Wood R.A., Orwell R.L., Burchett M.D., Tarran J., Torpy F. 2006 - The potted-plant microcosm substantially reduces indoor VOC pollution : II. Laboratory study. *Water, Air & Soil Pollution*, 177, 59-80

Wolverton B.C., McDonald R.C., 1985 – Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy efficient homes. *Economic Botany*, 38, 224-229

Yang D.S., Pennisi S.V., Son K.-C., Kays S.J. 2009 – Screening indoor plants for volatile organic pollutant removal efficiency. *HortScience*, 144, 1377-1381

Yang D.S., Son K.C., Kays S.J. 2009 – Volatile organic compound emanating from indoor ornamental plants. *HortScience*, 144, 396-400

Yoo M.H., Know Y.J., Son K.-C., Kays S.J. 2006 – Efficacy of indoor plants for the removal of single and mixed volatile organic pollutants and physiological effects of the volatiles on the plants. *HortScience*, 131, 452-458

On pourra utilement consulter l'analyse bibliographique réalisée par un groupe d'étudiantes de l'INHP – option Horval, à la demande de l'association Plant'airpur[®] : Deblock E., Denis R., Gaufreteau P., Lasne D. 2010 – Etat des lieux sur la qualité de l'air intérieur et la dépollution par les plantes. *Rapport, projet Horval 2009-2010, AGROCAMPUS OUEST – Centre d'Angers – INHP, 127p*

Botanical Air Filtration for Improving Indoor Air Quality

Jensen ZHANG^{1*}, Zhiqiang WANG¹, Dacheng REN², Martin MITTELMARK³ and Bill WOLVERTON⁴

¹ Building Energy and Environmental Systems Laboratory, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Syracuse University, Syracuse, NY

² Department of Biomedical and Chemical Engineering, Syracuse University, NY

³ PhytoFilter Technologies Inc., Schuylerville, NY

⁴ Wolverton Environmental Services Inc., Picayune, MS

* Corresponding email: jszhang@syr.edu

ABSTRACT

After a brief overview of the historical development of the botanical air filtration (BAF) technology, this talk summarizes the latest research and development (R&D) at Syracuse University on a BAF system that is intended for full-scale deployment in office buildings. The R&D included: 1) prototype design; 2) full-scale short-term chamber testing and performance evaluation; 3) full-scale long-term field testing and performance evaluation; 4) microorganism identification and VOC degradation rate determination; and 5) mechanistic modeling and simulation of the filtration and bio-degradation processes involved for the purpose of system optimization.

The BAF system employs a mixture of activated carbon and pebbles to form the root bed for the plant (Golden Pothos), a fan drawing air through the root bed and an auto-irrigation unit. Results from “pull-down” tests using a 55 m³ chamber showed that the BAF system had very high initial removal efficiencies (70% to 99%) under realistic flow rates and acceptable pressure drop conditions, indicating the feasibility for full-scale deployment. The full-scale field demonstration tests in a 16-cubical office space showed that the BAF system was able to maintain sufficiently high removal efficiencies (~40% for toluene and ~70% for formaldehyde) over a 60 day testing period. Based on the EnergyPlus simulation results, this would result in an estimated annual energy savings of 25% in heating and 15% in heating and cooling combined for the Syracuse, NY climate (Very Cold Climate Zone) while maintaining acceptable IAQ. Several types of microbes were detected in the root bed and in the access irrigation water of the BAF system, but no microbes were found in the outlet air supplied to the office space. Further laboratory tests confirmed the ability of the microbes detected in degrading formaldehyde and provided data on percent reduction over a 24 hour period. A mechanistic model has been developed to describe the airflow movement, adsorption, absorption, and bio-degradation processes involved in the root bed. The model has been implemented using the previously established combined heat, air, moisture and pollutant simulation (CHAMPS) frame work, and verified by simple to more complicated simulation case studies. Further research will include: experimental validation of the simulation model and BAF system improvement through selection of optimal microbes and design optimization by using the simulation model.

KEYWORDS

Botanical air filtration, Plant and IAQ, Volatile organic compounds (VOCs), Microorganisms

INTRODUCTION

Plants are pleasing to the human eyes. Botanical air filtration using selected plants can be integrated with architectural and interior design to provide pleasant, attractive and nature-like indoor environment while at the same time reducing the concentration of indoor pollutants.

Botanical air filtration (BAF) uses either the plant leaves and/or the root bed to adsorb or absorb volatile organic compounds (VOCs) in room air, and relies on metabolism process on the leaves or the microorganisms in the root bed for the VOC decomposition and degradation. Several studies have demonstrated the potential of BAF to remove indoor VOCs (Wolverton et al., 1984; Wolverton et al., 1989; Darlington et al., 2000; Chen et al., 2005). However, there are very limited data demonstrating the effectiveness of BAF systems under *realistic and full-scale ventilation conditions* and inadequate understanding of the true removal mechanisms in these systems. There are apparent mismatches between experimental observations and theoretical results from transfer-based models on air biological treatment (Zarook et al., 1996; Joseph et al. 2005).

The objectives of the present study was to: 1) develop a full-scale prototype BAF system for improving IAQ in an office environment; 2) evaluate and demonstrate its short and long-term performance through environmental chamber testing and field testing; 3) improve the understanding of the removal mechanism of the BAF system; and 4) develop an approach to optimize the BAF design through proper microbe selection and enhancement, and through modeling and system integration.

PROTOTYPE DESIGN

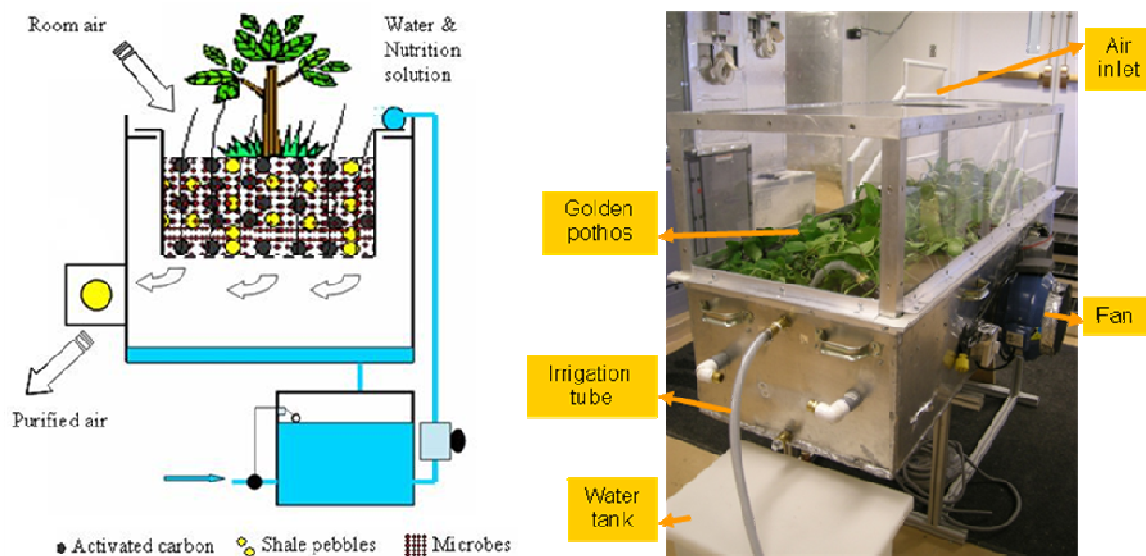


Figure 1. BAF system prototype

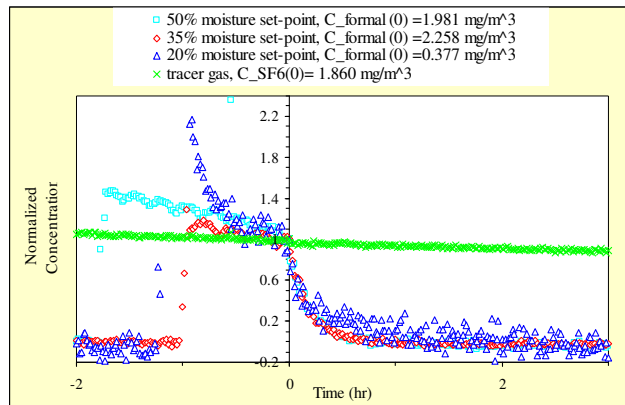
A prototype BAF system was developed with the capacity of delivering up to 600 ft³/min (1019 m³/h) to a conditioned space with a pressure drop of less than 0.4 inch of water (97 Pa) across the root bed. The root bed was 0.2 m thick and covered an area of 1.08 m² (1.8m×0.6 m). It consisted of a mixture of 50% activated carbon and 50% pebbles. Golden Pathos was used with a density of 8 plants per square meter. An auto-irrigation system was used to keep the moisture content of the root bed within the range of 0.1 to 0.3 m³ water/m³ of bed volume. The maximum face velocity through the root bed was 0.26 m/s. The system can either operate as a standalone unit drawing air directly from and return the filtered air back to a ventilated space, or be integrated into the a heating, ventilating and air-conditioning (HVAC) system.

FULL-SCALE ENVIRONMENTAL CHAMBER TESTING

A full-scale environmental chamber (55 m³, or 1920 ft³, Herrmann et al. 2003) was operated under 100% recirculation mode with VOC emissions from a composite wood-based office workstation system, and a one-time formaldehyde injection at the beginning of the test. The BAF prototype was placed inside the chamber, and its initial removal performance was determined by using the “pull-down” test procedure (Chen et al. 2005). Results showed that the initial single pass removal efficiency ranged from 70% to 99% for formaldehyde and toluene (Table 1), and the moisture content had little effects on the initial removal performance (Figure 2b). The pressure drops across the bed were below 0.3” of water (73 Pa).



a. Test set-up



b. Formaldehyde and SF₆ concentration decay

Figure 2. Full-scale environmental chamber tests for three moisture content conditions

Table 1 Clean Air Delivery Rate (CADR) Under Different Operating Flow Rates, in ft³/min (m³/h)

Total air flow rate	150 (255)	350 (595)	550 (934)
CADR for Toluene	140 (238)	270 (459)	380 (646)
CADR for Formaldehyde	149 (253)	326 (554)	415 (705)

FULL-SCALE FIELD TESTING AND PERFORMANCE EVALUATION

The BAF system was integrated into the HVAC system of a newly constructed clean office room (Figure 3). The fan of the BAF system operated at an air flow rate of 815 m³/h. The total area of the test room was 96.8 m². There were 16 workstations in the room. The total amount of supply air for this room was 2378 m³/h during the tests. The test room was maintained at 22°C with a relative humidity of 30%. In order to simulate contaminant source under a more typical office conditions, 48 pieces of unused particleboard (1.2 m x 0.8 m each) were placed in the test room. Major emitted compounds were: Pentanal, toluene, hexanal, xylene, α -pinene, formaldehyde and acetaldehyde, which were selected as target compounds for testing and

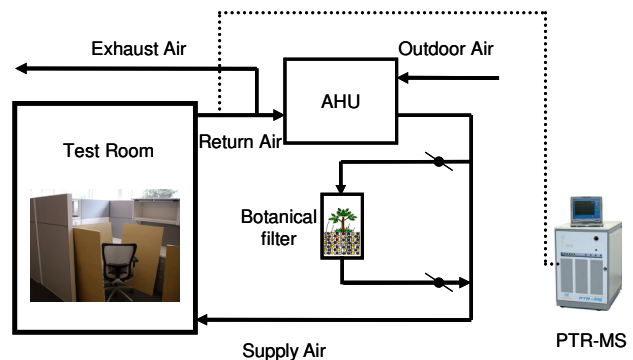


Figure 3. Field test setup with integration of BAF system into HVAC and VOC monitoring by PTR-MS

analysis. A Proton Transfer-Mass Spectrometer (PTR-MS) was used to monitor these target compounds in real-time. The detection limits of the PTR-MS were 0.06 ppb for toluene, 0.08 ppb for α -pinene, 0.2 ppb for formaldehyde and 0.03 ppb for acetaldehyde. The sampling inlet of PTR-MS was connected with the return air duct (Wang et al. 2009).

BAF system vs. outdoor air ventilation. Results showed that the mode of 5% outdoor air plus BAF system had the similar concentration level as 25% outdoor air (560 m³/h) without filter. The BAF system provided an equivalent clean air delivery rate (CADR) of 476 m³/h for formaldehyde (Figure 4a). This was within 10% of the value previously determined from the full-scale environmental chamber test (520m³/h). The 5% outdoor air plus BAF system also resulted in a similar effect of 10~25% outdoor air ventilation for toluene removal (Figure 4b). Overall, if the quality of air in the space is maintained at the same level as the case of 25% outdoor ventilation, use of the BAF system would result in about an estimated 15% saving in heating energy for the space. Based on the EnergyPlus simulation results, this would result in an estimated annual energy savings of 25% in heating and 15% in heating and cooling combined for the Syracuse, NY climate (Very Cold Climate Zone) while maintaining acceptable IAQ.

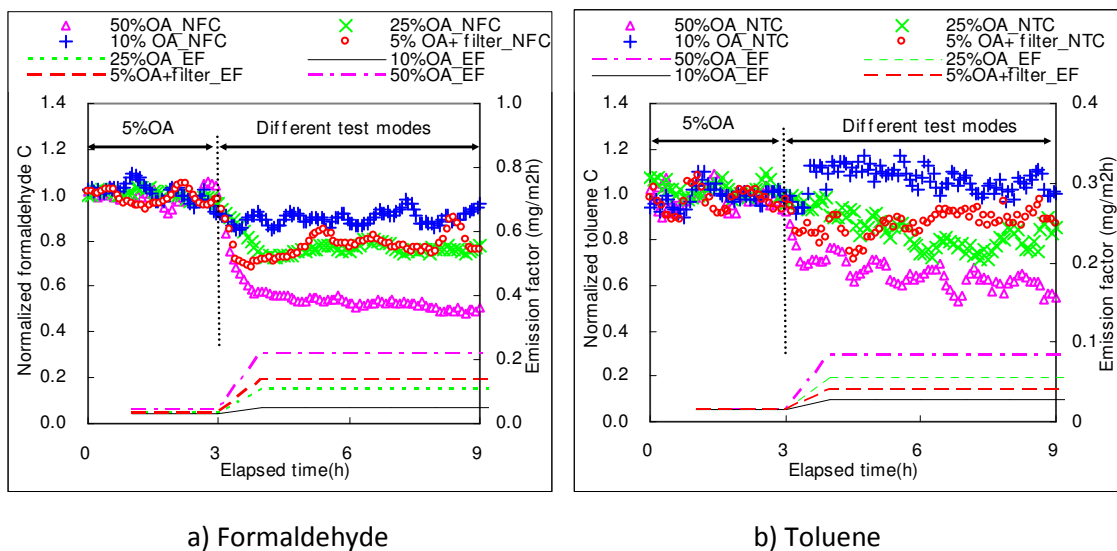


Figure 4. Comparison of room pollutant concentrations

Effect of bed water content. The single pass efficiency (SPE) for formaldehyde decreased very fast when the water content of the bed was less than 5%, while the SPE for toluene decreased significantly when the water content was higher than 32%. This indicated that 5% to 32% bed water content is the best range where the botanical filter worked well for both water soluble and insoluble compounds. The SPEs were around 70% and 40% for formaldehyde and toluene, respectively in this range.

Long-term performance. The BAF system was operated continuously for over 60-days when the outdoor ventilation air was kept at 5% of total supply air flow rate to the space. The SPE for formaldehyde almost kept at constant, around 70%. The SPE for toluene was negatively influenced by the water content in the bed, but was still kept at 40% 45 days after. Note that without the BAF system, the concentrations in the space would have been 30% higher than the measured results, due to the continuous generation of toluene and formaldehyde by the sources.

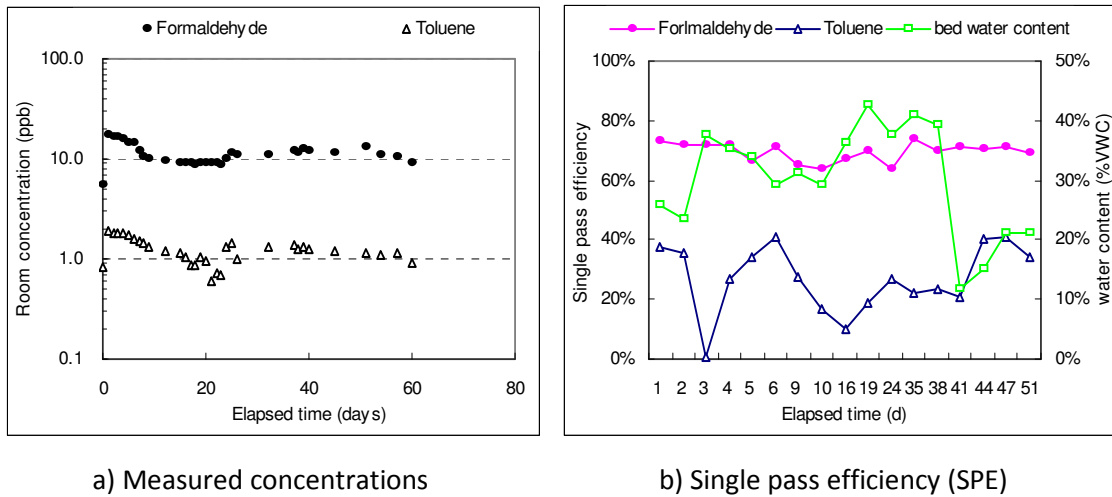


Figure 5. Long-term (60+ days) performance

MICROBES AND THEIR VOC DEGRADATION RATES

To better understand the BAF system and optimize its performance, the microbes in the prototype system and their activities for formaldehyde removal were characterized. Golden pathos was studied and the microbes were isolated from the plant roots and pebbles. By using universal primers to amplify 16S rRNA genes, 7 different strains of bacteria were identified belonging to the species of *Arthrobacter aurescens*, *Arthrobacter oxydans*, *Leifsonia xyli*, *Bacillus cereus*, *Pseudomonas putida* and *Bacillus sp.* In particular, a strain of *Arthrobacter aurescens* TC1 isolated from this system was found to reduce the concentration of formaldehyde by 86.2% after incubation for 24 hours with a starting concentration of 11.84 ppm (Huang et al. 2010, Table 2).

Table 2. Microbes (strains of bacteria) Identified and Their Activities for Formaldehyde Removal

Species	Colony description	Formalin (aqueous formaldehyde) degradation over 24 hours (Initially 12mg/L)
<i>Arthrobacter oxydans</i>	White big	74.5%
<i>Pseudomonas putida</i>	Yellow Dark	58.4%
<i>Arthrobacter aurescens</i>	White small	62.3%
<i>Arthrobacter aurescens</i> TC1	Dark yellow	86.2%
<i>Leifsonia xyli</i> subsp. <i>xyli</i> str. CTCB07	Brown	73.7%
<i>Bacillus sp.</i>	Orange	0%
<i>Bacillus cereus</i>	White big	71.6%

MECANISTIC MODEL DEVELOPMENT AND VERIFICATION

A numerical model was developed to simulate the operation of BAF systems, and for optimal system design (Wang et al. 2010). The model considered the following volatile organic compounds (VOCs) transport, adsorption/absorption and decomposition processes: (1) VOCs convection by airflow between pellets and pebbles, and convective mass transfer from the bulk of the gas phase to the external surface of adsorbent pellets (activated carbon); (2) Absorption of water soluble compounds such as formaldehyde by water films on the surface of the sorbents and pebbles; (3) VOCs physical adsorption by activated carbon, either on dry surfaces or through the water films (for water soluble compounds only); (4) VOCs degradation by microorganisms. The model was implemented on the platform of CHAMPS-BES, a program for coupled heat, air, moisture and pollutant (VOCs) transport and storage simulation (<http://champs.syr.edu/>).

Preliminary simulation results showed that a certain level of minimum bio-degradation rate is needed to provide sustainable VOC removal capacity over time (Figure 7). It remains a question how fast the microbes in the root bed can degrade VOCs.

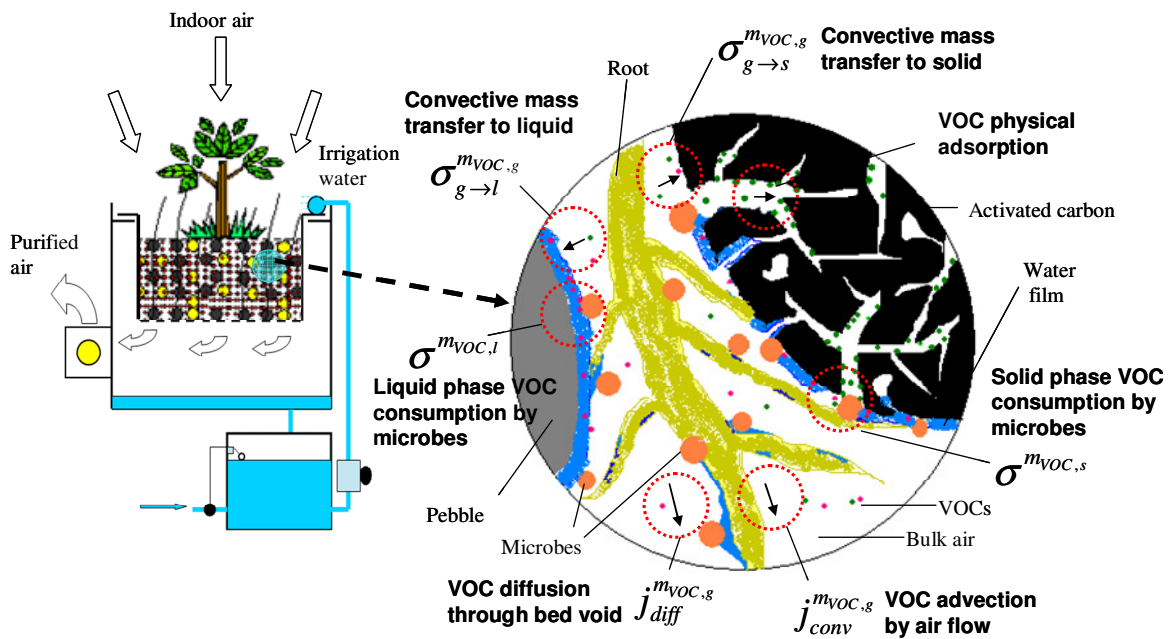


Figure 6. Schematic of the root bed system and associated transport and storage processes

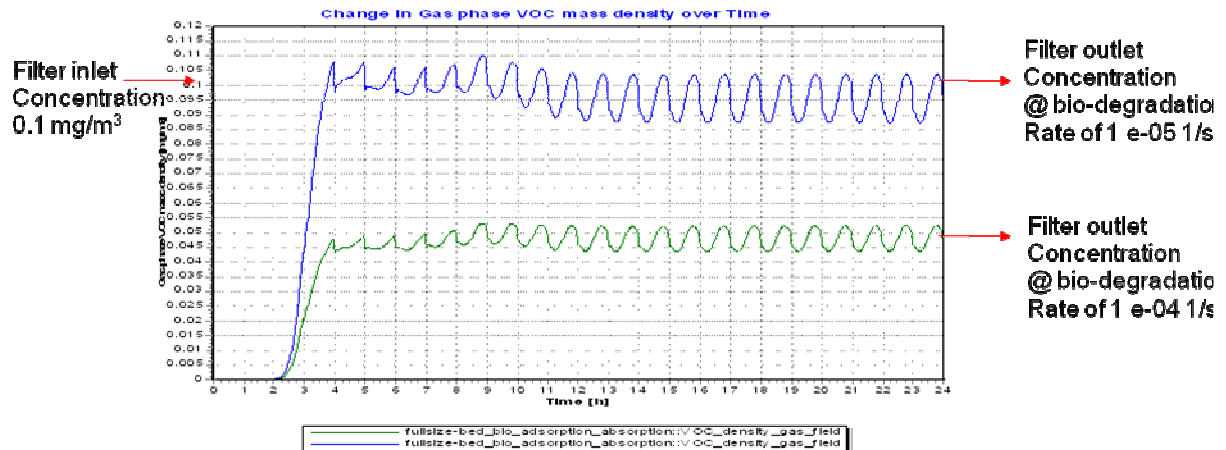


Figure 7. Simulation of the operation of BAF system under two different bio-degradation rate constant: 1E-05 vs. 1E-04 1/s

FUTURE CHALLENGES

Several challenges remain that require further investigation:

1. The simulation model needs to be validated with experiments that can separate the effects of adsorption, absorption and bio-degradation.
2. The spatial distribution of microbes in the root bed needs to be determined to better predict the performance of BAF system.
3. Innovative approach is needed to enhance the mutation of the most favorable microbes for VOC degradation.

4. BAF system design needs to be optimized to improve efficiency while reducing initial and operating cost.
5. Innovative approaches are needed to integrate BAF system into architectural and interior design to improve aesthetics as well as IAQ.

ACKNOWLEDGEMENT

We gratefully acknowledge the support of NYSERDA, Syracuse COE, EPA and Phytofilter Technologies Inc. The authors also gratefully acknowledge partial support of equipment used in this work by capital funding from the NYSTAR Designated STAR Center for Environmental Quality Systems at Syracuse University.

REFERENCES

- 1) Chen W, Zhang JS, Zhang Z. 2005. Performance of air cleaners for removing multiple volatile organic compounds in indoor air. *ASHRAE Trans.* 111:1101–14.
- 2) Darlington A, Chan M, Malloch D, Pilger C, Dixon MA. 2000. The biofiltration of indoor air: implications for air quality. *Indoor Air* 2000;10:39–46.
- 3) Herrmann, T. J., J.S. Zhang, Z. Zhang, J. Smith, X. Gao, H. Li, W. Chen, S. Wang. 2003. Performance Test Results for an Innovative Full-Scale Indoor Environmental Quality and Climate Simulator. *ASHRAE Transactions.* 110(2).
- 4) Huang, Wen-Hsuan Huang, Zhiqiang Wang, Geetika Choudhary, Beverly Guo, Jianshun Zhang and Dacheng Ren. 2010. Characterization of Microbial Species in a Regenerative Bio-filter System for VOC Removal. *Proceedings of IAQVEC 2010—The 7th International Conference on Indoor Air Quality, Ventilation and Energy Conservation in Buildings.* August 15-18, Syracuse, NY.
- 5) Joseph S. Devinny and J. Ramesh. 2005. A phenomenological review of biofilter models, *Chemical Engineering Journal* 113:187–196.
- 6) Wang, Zhiqiang, Jingjing Pei, J.S. Zhang and Dacheng Ren. 2010. Modeling and simulation of an activated carbon-based botanical air filtration system for improving Indoor Air Quality. *CLIMA 2010.* May 8-12, Antalya, Turkey.
- 7) Wolverton BC, McDonald RC, Watkins Jr EA. 1984. Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes. *Econ. Bot.* 38:224–8.
- 8) Wolverton, B.C., Johnson, A., Bounds, K. 1989. Interior landscape plants for indoor air pollution abatement. *NASA Internal Research Report.* p.1–22.
- 9) Zarook, S. M. et al. 1997. Development experimental validation and dynamic analysis of a general transient biofilter model, *chemical engineering science*, Vol.52. No. 5 p.759-773

Le point de vue de l'ADEME

Laurence GALSOMIES¹ et François BOISLEUX²

ADEME (Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie)

¹ Service Evaluation de la Qualité de l'Air, 27 rue Louis Vicat, 75 737 Paris cedex 15, France, laurence.galsomies@ademe.fr

² Délégation Nord-Pas-de-Calais, centre tertiaire de l'arsenal, 20 rue du prieuré, 59 500 Douai, France, francois.boisleux@ademe.fr

Alors que les atteintes sanitaires dues à la pollution de l'air sont mieux connues en milieu ambiant (extérieur), la population n'a pas encore assez conscience du problème en milieu clos. La qualité de l'air que l'on respire chez soi ou sur son lieu de travail peut aussi révéler des pollutions. Depuis le Grenelle de l'Environnement, la pollution de l'air à l'intérieur des locaux est devenue un enjeu de santé publique.

Dans le cas du milieu ambiant extérieur, la surveillance de la qualité de l'air en France est mise en œuvre par les AASQA au sein de dispositifs de surveillance régionaux couvrant l'ensemble du territoire national (environ 30 Association de Surveillance Agréées pour la Surveillance de la Qualité de l'Air). A ce jour un tel dispositif développé pour le milieu intérieur n'existe pas. Plusieurs polluants sont réglementés pour l'air ambiant mais les espaces clos intérieurs (publics ou privés) ne font pas encore l'objet d'une surveillance réglementée pour la qualité de l'air. Il y a pourtant plusieurs campagnes pilotes réalisées dans des écoles et des crèches qui dressent pour la première fois un état des connaissances sur les niveaux de polluants observés en intérieur (travaux issus notamment de l'Observatoire de la Qualité de l'Air intérieur coordonné par le CSTB). Le projet de loi dit Grenelle 2, portant engagement national pour l'environnement, donne toutefois une indication pour l'avenir d'une surveillance périodique de la qualité de l'air dans certains établissements recevant du public. Cela concernerait des établissements, comme les écoles et les crèches, dont la surveillance serait à la charge des gestionnaires des établissements. Cette obligation pourrait entrer en vigueur en 2012 ou 2013.

Améliorer la connaissance sur les polluants présents dans l'air intérieur est indispensable pour mettre en œuvre des mesures de gestion appropriées pour un bon état sanitaire de l'air. En terme de réponse à un problème de santé publique, plusieurs stratégies sont disponibles : limiter les sources (par exemple, améliorer l'entretien des installations à combustion pour réduire la pollution, viser une utilisation raisonnée des produits chimiques et privilégier l'usage de produits biologiques non polluants), faciliter l'aération (faire respirer son intérieur en ouvrant les fenêtres régulièrement, en ne bloquant pas les aérations) ou mieux ventiler (performance des systèmes de traitement de l'air).

La qualité de l'air intérieur est un sujet à entrées multiples. L'air transporte le chaud, le froid, les polluants, l'humidité. L'air est à la croisée des problématiques du bâtiment ; l'isolation, la ventilation ou le traitement.

Dans une optique curative d'un problème sanitaire des solutions existent déjà pour traiter l'air, orientées plutôt vers des moyens physico-chimiques. **L'ADEME s'intéresse depuis plusieurs années à la solution écologique du traitement de l'air par les plantes dans un objectif d'intégrer les nouvelles éco-technologies** dans le développement d'un concept de « bâtiment à rejet zéro en pollution » et pour une meilleure utilisation rationnelle de l'énergie.

L'avis de l'ADEME sur la capacité épuratrice des plantes se base sur les résultats du programme scientifique PHYTAIR. Ce programme qui se déroule en trois phases, financé par de nombreux organismes notamment l'ADEME et le Conseil régional Nord-Pas de Calais, a rendu de premiers résultats à l'issue des deux premières étapes déjà achevées (la troisième en cours). La phase 3 est importante, car elle a pour objectif d'étudier le comportement des plantes dans le traitement de l'air à une échelle réelle, c'est-à-dire à l'échelle de l'habitat, et de répondre ainsi à la question d'une utilisation opérationnelle des plantes épuratrices d'air.

C'est donc sur la base de connaissances scientifiques démontrées au niveau français, à l'issue des phases 1 et 2 du programme PHYTAIR, que l'ADEME propose son point de vue sur les plantes « dépolluantes ». Quelques recommandations sur leurs utilisations et leurs limites peuvent être faites à ce stade des connaissances. Une note ADEME à diffusion interne a été rédigée sur le sujet. Les recommandations faites par l'ADEME restent à finaliser et pourront par exemple être enrichies par les réflexions issues de la journée technique, co-organisée par l'OQAI, la faculté de pharmacie de Lille et l'ADEME du 6 mai 2010, sur l'épuration de l'air intérieur par les plantes.

Communiquer sur la question des plantes « dépolluantes » avant la fin des travaux du programme PHYTAIR permet de faire connaître les premiers résultats (Phases 1 et 2) les plus intéressants. Il est important dès ce stade d'aider à leurs diffusions bien au-delà de la communauté scientifique. En effet, depuis deux ou trois ans, le sujet des plantes « dépolluantes » fait l'objet d'un fort écho médiatique sur internet ou dans la presse écrite, à l'initiative de journalistes, d'entreprises privées ou d'associations. Le sujet intéresse le grand public. Cet intérêt se développe dans le contexte favorable d'une nouvelle demande sociale concernant le renouveau de la « nature », le bien-être » et les méthodes alternatives recourant aux végétaux. Et, ce développement répond aussi à des offres de marché suscitées par ces nouvelles tendances de la société. Ce bruit médiatique entendu autour des plantes dépolluantes pour un usage de qualité de l'air intérieur comme de qualité de l'air extérieur est-il approprié ? Y a-t-il une diffusion objective de l'information sur le sujet ?

Un résultat scientifique est perçu comme un bon argumentaire de vente pour un produit. On utilise la science pour mieux vendre. Le constat général montre que de nombreux messages relatifs aux plantes « dépolluantes » avec des objectifs commerciaux donnent une information auprès du grand public qui se traduit plutôt par une mauvaise appropriation du résultat scientifique. Il est cité souvent de manière partielle ou non significative. Ces pratiques peuvent mener à des abus et à de la désinformation. L'ADEME, en tant que lanceur d'alerte vis-à-vis de ses partenaires, notamment les entreprises et les collectivités, et en qualité d'agence de vigilance dans ses champs de compétence, se doit de rappeler qu'une information crédible se fonde d'abord sur des résultats scientifiques bien validés.

L'ADEME, qui souhaite connaître les performances des plantes pour leurs propriétés épuratrices de l'air, a initié à partir de 2002 une grande étude scientifique sur cette question. Les premiers résultats obtenus dans le cadre du programme national PHYTAIR (démarré en 2004) permettent de **proposer un protocole scientifique d'évaluation objective de l'épuration de l'air intérieur par les plantes**. La validation du pouvoir d'épuration chez les plantes passe par un protocole standardisé d'exposition des végétaux à de faibles doses et en continu car il est important de tenir compte des niveaux d'exposition et des conditions réels dans les bâtiments.

Depuis 2007, la mise en place d'une Commission « label PHYTAIR » vise aussi à donner un cadre pour développer d'autres études de performance chez les végétaux et, pour une utilisation du label par des acteurs autres que les chercheurs. L'apport du programme PHYTAIR vise à rendre accessible une standardisation du protocole pour la mise en œuvre de nouvelles études. Cette tentative de standardisation proposée par PHYTAIR est une étape importante pour faciliter à l'avenir la comparaison des résultats entre les études.

L'étiquetage « plante dépolluante » se pratique déjà chez les professionnels privés des filières du secteur, notamment dans certaines enseignes de la distribution et du jardinage.

De nombreuses plantes en pots sont proposées à la vente comme plantes « dépolluantes » et, des recommandations sont données pour choisir une plante en fonction du polluant ou de la pièce à dépolluer.

L'ADEME considère, au vu de l'avancée des travaux du programme PHYTAIR et des études réalisées à ce jour dans le domaine, que l'utilisation de telles étiquettes est prématurée. Les recommandations qui sont faites par certains de multiplier le nombre de plantes en fonction du volume de la pièce sont assez irréalistes. Le programme PHYTAIR démontre, entre autre, que si les plantes possèdent bien de réelles capacités à dépolluer l'air, leurs performances sont néanmoins influencées par l'espèce végétale à considérer, le contaminant à étudier (type et dose), mais aussi par la densité foliaire. Et toute extrapolation à une surface foliaire pour un volume métrique d'air à traiter est loin d'être universelle.

Les résultats validés à ce jour par PHYTAIR, pour 3 plantes (*Scindapsus aureus*, *Chlorophytum comosum*, *Dracaena marginata*) et 3 polluants (monoxyde de carbone, formaldéhyde et benzène) étudiés en laboratoire au cours des phases 1 et 2 ne permettent pas d'extrapoler ces premiers résultats à d'autres espèces, d'autres polluants, ni à plus grande échelle (puisque la phase III est en cours). Les conditions d'acquisition des résultats doivent toujours être précisées afin d'éviter toute extrapolation hâtive à l'échelle d'une pièce.

PHYTAIR I et II montre des pistes intéressantes pour envisager chez les plantes une appellation « dépolluantes ». L'avancée du programme PHYTAIR permet de proposer un cadre de validation pour la définition d'un label (ou étiquette) et de réfléchir à des axes de recherche.

Le label PHYTAIR a la vocation de tester de nouvelles plantes avec une méthode standardisée pour la meilleure étude possible des performances des végétaux. Cette méthode restant perfectible selon l'avancée des connaissances.

Les recherches à développer concernent, entre autres, le dimensionnement des systèmes d'épuration, la quantification du rôle du substrat dans un système plante/sol, le développement de tests en routine pour de nouvelles espèces de plantes.