

PURIFIER L'AIR INTÉRIEUR GRÂCE AUX PLANTES ET BACTÉRIES : les expériences de la NASA et du projet Biosphere 2

Bill C. Wolverton,
Chercheur, NASA
et Wolverton
Environmental Services

Mark Nelson,
Chercheur, Institute of Ecotechnics,
Space Biosphere Ventures (Biosphere 2)
et Wastewater Gardens International



Le Biohome, un bâtiment scellé créé par la NASA à la fin des années 1980 dans le but d'étudier les vertus dépolluantes des plantes vertes.
©Bill Wolverton

Bill C. Wolverton est un scientifique américain entré à la NASA en 1971 en tant que Responsable du Laboratoire de recherche environnementale au Mississippi Test Facility (aujourd'hui connu sous le nom de John C. Stennis Space Center). Il y a principalement étudié la phytoremédiation dans les espaces confinés, l'application des biotechnologies au traitement de l'eau, dérivée du traitement de la pollution terrestre. Dès 1989, il a étudié à la NASA la capacité des plantes à absorber plusieurs composés chimiques. Après la publication du rapport d'étude de la NASA sur la qualité de l'air en 1990, il a lancé sa propre structure de recherche, Wolverton Environmental Services, qui étudie encore aujourd'hui la phytoremédiation.

Mark Nelson est un scientifique américain, anciennement Directeur des applications spatiales et environnementales de Space Biospheres Ventures, à l'origine de la création et de l'exploitation Biosphere 2, une installation de recherche en sciences sur le système terrestre, basée à Oracle, en Arizona. Il a été l'un des fondateurs de l'Institute of Ecotechnics, un organisme à but non lucratif américano-britannique, qui fournit une assistance technique à plusieurs projets de démonstration portant sur des biomes difficiles à travers le monde. Il est à la tête de Wastewater Gardens International qui a mis en place dans 14 pays des zones humides écologiques artificielles, une technologie utilisée dans Biosphère 2.

La phytoremédiation est le processus par lequel les plantes et les bactéries de leurs systèmes racinaires éliminent les polluants de l'air et de l'eau. Ces propriétés purifiantes ont été découvertes dans le cadre d'expériences sur les vols spatiaux habités : dans les années 1980, des scientifiques du John C. Stennis Space Center ont révélé la capacité des plantes d'intérieur à éliminer les composés organiques volatils (COV) présents dans les espaces étanches. D'autres recherches, comme la construction de l'installation Biohome, ont débouché sur certaines avancées scientifiques et permis de mieux comprendre comment optimiser la capacité des plantes d'intérieur à purifier l'air. L'expérience a montré que les plantes d'intérieur étaient capables d'éliminer les émanations permanentes de COV au sein d'un système clos, grâce à l'action combinée des feuilles et des bactéries des racines (par métabolisation, translocation et/ou transpiration).

Parallèlement, les expériences menées par Mark Nelson sur Biosphere 2 ont démontré qu'il était possible d'assurer la biofiltration de l'air tout en maintenant un niveau élevé de productivité des cultures et de fertilité des sols. Les recherches de Biosphere 2 sur la biofiltration plantes/terre montrent que l'efficacité à éliminer les traces de gaz dépend de la présence, dans la terre, d'un microbiote capable de les métaboliser.

Ces deux expériences montrent que la biofiltration végétale est une technologie prometteuse, qui pourrait contribuer à résoudre des problèmes posés par la pollution atmosphérique dans le monde. Ces solutions ont un vaste champ d'application et, par rapport aux technologies concurrentes, sont beaucoup plus avantageuses en termes d'investissement et de coûts d'exploitation. Il serait donc judicieux de les appliquer beaucoup plus largement, en particulier à l'intérieur des bâtiments.

INTRODUCTION

La Terre est une planète dynamique et vivante, façonnée par une biosphère en constante évolution. L'interaction des plantes et des bactéries joue un rôle essentiel à l'équilibre des écosystèmes de la Terre. De manière imagée, les plantes et les bactéries sont en quelque sorte ses poumons et ses reins. Ils filtrent et éliminent en permanence les déchets. Et même si nous comprenons bien ces fonctions dans la nature, nous avons des difficultés à envisager ces mêmes processus filtrant l'air et l'eau de nos espaces construits.

Paradoxalement, alors que les humains ont soif de nature, beaucoup passent jusqu'à 90 % de leur temps en intérieur, où la qualité de l'air est loin d'être idéale et, parfois, plus polluée qu'à l'extérieur. Nous avons maintenant introduit plus de 85 000 produits chimiques synthétiques dans l'environnement, mais aussi de nombreuses toxines dégagées par les gaz qui sont piégées dans nos bâtiments. Les matériaux synthétiques, les équipements et les appareils numériques libèrent également des gaz à l'état de traces. D'autant qu'aujourd'hui, pour économiser l'énergie, nous avons tendance à construire des bâtiments très

hermétiques. L'accumulation de ces divers gaz, mais aussi des bactéries en suspension dans l'air et des composés chimiques organiques volatils (COV), détériore la qualité de l'air intérieur. La pollution de l'air à l'intérieur des habitations figure maintenant parmi les cinq principales menaces pour la santé humaine.

Pour améliorer la qualité de l'air intérieur, les spécialistes de la construction recommandent d'aérer toujours plus. La plupart des bâtiments font entrer de l'air frais depuis l'extérieur par un conduit, et mélangent cet air à de l'air intérieur recirculé. Toutefois, les systèmes de ventilation posent quatre problèmes principaux : ils limitent l'efficacité énergétique du bâtiment, ils font entrer de l'air extérieur souvent pollué, et ils impliquent de devoir chauffer ou rafraîchir l'air extérieur amené, pour notre confort. Enfin, on peut se demander s'il est écologiquement responsable de relâcher de nouveaux polluants dans l'environnement extérieur. Les systèmes végétaux et pédologiques (basés sur les plantes et les sols), dérivés de systèmes conçus pour les futures explorations de l'espace extra-atmosphérique, peuvent nous apporter des solutions en nous ramenant aux processus fondamentaux qui soutiennent la vie sur Terre. Deux expériences pionnières et décisives ont étudié les propriétés et les possibilités de ces systèmes dans les années 1980 : le projet Biohome de la NASA et le projet Biosphere 2.

RECHERCHES DE LA NASA ET PROJET BIOHOME

Après le succès de la mission sur la Lune en 1969, la NASA a lancé des programmes visant à maintenir la vie pendant les séjours spatiaux à long terme. Des scientifiques du John C. Stennis Space Center (SSC) ont participé à des recherches visant à mettre au point des « systèmes écologiques clos de support de vie ». La charte de la NASA stipule que les recherches effectuées doivent faire l'objet d'études d'applicabilité et de transposabilité à la Terre, par exemple dans le domaine de la

pollution environnementale. Les scientifiques du SSC ont mis au point et installé des milieux humides artificiels, aujourd'hui appelés systèmes de phytoremédiation, pour traiter les eaux usées domestiques et industrielles du centre de recherche. Ces systèmes d'origine végétale traitent les eaux usées depuis plus de quarante ans, soit le double de la durée de vie moyenne des systèmes mécaniques conventionnels. Ils permettent à la NASA d'économiser des millions de dollars en coûts d'exploitation¹.

En 1980, les scientifiques de la SSC ont découvert que les plantes d'intérieur pouvaient éliminer les COV contenus dans les chambres d'essai hermétiques. La NASA a publié ses premiers résultats en 1984^{2,3}. Pour approfondir ces découvertes, elle a construit un « Biohome » en matériaux synthétiques, conçu pour être aussi hermétique que possible en matière d'air et d'énergie. L'espace intérieur a été divisé en deux, entre un logement pour une personne et un système de biorégénération, destiné à assurer la purification de l'air et le traitement des eaux usées⁴.

On a supposé que les émissions de COV dues aux matériaux synthétiques utilisés pour la construction et l'ameublement du Biohome causaient des problèmes de qualité de l'air intérieur. En effet, la plupart des visiteurs ressentaient des brûlures aux yeux et à la gorge et souffraient de problèmes respiratoires.

Des plantes vertes d'intérieur classiques, poussant dans du terreau du commerce, ont été placées dans le logement du Biohome afin d'évaluer leur capacité à éliminer les COV. Une jardinière expérimentale dotée d'un ventilateur a été ajoutée, contenant une plante poussant dans un mélange de terre et de charbon actif. Des analyses de la qualité de l'air par spectromètre de masse/chromatographie gazeuse,

1 Wolverton, B.C. et J.D. Wolverton, Growing Clean Water – Nature's Solution to Water Pollution, Dolphin Press, 2001.

2 Wolverton, B.C., R.C. McDonald et E.A. Watkins, Jr., Foliage plants for removing indoor air pollutants from energy-efficient homes, Economic Botany 38(2), 224-228, 1984.

3 Wolverton, B.C., R.C. McDonald et H.H. Mesick, Foliage plants for the indoor removal of the primary combustion gases carbon monoxide and nitrogen oxides, J. MS Acad. of Sci., 30:1-8, 1985.

4 B.C., A. Johnson et K. Bounds, Interior landscape plants for indoor air pollution abatement, NASA/ALCA Final Report, Plants for Clean Air Council, Mitchellville, Maryland, 1989.



Vue de l'intérieur du Biohome. © Bill Wolverton



Chambre scellée en plexiglas utilisée lors des expériences menées par Wolverton Environmental Services, Inc. ©Bill Wolverton

avant et après la mise en place des plantes, ont montré que la plupart des COV avaient été éliminés. En outre, les visiteurs ne ressentait plus de brûlures aux yeux et autres symptômes propres au fameux « syndrome du bâtiment malsain » (*sick building syndrome*). C'était la première fois que l'on utilisait les plantes pour lutter contre ce syndrome.

La technologie dite de « phytoremédiation » utilise les plantes et les bactéries de leurs racines pour éliminer les polluants de l'air et de l'eau. Au début des années 1990, des études ont évalué la manière dont les écosystèmes végétaux éliminent les COV des chambres hermétiques. Dans ses recherches, la NASA n'utilisait qu'une seule injection de COV dans les chambres hermétiques. On s'est alors demandé si les plantes étaient capables d'éliminer des COV se dégageant en continu des matières synthétiques, comme c'est souvent le cas dans un environnement intérieur.

Pour répondre à cette question, Wolverton Environmental Services, Inc. (WES) a mené des recherches approfondies^{5,6}. Deux chambres d'essai en plexiglas ont été construites, et deux panneaux de lambris intérieurs, comprenant des résines au formaldéhyde, ont été installés dans chacune des chambres. Un palmier de type *rhapis excelsa* a été placé dans l'une d'elle, l'autre servant de pièce de contrôle.

Les résultats de l'expérience furent les suivants. D'une part, le palmier et sa terre absorbaient les émissions de formaldéhyde qui s'échappaient continuellement des lambris. D'autre part, la température influait sur la rapidité à laquelle le formaldéhyde s'échappait des panneaux : plus il faisait chaud, plus les émanations étaient importantes. Enfin, dans la pièce de contrôle, le formaldéhyde n'a pas été éliminé.

Le palmier ne montrait aucun problème suite à cette exposition prolongée au formaldéhyde. En réalité, sa capacité d'élimination du formaldéhyde augmentait même au fil du temps. Ces études ont indiqué que les racines de la plante et le microbiote s'étaient rapidement adaptés à la présence de formaldéhyde et avaient contribué de façon significative au processus d'élimination chimique. D'autres études ont cherché à évaluer et à quantifier l'impact des bactéries racinaires et du sol dans le processus. Du formaldéhyde et du xylène ont été introduits individuellement dans des chambres scellées contenant des plantes dans deux substrats différents : soit de la terre de rempotage exposée, soit de la terre couverte de sable stérilisé. Les études ont montré que 50 à 65 % de l'élimination des COV pouvaient être attribués aux bactéries des racines et de la terre.

Grâce aux bactéries présentes dans leur rhizosphère⁷, les plantes d'intérieur ne souffrent pas des fortes concentrations de COV, mais améliorent leur capacité à éliminer les produits chimiques avec le temps. Les bactéries des racines et du sol s'adaptent rapidement et se multiplient, produisant de nouvelles générations de bactéries encore plus efficaces

Les feuilles des plantes et le microbiote racinaire contribuent à l'élimination des COV de l'air intérieur

face aux produits chimiques, qui sont utilisés comme source d'alimentation et d'énergie. Des scientifiques de l'Université de Sydney, en Australie, ont mené des études similaires et obtenu des résultats comparables en matière d'efficacité⁸.

Ces conclusions et celles des recherches déjà réalisées montrent que les feuilles des plantes et le microbiote racinaire contribuent à l'élimination des COV de l'environnement intérieur. La capacité des feuilles à absorber, métaboliser et/ou transporter certains COV vers les bactéries des racines où ils sont décomposés a bien été documentée. Des études montrent que 90 % de ces substances sont transformées en sucres, en nouvelles matières végétales et en oxygène. Les scientifiques du GSF-National Research Center for Environment and Health, en Allemagne, ont réalisé l'étude la plus complète à ce jour sur ce phénomène. Ils ont utilisé des traceurs de carbone radioactifs pour suivre la décomposition du formaldéhyde par la plante araignée (*Chlorophytum comosum* L.)⁹.

La transpiration est un autre mécanisme utilisé par les plantes pour faire descendre l'air dans leur système racinaire. En faisant remonter l'eau de leurs racines jusqu'à leurs feuilles, elles créent un petit courant de convection qui tire l'air vers le bas jusqu'à la zone racinaire. Par ce processus, une plante transporte non seulement les gaz atmosphériques comme l'oxygène et l'azote vers sa zone racinaire, mais aussi les produits chimiques en suspension dans l'air. En raison de cette action, une plante au taux de transpiration élevé est généralement plus efficace pour éliminer les COV¹⁰.

Toutes les études initiales de la NASA sur les plantes d'intérieur portaient sur des plantes cultivées dans du terreau commercial. Pour aller plus loin, les chercheurs de Wolverton Environmental Services (WES) se sont appuyés sur ces recherches pionnières pour utiliser l'hydroculture plutôt que du terreau de rempotage.

L'hydroculture offre en effet des avantages en milieu intérieur en éliminant le besoin de terre et en limitant l'arrosage, le gaspillage d'eau, le risque de moisissure et le rempotage, les plantes utilisant seulement l'humidité dont elles ont besoin.

Les recherches de WES en hydroculture montrent que les feuilles émettent des substances qui réduisent la quantité de moisissures et de bactéries dans l'air ambiant, des mécanismes qui seront approfondis par d'autres recherches. En effet, selon ces études, les plantes cultivées en hydroculture seraient 30 à 50 % plus efficaces pour éliminer les produits chimiques en suspension dans l'air que les plantes cultivées dans du terreau.

5 Wolverton, B.C. et J.D. Wolverton, Plants and soil microorganisms — removal of formaldehyde, xylene and ammonia from the indoor environment, *J. MS Acad. of Sci.*, 38(2):11-15, 1993.

6 Wolverton, B.C. et J.D. Wolverton, Interior plants: their influence on airborne microbes inside energy-efficient buildings, *J. MS Acad. of Sci.*, 41(2):99-105, 1996.

7 La rhizosphère est la région du sol directement formée et influencée par les racines et les micro-organismes associés qui font partie du microbiote des plantes.

8 Wood, RA, et al., « Study of absorption of VOCs by commonly used indoor plants », *proceedings of Indoor Air '99*, 1999, 2:690-694. Wood, RA, et al., « Potted plant growth media: interactions and capacities in removal of volatiles from indoor air », *J of Environ. Hort. and Biotechnology*, 2002, 77(1):120-129. Wood, RA, MD Burchett, et al., « The potted-plant microcosm substantially reduces indoor air VOC pollution; I. Office Field Study », *J of Water, Air and Soil Pollution*, 2006, 175(1-4): 163-180. Torpy FR, Irga PJ, Moldovan D, Tarran J, Burchett MD (2013) Characterization and biostimulation of benzene biodegradation in the potting-mix of indoor plants. *Journal of Applied Horticulture* 15(1): 10?15.

9 Giese, M., U. Bauer-Dorant, C. Langebartels et H. Sandermann, Jr., 'Detoxification of formaldehyde by the spider plant (*Chlorophytum comosum* L.) cell suspension cultures', *Plant Physiology*, 1994, 104:1301-1309.

10 Wolverton, B.C., *How to Grow Fresh Air*, Penguin, New York, 1997; initialement publié aux Royaume-Uni sous le titre *Eco-Friendly Houseplants*, Weidenfeld & Nicolson Ltd., London, 1996; aujourd'hui traduit dans 16 langues.

Le projet de la NASA et recherches de WES qui ont suivi ont également débouché sur la création d'un filtre de haute efficacité pour les jardinières, dont les applications commerciales (filtres à air portatifs à base de plantes) indiquent une efficacité d'élimination des COV de l'air intérieur 50 à 100 fois supérieure aux plantes en pot classiques. Ces filtres à air utilisent un ventilateur mécanique pour aspirer l'air à travers un substrat hautement adsorbant où est cultivée une plante d'intérieur. Le substrat piège les polluants en suspension dans l'air, puis les bactéries de la rhizosphère les décomposent. Ils constituent alors une source de nourriture et d'énergie, pour eux-mêmes et pour leur plante hôte. Comme les bactéries s'adaptent rapidement et deviennent plus efficaces au long de leur exposition, un filtre biorégénérateur ou autonettoyant est créé. Ces produits sont très efficaces pour éliminer les COV dans des espaces confinés de petite dimension, comme des bureaux ou certaines pièces de vie.

LE PROJET BIOSPHERE 2

Parallèlement, Space Biosphere Ventures a étudié un phénomène similaire au sein de l'installation Biosphere 2 d'Oracle, en Arizona. Initialement conçu comme un nouveau type de laboratoire visant à étudier les processus fondamentaux de notre biosphère mondiale et l'interaction de ses mini-biomes internes, Biosphere 2 a permis d'étudier en détails son auto-organisation et l'adaptation des zones biologiques internes et d'effectuer des mesures précises des dynamiques écologiques, notamment des cycles de l'air, de nutriments et d'eau. Le projet a également contribué au développement des écotecnologies et des manières d'intégrer des technologies préservant le vivant¹¹.

11 Nelson, M., T. Burgess, A. Alling N. Alvarez-Romo, W. Dempster, R. Walford et Allen. 1993a. Using a closed ecological system to study Earth's biosphere: Initial results from Biosphere 2. *BioScience* 43(4): 225-236. Alling, A. et M. Nelson. 1993. *Life Under Glass: The Inside Story of Biosphere 2*, Biosphere Press, Tucson, également publié en néerlandais (1993) et en japonais (Kdansha Press, 1997). Nelson, M., 2018. *Pushing Our Limits: Insights from Biosphere 2*, University of Arizona Press, Tucson.

Quand le projet Biosphere 2 a été lancé au milieu des années 1980, la qualité de l'air intérieur était une préoccupation grandissante. En effet, à cette époque, les économies d'énergie étaient une priorité et les immeubles et les maisons conçus de façon aussi hermétique que possible. Or, les environnements clos posent des problèmes spécifiques, comme la régénération et le maintien d'un air et d'une eau de qualité. Deux heureux hasards ont permis à l'équipe de conception de Biosphere 2 de faire de la biofiltration plante/terre une approche écologique et peu coûteuse permettant de prévenir l'accumulation de gaz à l'état de traces. Premièrement, B.C. Wolverton, alors en collaboration avec le Stennis Space Center de la NASA, travaillait déjà sur le projet d'adaptation des terres humides destiné à traiter et recycler les déchets d'origine humaine, animale et de laboratoire¹². Wolverton était d'ailleurs l'un des premiers à étudier les plantes dans ce contexte, montrant que les plantes d'intérieur communes pouvaient éliminer de façon efficace certains polluants classiques comme les composés organiques volatils¹³. Le deuxième hasard a été la rencontre avec Hinrich Bohn, professeur à l'Université de l'Arizona toute proche et originaire d'Allemagne, où cette technologie était apparue au début du XX^e siècle. Avec son frère basé à l'Université du Connecticut, il travaillait déjà au développement de cette approche innovante, alors appelée « soil bed reactors ». La biofiltration par la terre était beaucoup plus utilisée en Europe qu'aux États-Unis, notamment en Allemagne et aux Pays-Bas. Elle y est même considérée comme la meilleure solution face aux mauvaises odeurs industrielles causées par les gaz polluants¹⁴.

12 Nelson, M., Finn, M, Wilson, C., Zabel, B., van Thillo, M., Hawes, P. et R. Fernandez, 1999. Bioregenerative recycle of wastewater in Biosphere 2 using a created wetland: two year results, *Ecological Engineering* 13(1-4): 189-197. Nelson, M., et Wolverton, B.C., 2011. *Plants + Soil/Wetland Microbes and Food Crop Systems that also Clean Air and Water*, *Adv. Space Research* 47(4):582-590.

13 Wolverton, B.C., Johnson, A., Bounds, K. *Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement*, NASA/ALCA Final Report. Plants for Clean Air Council, Davidsonville, Maryland, 1989. Wolverton, B.C., McDonald, R.C., Watkins Jr., E.A. *Foliage plants for removing indoor air pollution from energy-efficient homes*. *Economic Botany* 38 (2), 224-228, 1984.

14 Bohn, H.L. 1972. *Soil Adsorption of Air Pollutants*. *J. Envir. Quality*, 1:372-377. Bohn, H.L. 1975. *Soil and Compost Filters of Malodorous Gases*, *APCA* 25:953-955. Bohn, H.L. et R.K. Bohn, 1986. *Soil bed scrubbing of Fugitive Gas Releases*, *J. Environ. Sci. Health A21:561-569*.



Modules de test des systèmes écologiques fermés utilisés lors du projet Biosphère 2. La construction a démarré en 1987 et la première mission a commencé en septembre 1991. © Mark Nelson

Cette méthode tire parti de l'immense population et de la diversité métabolique que l'on trouve dans le microbiote de la terre. Plus la matière organique est présente, plus la terre est efficace, comme dans le compost ou les sols amendés. La biofiltration par la terre peut réguler une vaste gamme de gaz potentiellement polluants, présents à l'état de traces. Toutefois, il reste encore des recherches à faire. Il y a notamment des limites, notamment par rapport à une règle empirique selon laquelle la biofiltration par la terre ne peut fonctionner qu'avec les gaz qui brûlent dans l'air (capables d'oxydation). Cette technologie n'est pas non plus capable de traiter des charges polluantes extrêmement concentrées. La biofiltration nécessite le maintien d'une température et d'un niveau d'humidité précis et le choix d'un substrat offrant la porosité, la surface et le contenu organique souhaités¹⁵.

Pour étudier si le projet pouvait opter pour la biofiltration par la terre, un programme de recherche de trois ans a été lancé.

Pour commencer, il fallait déterminer s'il était possible de combiner la biofiltration par la terre tout en faisant pousser des plantes. Soixante-douze plates-bandes de cultures vivrières équipées de pompes poussant l'air des serres à travers les substrats ont été testées à l'Environmental Research Laboratory (ERL) de l'Université de l'Arizona. Ces études ont démontré qu'il n'y avait aucun impact négatif sur la croissance et la productivité des cultures. En réalité, les rendements étaient même plutôt meilleurs, sans doute parce que les sols étaient bien aérés¹⁶.

Les expériences sur la biofiltration des plantes et de la terre dans le module d'essai Biosphere 2 étudiaient les taux d'élimination des traces de gaz injectés tels que l'éthylène, le monoxyde de carbone, les Nox (oxydes d'azote), le méthane et les gaz d'origine technologique comme le formaldéhyde et le toluène. Cette recherche, couplée à des essais similaires menés à l'ERL dans des aquariums scellés, examinait l'efficacité de cette technologie et l'impact de différents facteurs tels que les débits, l'exposition préalable du microbiote de la terre aux traces de gaz spécifiques ou le type de sols et leur contenu organique^{17 18}.

L'ensemble du substrat agricole de Biosphere 2 était conçu pour fonctionner comme un biofiltre plante/terre car la totalité de l'air de l'installation pouvait être pompé dans la terre en 24 heures environ, si les concentrations de gaz à l'état de traces nécessitaient des mesures immédiates¹⁹.

Les recherches menées dans le cadre de Biosphere 2 sur la biofiltration des plantes et de la terre montrent qu'il est possible de maintenir des niveaux élevés de productivité des cultures et de fertilité des terres, tout en assurant la biofiltration de l'air, et que l'efficacité de l'élimination des gaz traces dépend des populations du microbiote de la terre capables de les métaboliser.

La biofiltration par la terre se limitait à l'époque à des applications industrielles, mais il était possible de la développer pour d'autres applications, notamment pour lutter contre

15 Nelson, M. & Bohn, H. (2011) Soil-based biofiltration for air purification: potentials for environmental and space life support application. *Journal of Environmental Protection*.
 16 Frye, R. J. et Hodges, C. N. 1989. Soil Bed Reactor Work of the Environmental Research Lab of the University of Arizona in Support of the Research and Development of Biosphere 2. In: *Biological Life Support Technologies: Commercial Opportunities*. NASA Conf. Publ. 3094. Pp 33-40.

17 Alling, A. & Nelson, M. (1993) *Life Under Glass: The Inside Story of Biosphere 2*. Tucson, AZ: Biosphere Press.
 18 Frye, R. J. et Hodges, C. N. 1989. Soil Bed Reactor Work of the Environmental Research Lab of the University of Arizona in Support of the Research and Development of Biosphere 2. In: *Biological Life Support Technologies: Commercial Opportunities*. NASA Conf. Publ. 3094. Pp 33-40.
 19 Nelson, 2018, *Pushing Our Limits: Insights from Biosphere 2*.

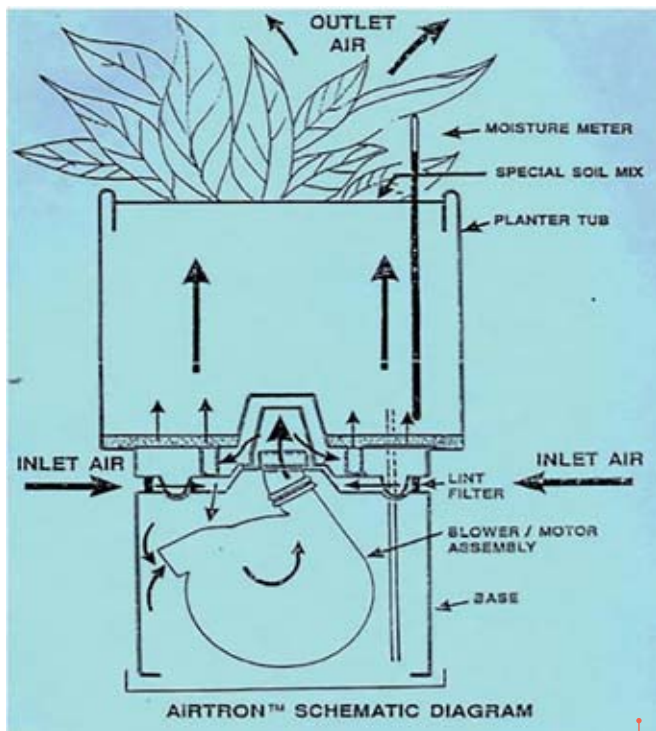


Schéma d'une unité « airtron » de biofiltration développée dans le cadre du projet Biosphère 2. ©Mark Nelson



Prototype utilisé dans le bâtiment de contrôle de la mission Biosphère 2. ©Mark Nelson

la pollution de l'air intérieur. Un produit commercial appelé « airtron » a été développé par le projet Biosphère 2 au début des années 1990. Ce dispositif a permis de transformer une simple jardinière pour plantes d'intérieur en un biofiltre plante/terre en installant une pompe à air qui forçait l'air à traverser le substrat, exposant ainsi ses polluants aux bactéries de la terre et des racines capables de les détoxifier.

AUTRES TRAVAUX DE RECHERCHE

Des travaux approfondis menés par le WES et par d'autres chercheurs européens, canadiens, indiens, coréens, australiens et japonais ont largement documenté la manière dont les plantes d'intérieur peuvent contribuer à améliorer la qualité de l'air dans les bâtiments énergétiquement efficaces²⁰. Elles éliminent davantage de polluants atmosphériques nocifs à l'intérieur des bâtiments étanches que dans les constructions trop ventilées. En effet, aucun dispositif de filtrage ne peut nettoyer efficacement l'air d'un bâtiment si la ventilation mécanique le renouvelle en permanence. Dans les zones urbaines, l'air extérieur est généralement chargé de polluants. En outre, un bâtiment n'est pas vraiment efficace énergétiquement s'il faut constamment refroidir ou réchauffer l'air pour le rendre conforme au confort humain.

D'autres travaux de recherche ont également démontré que les personnes travaillant à proximité de plantes sont plus productives, plus heureuses et moins stressées. Les éléments recueillis au cours des vingt dernières années confirment largement les effets bénéfiques sur la santé des plantes d'intérieur, qui captent également le dioxyde de carbone et produisent de l'oxygène. Ces fonctions sont encore plus importantes quand on installe un très grand nombre de plantes dans des serres sur les toits, dans des vérandas ou des atriums²¹.

CONCLUSION : VIVRE DANS DES ESPACES INTÉRIEURS SAINS

Ces études pionnières ont montré que les plantes et la biofiltration par la terre peuvent être un outil de bioremédiation important et une technologie prometteuse dans la lutte contre le problème planétaire majeur de la pollution de l'air. Même si le pouvoir de purification des plantes a souvent été contesté au cours des dernières années, leur capacité à éliminer les toxines chimiques volatiles en conditions de laboratoire et dans des espaces étanches est aujourd'hui reconnue. En outre, elles nécessitent des investissements en capital moindres et leurs coûts de fonctionnement sont nettement inférieurs à ceux des technologies concurrentes.

Certes, comme toute autre technologie, elle a ses limites, par exemple en cas de pollution atmosphérique très forte ou pour des polluants face auxquels le temps de réaction est plus long, induisant des temps de traitement irréalistes. Toutefois, le champ des applications possibles n'en demeure pas moins étendu.

Cette technologie présente de nombreux atouts qui pourraient notamment être mis à profit pour la survie prolongée dans l'espace. Elle permet notamment de transformer une unité de production alimentaire en dispositif de purification de l'air, peu gourmand en entretien, en consommables et en énergie.

La biofiltration par les sols et les plantes constitue également une méthode idéale pour lutter contre la pollution de l'air intérieur. En effet, un sol riche offre la biodiversité nécessaire pour s'adapter naturellement à tous les gaz libérés dans un bureau ou un logement. En utilisant les plantes d'intérieur comme des biofiltres dans les logements et les bureaux, ou encore les atriums arborés ou la végétation urbaine (parcs, murs végétalisés et jardins sur les toits), nous pouvons améliorer la qualité de l'air que nous respirons.

De nombreux espaces publics et immeubles commerciaux abritent des plantations intérieures. Et il existe aujourd'hui de nouveaux dispositifs, comme les murs végétalisés, les murs vivants ou les jardins verticaux, des systèmes souvent installés en premier lieu pour des raisons esthétiques. Or, il est tout à fait possible d'aller plus loin, comme le font déjà certains, en mettant à profit les fonctions biologiques des plantes et des microbes pour améliorer la qualité de l'air, à l'image de Takenaka Garden Afforestation, Inc., leader du marché japonais de l'aménagement paysage intérieur, et son jardin écologique (Ecology Garden®) ou bien le centre d'affaire Paharpur Business Center, Nehru Place Greens à New Delhi (Inde)²².

En fin de compte, l'objectif recherché consiste à développer une technologie de filtrage de l'air basée sur les plantes qui pourrait traiter la totalité de l'air d'un immeuble. L'idée du « whole building concept » a donné lieu au développement de systèmes modulaires de plus grande échelle, permettent de regrouper un plus grand nombre de plantes et d'installer des systèmes d'arrosage automatique. Ils peuvent en outre être reliés au système de chauffage, de ventilation et de climatisation²³, ce qui permet à l'air interne de transiter par différents modules végétaux pour se débarrasser de ses polluants avant de retrouver l'environnement interne. Ce processus permet de limiter les besoins en ventilation externe.

Il semble essentiel de creuser cette idée de « whole building concept » et d'investir davantage dans ces innovations. La biofiltration par les plantes et le sol est une technologie résolument verte, un merveilleux exemple d'ingénierie écologique qui devrait être déployé plus largement à une époque où nous cherchons à tisser des liens plus durables, plus axés sur la régénération, entre notre technosphère et notre biosphère.

20 Professeur Margaret Burchett, University of Technology, Sidney, Australie (extensive research on plants and their ability to improve indoor air quality). Kozaburo Takenaka, Takenaka Garden Afforestation, Inc., Tokyo, Japon (Ecology Gardens for improving indoor air quality and patient/staff comfort in hospitals). Professeur Tov, Fjeld, Agricultural University of Norway, Oslo, Norvège (Plants for human health and well-being in offices). Kamal Meattle, The Paharpur Business Center, New Delhi, Inde (Interior plants for improving indoor air quality in office buildings). Professor Priscilla Pegas, University of Aveiro, Portugal (Interior plants for improving indoor air quality in classrooms)

21 Wolverton, B.C. et Kozaburo, Takenaka. *Plants: Why You Can't Live Without Them*. Roli Books, New Delhi, Inde, 2010.

22 Kamal Meattle, Paharpur Business Center, New Delhi, Inde. Interior plants for improving indoor air quality in office buildings.

23 Paharpur Business Centre et Software Technology Incubator Park. Heating, ventilating and air conditioning system.