



Utilisation des végétaux pour l'épuration de l'air intérieur.
Etat des lieux et perspectives.

Damien Cuny – Marie Amélie Rzepka

E.A. 2690. Toxiques et cancérigènes professionnels et environnementaux.
Faculté de Pharmacie de Lille.

Journées *Délégation Régionale Nord - Pas de Calais* *Lille, 07 – 08/06/07.*

BIOSURVEILLANCE

Définition :

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

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

UTILISATION DES VEGETAUX

Mise en évidence des
polluants et de leurs
effets



Épuration de l'air

« Biofiltration »
Système sol/plantes

Appareil foliaire.



APPLICATIONS

- Systèmes Wolverton
- Système Darlington
- Système Phytorestore®

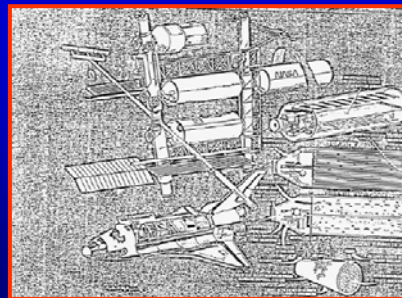
Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Les travaux déjà réalisés avec les plantes et les polluants intérieurs

✓ Les plus célèbres datent des années 80, les recherches de Wolverton, pour la NASA visaient à utiliser les capacités épuratrices de certaines plantes d'intérieur pour les navettes spatiales ainsi que pour les stations orbitales..

Durant les années 70, la NASA a étudié par GC/MS, l'atmosphère à l'intérieur des vaisseaux spatiaux des missions Skylab. Ils ont observé 300 COV différents. (Wolverton 1986).

Projet d'une station orbitale équipée d'un module spécialisé dans le traitement de l'air et de l'eau à l'aide de systèmes associant plantes et microorganismes. (Wolverton 1986).



Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Genres	Espèces	Cultivar
Aglaonema	modestum	
Aloe	vera	
Aspidistra	elatio	
Brassia	arboricola	
Chamaedorea	sefritzii	
Chlorophytum	elatum	
Chlorophytum	sp	
Chlorophytum	elatum	vittatum
Chlorophytum	comosum	
Chrysanthemum	moriflorum	
Dieffenbachia	amoena	
Dracaena	deremensis	
Dracaena	marginata	
Dracaena	massangeana	
Dracaena	deremensis	Warneckeii
Dracaena	deremensis	Janet Craig
Dracaena	fragans	
Epiprnum	aureum	
Ficus	benjamina	
Ficus	sp	
Gerbera	jamesonii	
Hedera	helix	
Howea	forsteriana	
Ipomoea	batatas	
Kalanchoe	blossfeldiana	
Magnesia	sp	
Musa	oriana	
Pelargonium	domesticum	
Peperomia	obtusifolia	
Philodendron	oxycardium	
Philodendron	domesticum	
Philodendron	selloum	
Primula	sinesis	
Sansevieria	laurentii	
Sansevieria	trifasciata	
Saxifraga	stolonifera	
Scindapsus	aurea	
Spathiphyllum	wallisii	
Spathiphyllum	Mona Loa	
Spathiphyllum	clevelandii	
Syngonium	podophyllum	
Tradescantia	sillamontana	
Tradescantia	fluminensis	

Exemple de plantes testées

Au moins une 50^{aine} de plantes ont été testées.

En majorité les polluants étudiés sont des polluants organiques : formaldéhyde, benzène, toluène, TCE.....

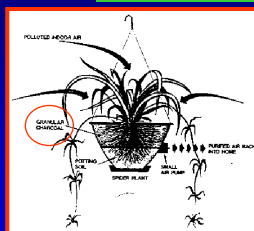
Ce sont en majorité :

Des plantes très utilisées dans les logements.

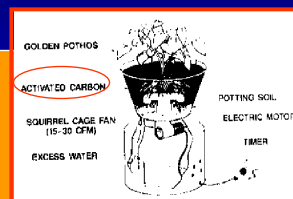
Qui ne présentent pas de risque allergique (appareil respiratoire).

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Système d'épuration combinant une plante et un filtre charbon actif. (Wolverton, 1995).

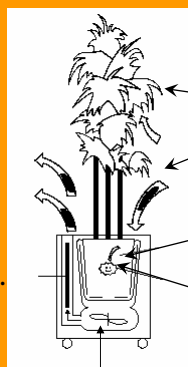


Libération d'oxygène (photosynthèse)
+
Humidité par évapotranspiration.



Libération de l'air purifié

Sterilisation grâce aux U.V.



Absorption du CO₂ et des polluants par les feuilles

Absorption des polluants par le substrat

Adsorption des polluants sur le sol constitué notamment de charbon actif et de zéolithe.

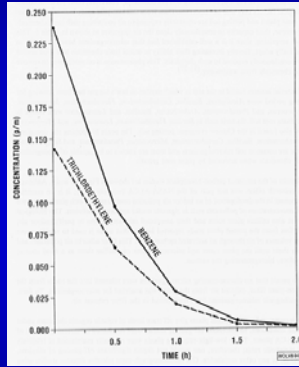
Microorganismes participant à la dégradation des polluants.

Ventilateur

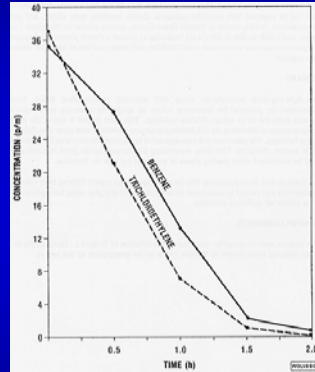
Procédé ECOPLANTER issu des systèmes mis au point par Wolverton

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Cinétique d'élimination du benzène et du trichloréthylène par *Scindapsus aureus* dont le substrat est enrichi avec du charbon actif.



Faibles doses

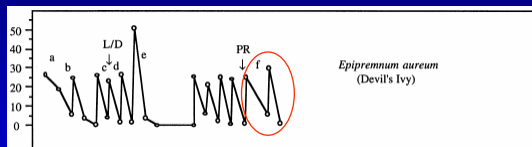


Fortes doses

(Wolverton et al., 1989)

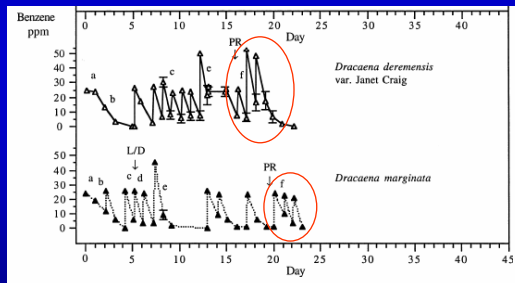
Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Rôle du substrat



F : pot seul.

L'injection d'une première dose induit une phase d'acclimatation.



Pas ou peu d'effet de la lumière sur les décroissances des concentrations.

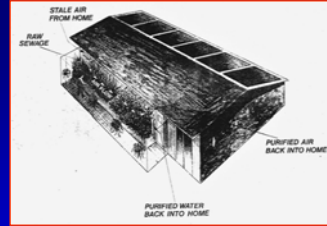
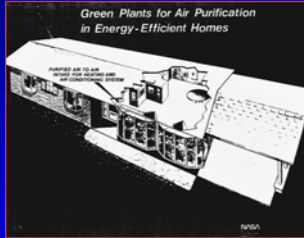
Les performances restent les mêmes si les plantes sont enlevées (sauf pour *H. forsteriana*, *E. aureum* & *D. marginata*).

Orwel et al., 2004.

Dose initiale : 25ppm → 50 ppm (e).

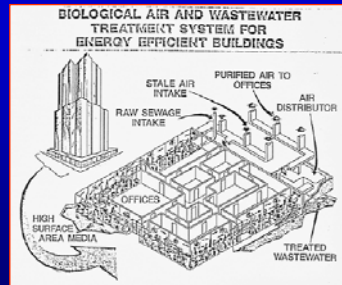
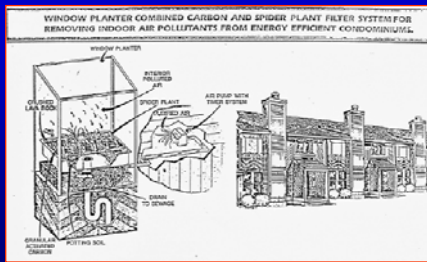
Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Exemple d'application de systèmes d'épuration d'air
(Wolverton et Mc Donald, 1982)



Exemple d'application de systèmes combinés pour l'épuration de l'air et le traitements de l'eau par les plantes.
(Wolverton et Mc Donald, 1982)

Applications et intégration dans une démarche HQE.



Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07. (Schémas - source : Wolverton)

Système de filtre percolateur

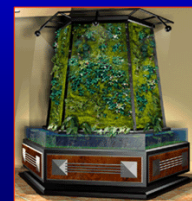
(Darlington, Université de Guelph)

Efficacités de 90 à 20 % respectivement pour le formaldéhyde et le benzène : forte dépendance à la solubilité;

Mise en évidence de la limitation des phénomènes de transferts.



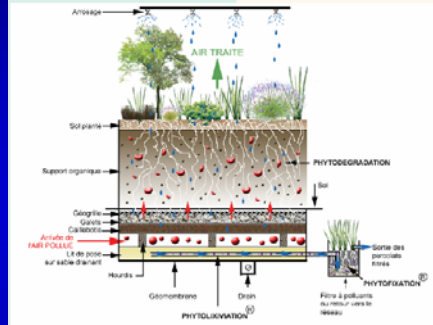
(Source : M. Ondarts, Univ. Pau)



(Photos - source : Air Quality Solution) Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Le système PHYTORESTORE®

Le traitement de l'air



Jardin Filtrant® Air Intérieur de la serre d'Honfleur



Le siège du journal Le Monde

Polluants	Pollution mesurée dans la rue (µg/m³)	Résultat Jardin Filtrant® dans restaurant (µg/m³)
Taux O2	19%	20,5
CO	600	113
NO2	47	6
Nox	31	<2
O3	41	<2
PM10	38,5	<0,5
germes	680	<50

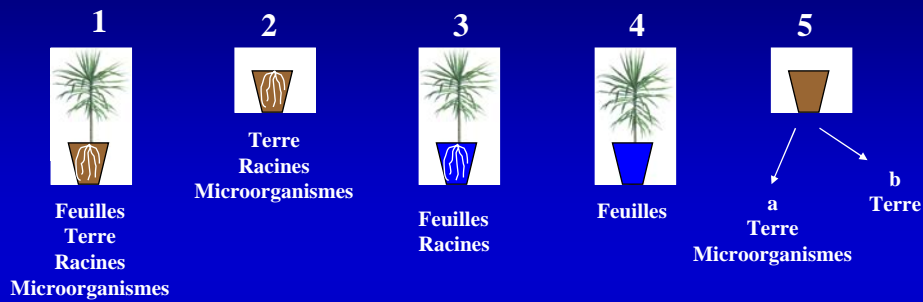
Résultats au restaurant Naked à Paris

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

(Source : PHYTORESTORE).

Rôle du substrat : expérience du CSTB (Bulteau, 2004).

Élimination du toluène (I initiale 11,5 mg.m³).



	Moyenne	E.T.	Moyenne	E.T.	Moyenne	E.T.
Blanc	0,08	0,01	0,05	< 0,01	0,01	0,04
Config. 1	0,11	0,03	0,13	0,02	0,17	0,01
Config. 2	0,09	0,03	0,08	0,02	0,08	0,05
Config. 3	0,06	0,04	0,04	0,01	0,03	0,01
Config. 4	0,06	< 0,01	0,07	0,04	0,06	0,04
Config. 5a	0,1	< 0,01	0,11	0,01	0,12	0,02
Config. 5b	0,09	< 0,01	0,07	< 0,01	0,06	< 0,01

0-24h

24-48h

48-64h

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

L'accumulation des polluants : une propriété exploitée dans les systèmes d'épuration

✓ Niveau individuel

✓ Accumulation des éléments à une concentration supérieure à celle du milieu et cela, sans dommages immédiats pour leur physiologie et leur morphologie.

Taux de polluant déterminé par analyse chimique.



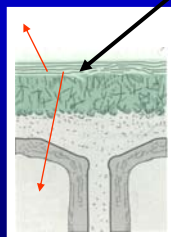
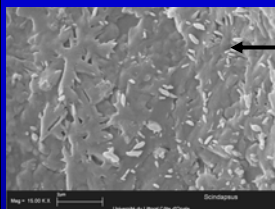
(Source : B. Wolverton).

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Comment les polluants se comportent-ils au niveau des feuilles ?



Entrée dans les plantes
par les stomates :
Polluants hydrophiles
Faible poids moléculaire.



Fixation au niveau des cires
épicuticulaires
(puis éventuellement diffusion ou
émission) :

Polluants hydrophobes
Poids moléculaires élevés.

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Exemple d'un système d'exposition des végétaux aux polluants en flux continu.
(d'après Cornejo et al., 1999)

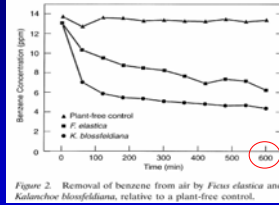
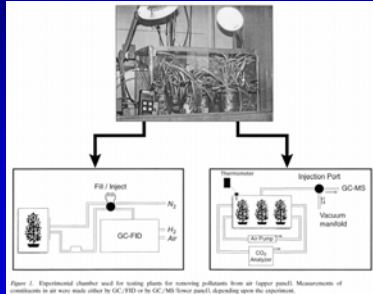


Figure 2. Removal of benzene from air by *Ficus elastica* and *Kalanchoe blossfeldiana*, relative to a plant-free control.

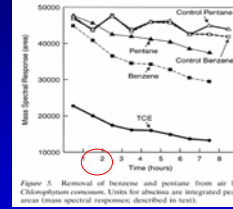
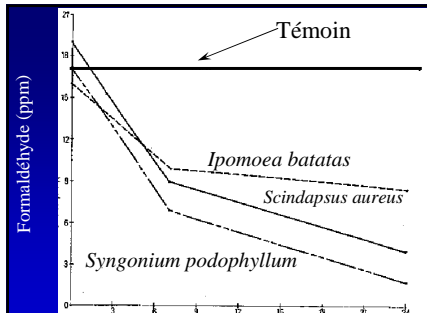


Figure 3. Removal of benzene and pentane from air by *Chlorophytum comosum*. Units for abscissa are integrated peak area (mass spectral responses described in text).

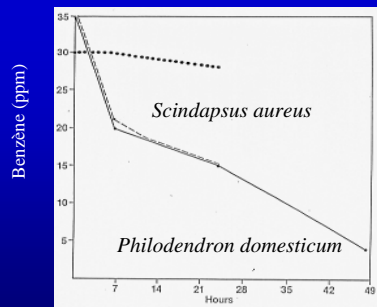
Table 1. Efficiency of plants at removing benzene from air. Each plant was exposed to 108 μg of benzene in a sealed test chamber for 24 h. Loss of benzene from plant-free negative controls in 24-h tests was < 1.5%.

Plant species	Benzene loss (%)	Mass of benzene removed (μg)	Foliar biomass (g)	Apparent removal efficiency of benzene ($\mu\text{g g}^{-1} 24\text{-h}^{-1}$)
<i>Pelargonium domesticum</i>	95	103.4	12.2	8.5
<i>Saxifraga stolonifera</i>	41	45.5	22.4	2.0
<i>Tradescantia fluminensis</i>	10	12.5	18.2	0.6
<i>Dracena deremensis</i>	14	15.5	25.2	0.6
<i>Kalanchoe blossfeldiana</i>	85	93.1	26.9	3.4
<i>Primula sinensis</i>	18	20.4	28.5	0.7
<i>Magnesia sp.</i>	25	26.9	13.4	2.0
<i>Chlorophytum comosum</i>	10	8.8	9.3	1.2

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

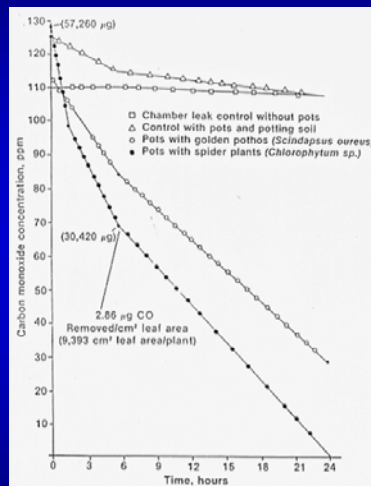


Temps (h) max : 24h.
(Wolverton & Mc Donald, 1982)



(Wolverton 1986)

Travaux sur la décontamination de l'air par les plantes.



(Wolverton 1986)

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Available online at www.sciencedirect.com
 ScienceDirect
 Atmospheric Environment 41 (2007) 430–434
 www.elsevier.com/locate/atmosenv

ATMOSPHERIC ENVIRONMENT

Which ornamental plant species effectively remove benzene from indoor air?
 Yan-Ju Liu^{a,*}, Yu-Jing Mu^b, Yong-Guan Zhu^b, Hui Ding^c, Nan Crystal Arens^d

Au départ, 73 espèces testées (150 ppb de benzène).

Les 10 offrant les capacités d'épuration les plus importantes sont exposées de nouveau. Fumigation pendant 2 jours, 8h/j, 150 ppb de benzène.

Benzene absorption rate normalized for leaf area ($\mu\text{g m}^{-2} \text{min}^{-1}$) of 10 species tested in the two-day fumigation trial

Species No.	Day1_2h	Day1_4h	Day1_6h	Day1_8h	Day2_2h	Day2_4h	Day2_6h	Day2_8h	BA/A/M	BA/A/D
1	513.5 ± 68.1 ^a	526.9 ± 71.6 ^a	534.3 ± 70.4 ^a	491.2 ± 52.1 ^a	391.2 ± 43.9 ^a	487.4 ± 69.9 ^a	521.4 ± 87.1 ^a	561.3 ± 68.1 ^a	503.4	724.9
2	215.4 ± 35.0 ^b	187.3 ± 34.5 ^{bc}	214.9 ± 32.8 ^b	217.8 ± 28.3 ^{bc}	181.4 ± 38.3 ^b	189.2 ± 34.9 ^{bc}	210.4 ± 36.2 ^b	215.1 ± 35.3 ^{bc}	203.9	293.7
3	148.1 ± 32.1 ^{bc}	169.8 ± 32.3 ^{bcd}	181.2 ± 34.3 ^b	201.3 ± 41.3 ^{bcd}	176.2 ± 38.5 ^{bc}	194.1 ± 41.4 ^{bc}	205.3 ± 33.4 ^b	209.5 ± 35.5 ^{bc}	185.7	267.4
4	120.4 ± 9.2 ^{cde}	202.6 ± 12.9 ^b	170.6 ± 4.7 ^{bc}	237.5 ± 27.2 ^b	90.2 ± 22.8 ^{cde}	209.8 ± 6.9 ^b	162.3 ± 31.0 ^{bc}	226.0 ± 13.0 ^b	177.4	255.5
5	107.4 ± 44.6 ^{cde}	211.6 ± 58.3 ^b	136.1 ± 43.3 ^{bcd}	119.2 ± 51.1 ^{cde}	131.0 ± 51.0 ^{cd}	147.2 ± 34.5 ^{bcd}	153.8 ± 35.0 ^{bc}	131.9 ± 40.2 ^{cd}	142.3	204.9
6	93.5 ± 9.7 ^{cdef}	96.7 ± 17.7 ^{cdef}	126.0 ± 12.6 ^{bcde}	138.0 ± 15.1 ^{cde}	95.0 ± 10.7 ^{bcde}	110.7 ± 9.8 ^{bcde}	119.0 ± 20.0 ^{bcde}	147.2 ± 19.7 ^{bcde}	115.8	166.7
7	14.4 ± 7.3 ^f	69.9 ± 18.2 ^{de}	80.4 ± 8.4 ^{cde}	51.9 ± 9.8 ^{ef}	61.1 ± 26.7 ^{de}	93.3 ± 21.4 ^{de}	143.4 ± 20.8 ^{bcde}	125.5 ± 14.0 ^{cde}	80.0	115.2
8	54.2 ± 18.8 ^{def}	65.3 ± 5.3 ^{ef}	74.5 ± 11.8 ^{cde}	60.2 ± 14.0 ^{ef}	75.4 ± 11.6 ^{de}	81.9 ± 13.2 ^{de}	95.0 ± 18.8 ^{cd}	87.5 ± 17.6 ^{de}	74.2	106.9
9	128.3 ± 6.0 ^{bcde}	72.6 ± 9.0 ^{cde}	39.1 ± 4.2 ^f	23.7 ± 11.0 ^f	29.1 ± 2.0 ^{ef}	23.0 ± 6.0 ^f	56.3 ± 6.0 ^{ef}	36.0 ± 7.2 ^f	51.0	73.5
10	32.0 ± 3.5 ^{ef}	39.9 ± 10.5 ^f	45.2 ± 5.4 ^f	51.3 ± 4.6 ^{ef}	35.6 ± 6.0 ^f	22.1 ± 1.6 ^f	44.5 ± 2.3 ^d	57.1 ± 1.8 ^{de}	41.0	59.0

1. *Crassula portulaca*; 2. *Hydrangea macrophylla*; 3. *Cymbidium Golden Elf*; 4. *Ficus microcarpa* var. *fuyensis*; 5. *Dendranthema morifolium*; 6. *Citrus medica* var. *sarcodactylis*; 7. *Dieffenbachia amoena* cv. *Tropic Snow*; 8. *Spathiphyllum Supreme*; 9. *Nephrolepis exaltata* cv. *Bostoniensis*; 10. *Dracaena deremensis* cv. *Variegata*.
 Data are list as average ± standard error for three replicates. BA/A/M: Benzene absorption of different plant species based on per minute and per m² leaf area ($\mu\text{g m}^{-2} \text{min}^{-1}$). BA/A/D: Benzene absorption of different plant species based on per day and per m² leaf area ($\mu\text{g m}^{-2} \text{day}^{-1}$). Superscript letters indicate groups with statistically insignificant differences in benzene removal at the same sampling time.

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Le programme PHYTAIR



Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Les objectifs poursuivis :

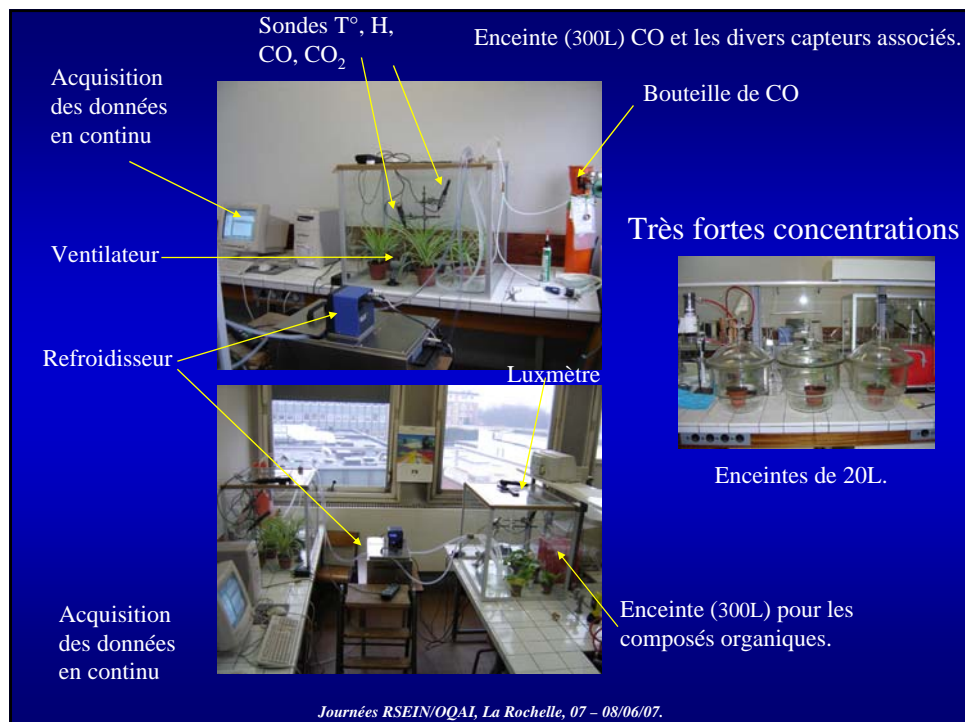
Cette recherche porte sur l'étude

✓ Des capacités d'épuration des polluants de l'air intérieur par les végétaux.

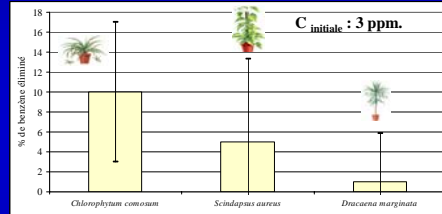
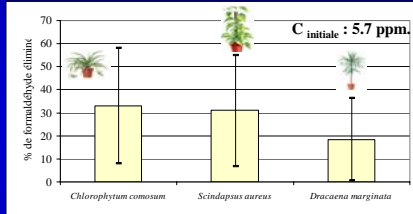
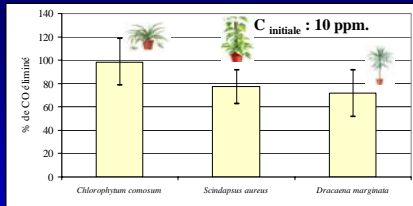
✓ Des mécanismes biologiques impliqués dans cette épuration

✓ De l'utilisation des végétaux dans la biosurveillance des polluants de l'air intérieur

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.



Résultats des performances épuratoires obtenus lors du programme PHYTAIR



Plantes	Polluants	Surfaces foliaires
<i>Chlorophytum comosum</i>	Benzène	0,89
	CO	0,40
	Formaldéhyde	0,26
<i>Scindapsus aureus</i>	Benzène	0,81
	CO	0,31
	Formaldéhyde	0,96
<i>Dracaena marginata</i>	Benzène	0,14
	CO	0,07
	Formaldéhyde	-0,10

Il n'existe pas systématiquement de corrélation directe entre les pourcentages éliminés et les surfaces foliaires.

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Résumé des principaux résultats obtenus sur les performances épuratoires :

- 1) Les capacités d'épuration existent et sont fonction de l'espèce végétale et des polluants considérés.
- 2) Les résultats obtenus sont comparables à ceux disponibles dans la littérature.
- 3) La surface foliaire et la densité du feuillage influent sur les performances observées.
- 4) L'humidité influe d'une manière significative sur les performances d'épuration du formaldéhyde, essentiellement à cause des propriétés hydrophiles de ce polluant.
- 5) La température favorise l'épuration d'une manière générale, aussi bien par ses propriétés physiques sur les polluants que par son influence sur les mécanismes biologiques.
- 6) La photosynthèse influe indirectement sur les mécanismes d'épuration.

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.

Conclusion – perspectives.

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Quelques remarques sur ces travaux

✓ Pas toujours d'adéquation entre les concentrations utilisées et celles observées dans les logements.

✓ Pas d'investigation dans le domaine de la bioindication.

✓ Pas de méthode « standard » définie.

✓ Quelques solutions pour des applications.

✓ Une demande sociale de plus en plus forte.

✓ NECESSITE D'UNE REPONSE SCIENTIFIQUE RIGOREUSE

Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 – 08/06/07.

Merci de votre attention



Journées RSEIN/OQAI, La Rochelle, 07 - 08/06/07.