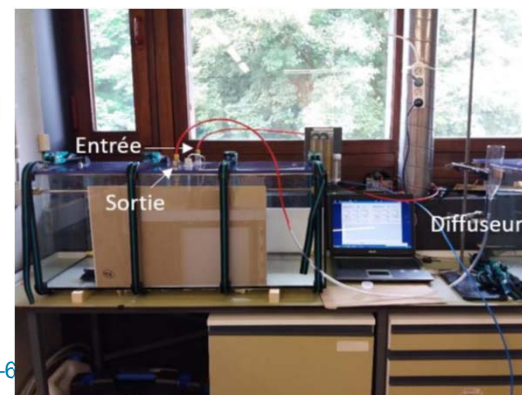
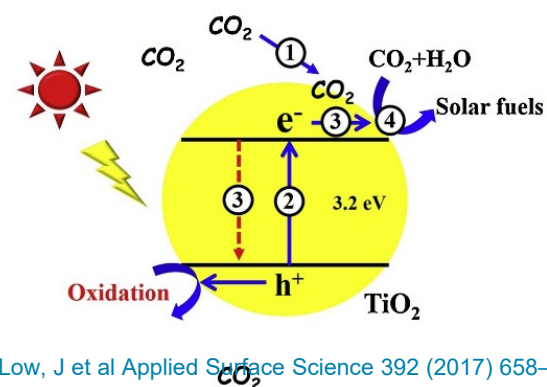


## L'épuration de l'air intérieur : Que faut'il en penser?



Prof. Dr. AC Romain, head of  
**Sensing of Atmospheres and Monitoring (ULiege-SAM)**

### Amélioration de la qualité d'air intérieur passe-t-elle par le traitement de l'air intérieur?

#### Traitement de la pollution : Approche end of pipe?

une solution parmi d'autres?

- réduction des sources (matériaux faible émission,...)
- amélioration du taux de ventilation (y compris ouverture des fenêtres)

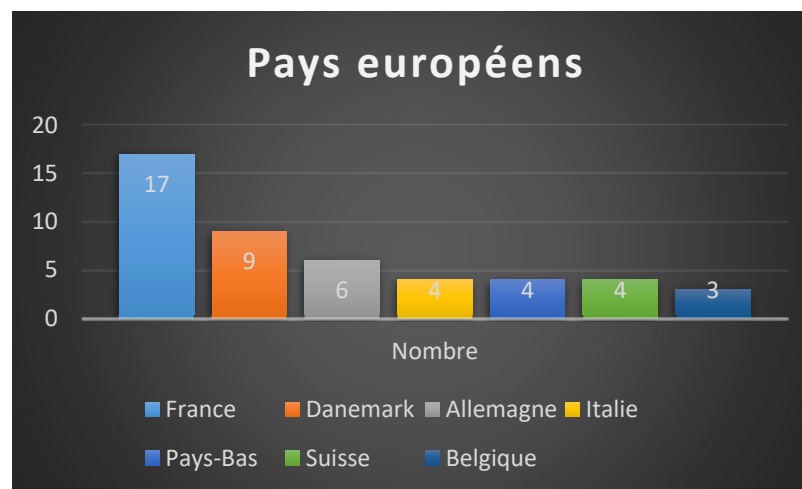
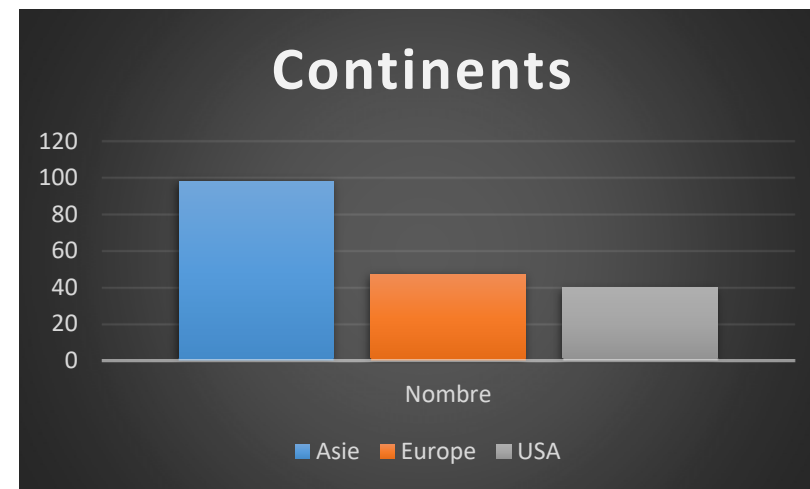
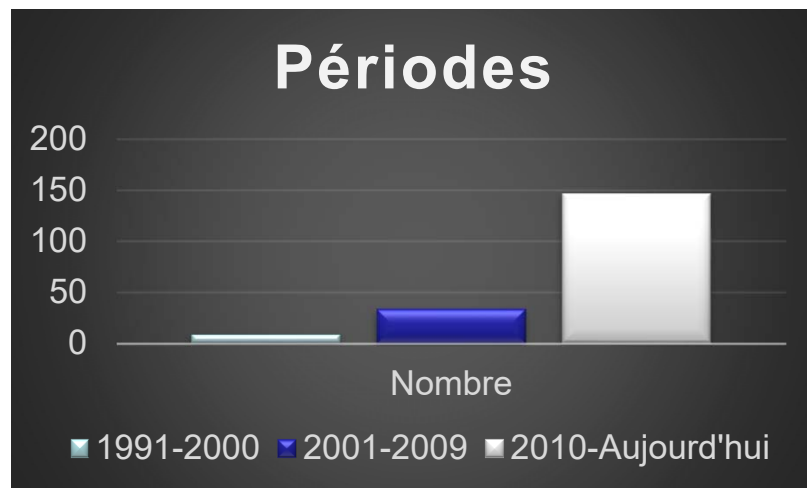
#### ← Efficacité?

- Controversée! Une seule vérité?
- Pour quels polluants?
- Quelles concentrations?
- Influence des conditions de fonctionnement (luminosité, t, Hr, débit, temps de contact, autres composés,...)?
- Comment? Harmonisation des tests?
- Efficacité en milieu réel?

#### ← Innocuité? Controversée! Oui non peut-être...

#### → Peut-on aujourd'hui le préconiser pour un usage domestique ?

## Recherche "Scopus" : Indoor Air and Purifier (ou purification) moins de 200 papiers!



### Brevets

Majorité sur la photocatalyse

Origine principale : Asie

Exemple brevet récent :

*« ...et élimine divers polluants et purifie l'air intérieur par des actions de neutralisation électrique, de réaction chimique, d'adsorption et similaires; les ions négatifs sont préparés à partir d'ingrédients naturels purs, sont sans danger et ont des effets secondaires non toxiques; et la peinture murale à base d'eau peut libérer beaucoup d'ions négatifs et de rayons infrarouges lointains après le revêtement mural intérieur, élimine les substances nocives à l'intérieur et est bénéfique pour la santé du corps humain »*

### Etudes Agence Environnementale, Sanitaire et Normes

Pas de réglementation relative à la commercialisation et à l'utilisation  
majorité sur la photocatalyse

*Anses, "AVIS et RAPPORT de l'Anses relatif à l'identification et l'analyse des différentes techniques d'épuration d'air intérieur émergentes," 2017.*

**Filtration mécanique** (particules)

**Filtration électrostatique**

**Adsorption**

**Photocatalyse**

- Systèmes autonomes (PCO) ou intégrés au système de ventilation (CVC)
- Matériaux photoactifs (Peintures; vernies, papiers, céramiques, ciment dépolluantes)
- Sprays de revêtement

**Ionisation** (plasma froid électrique ou magnétique ou à plasma à haute T)

**Ozonation** (formation par décharge électrique)

**Charbon actif**

**Huiles essentielles** (spray de 45 huiles essentielles...en pharmacie....biocides antiallergiques, « assainit l'air intérieur »)

*Phytothérapie (2011) 9: 323-324 © Springer-Verlag France 2011 DOI10.1007/s10298-011-0655-4 )*

**Agents masquants/neutralisants**

**Plantes vertes et Murs végétaux**

---

+ NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub>, microorganismes

 $+ \text{ZnO}, \text{WO}_3, \dots$ 

Le catalyseur le plus utilisé est le dioxyde de titane ( $\text{TiO}_2$ ) car thermodynamiquement **stable, non toxique et économique**.

Il peut être utilisé sous forme de poudre dans l'eau ou sous forme déposée sur support (fibres de verre, tissus, plaques,...) » *Ref : CEN/TC 386*

*Ref : CEN/TC 386*

*\*JAPANESE JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, Vol.44, No.12 (2005) pp.8269-8285, [Part1]*

### Normes

2008 : création CEN/TC 386 (présidence française - AFNOR B44A ) Photocatalyse : Méthodes analytiques et tests

#### TC 352 Nanotechnologies

**EN 1686-1 Juin 2017** Photocatalyse - Mesure de l'efficacité des dispositifs photocatalytiques servant à l'élimination, en mode actif, des COV et des odeurs dans l'air intérieur - Partie 1 : méthode d'essai en enceinte confinée

**NF B44-200 Mai 2016** Epurateurs d'air autonomes pour applications tertiaires et résidentielles - Méthodes d'essai - Performances intrinsèques  
(B44-013 – Efficacité sur les COV et 011 – Efficacité sur NOx)

**ISO 18560 Dec 2014** Céramiques techniques - Méthode d'essai pour mesurer les performances des matériaux photocatalytiques semiconducteurs pour purifier l'air selon la méthode de la chambre d'essai dans un environnement d'éclairage intérieur - Partie 1 : élimination du formaldéhyde

**ISO 22195-5 Juin 2013** Céramiques techniques - Méthodes d'essai relatives à la performance des matériaux photocatalytiques semi-conducteurs pour la purification de l'air - Partie 5 : élimination du mercaptan méthylique

### Publications peer review

*Tokarek S, Barreau N, Capela S, Nicolas M, Maupetit F, Ritoux S, Squinazi F, Guillosoou G, Ezratty V, Robert-Gnansia E. Caractérisation de l'efficacité chimique et particulaire d'un épurateur d'air photocatalytique autonome. Env Risque Sante 2011 ; 10 : 35-45.*

Tests de 5 épurateurs autonomes :

- production d'O<sub>3</sub> et NO<sub>x</sub> pour 3/5
- particules ok pour un des deux
- diminution limonène
- inefficace pour NO<sub>x</sub> et Toluène
- augmentation du HCOH (conversion du limo?)

*Gandolfo, A.a, Bartolomei, V.a, Gomez Alvarez, E.a, Tlili, S.a, Gligorovski, S.a Email Author, Kleffmann, J.b, Wortham, H.a, The effectiveness of indoor photocatalytic paints on NO<sub>x</sub> and HONO levels, Applied Catalysis B: Environmental Volume 166-167, May 01, 2015, Pages 84-90*

- dégradation du NO<sub>2</sub> possible
- formation de sous produits : NO (15%) et HONO (33%)

...



**Etude Imp'Air 2016/CSTB** (Prime'Equal – 1995-MEEM et ADEME <http://www.primequal.fr/>)

limonène, toluène et formaldéhyde  
céramique, peinture, lasure, enduit  
Lampe LED (visible)

→ **Adsorption** plutôt que photocatalyse  
10 à 20% et 10 à 80% pour formaldéhyde avec valeur plus élevée avec  $\text{TiO}_2$   
effet très faible et donc peu de sous-produits

Etude du vieillissement (UV et  $\text{O}_3$ ) – abrasion : pas de résultats concluants

« ... l'efficacité d'épuration des matériaux nanoadditivés testés est relativement faible ;

- le vieillissement de ces produits affecte, pour certains, leur performance en tant qu'épurateur d'air ;
- des substances issues de sous-produits réactionnels peuvent être émises, avec un risque sanitaire potentiel ;
- l'abrasion des surfaces nanoadditivées produit quelques particules nanométriques, sans qu'aucune conclusion sanitaire ne puisse en être tirée à ce stade »

### **Projet SafePHOTOCAT** (2015 ADEME et Univ de Pau)

*Performance et innocuité de systèmes et matériaux photocatalytiques commerciaux*

sept produits commercialisés pour le traitement de l'air par photocatalyse  
4 systèmes autonomes, 2 peintures, 1 carrelage + matériau innovant

- Performance et Innocuité validée
  - HCOH inférieure à valeur guide
  - pas de nano particules mesurées

### **Projet ETAPE** (2017 ADEME et Ecole des Mines de Douai)

*Evaluation de l'innocuité des systèmes de **Traitement de l'Air** par **Photocatalyse***

Dispositifs innovants (40m<sup>3</sup>) et Recommandations pour textes normatifs

- Les tests en enceinte doivent privilégier un rapport de 0,5 à 5 h<sup>-1</sup>
- Préférer l'indice de performance (IP= rapport des CADR) au paramètre débit d'air épuré (CADR, m<sup>3</sup>/h) ;
- Tester une matrice gazeuse avec des COV de référence, tels que le toluène et le formaldéhyde, mais surtout avec des composés spécifiques de l'atmosphère dans laquelle le système testé est ensuite installé ;
- tenir compte du vieillissement de l'appareil ;
- Privilégier une géométrie augmentant le temps de contact

## Recherche "Scopus" : Indoor Air and Plants

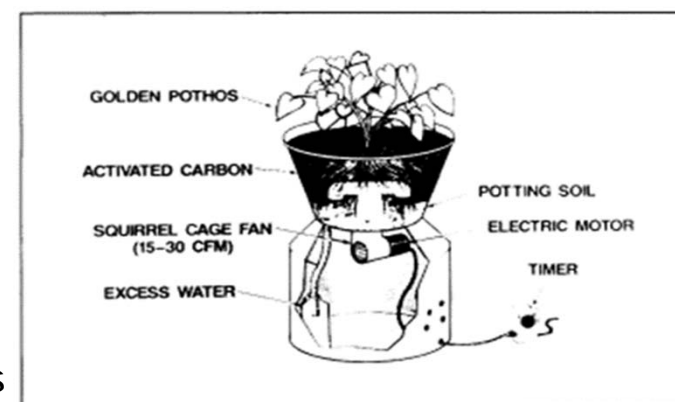
autour de 600 papiers après sélection

- avant 1985 < 5; 1985-2009 autour de 10; 2010 à aujourd'hui entre 20 et 40
- USA >>> Europe (Italie domine) >> Asie
- Belgique : 4

## Dr. Wolverton (1985)

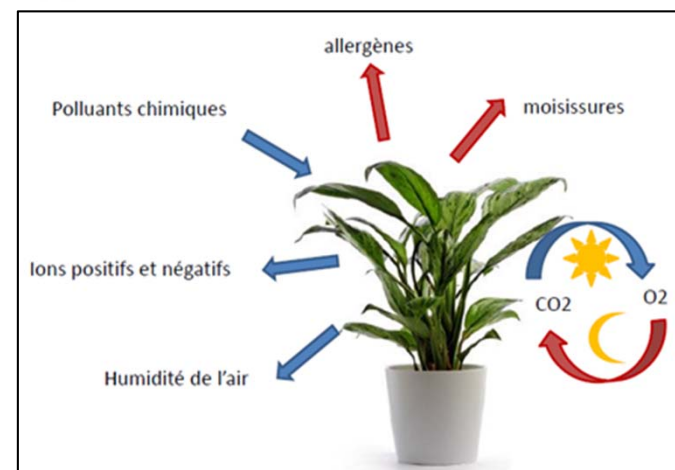
Démontre le pouvoir d'épuration des plantes

- Système actif pour le piégeage de polluants
- Capacité d'épuration des plantes par les feuilles

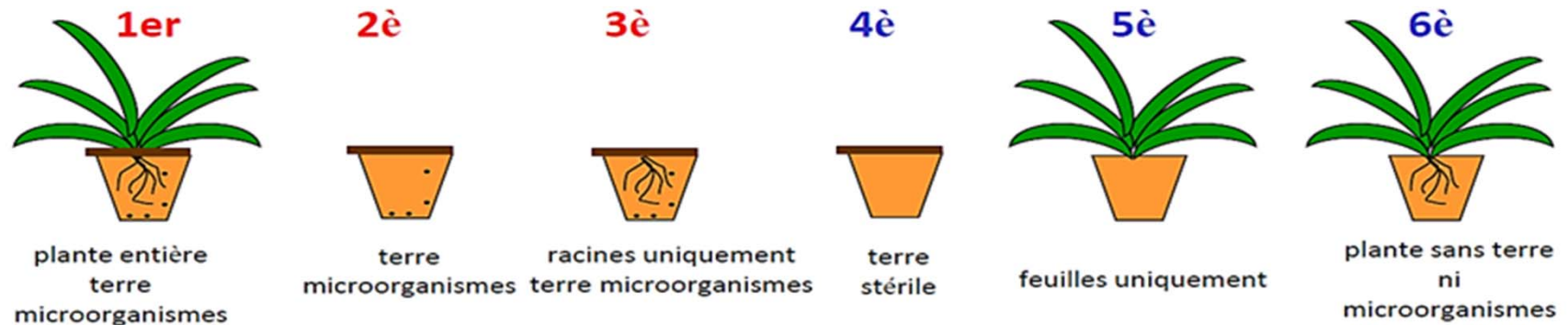


## Controverse

## Avantages et Inconvénients



## Phyt'air (Ademe)



substrat étudié avec des plants de Chlorophytum exposés à du toluène en testant différentes configurations

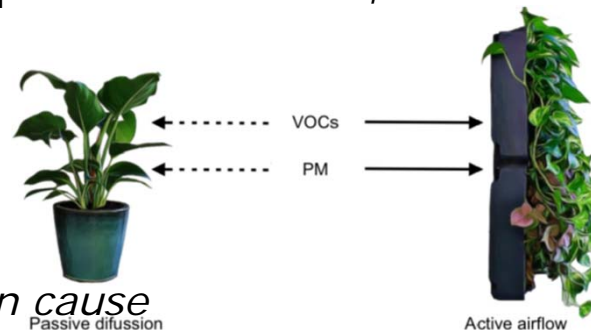
*Appa, 2012. Plantes et qualité de l'air intérieur : Les apports du programme PHYTAIR. [www.appanpc.fr](http://www.appanpc.fr)>Outiltheque>dossiers*

## Publications peer review

- Todd, A. W et al, Plant leaves as indoor air passive samplers for volatile organic compounds, Chemosphere 122 (2015) 32-37

*«results suggest that the high plant biomass to air ratio to make meaningful VOC reductions... make the use of houseplants as air cleaners impractical in most cases (Girman et al 2009)»*

- Pettit, T., Irga, Torpy, F.R., Towards practical indoor air phytoremediation: A review(Review), Chemosphere Volume 208, October 2018, Pages 960-974 (Australie)



*Efficacité non remise en cause*

*Emission faible de bioaérosols (mais tests supplémentaires des variables nécessaires)*

- Nécessité de tests en milieu réel
- Études complémentaires à envisager :  
taux de transferts sur le biofiltre (débit, direction du flux)

## 1-Sprays de revêtement (études pour fabricants 2010 à 2012)

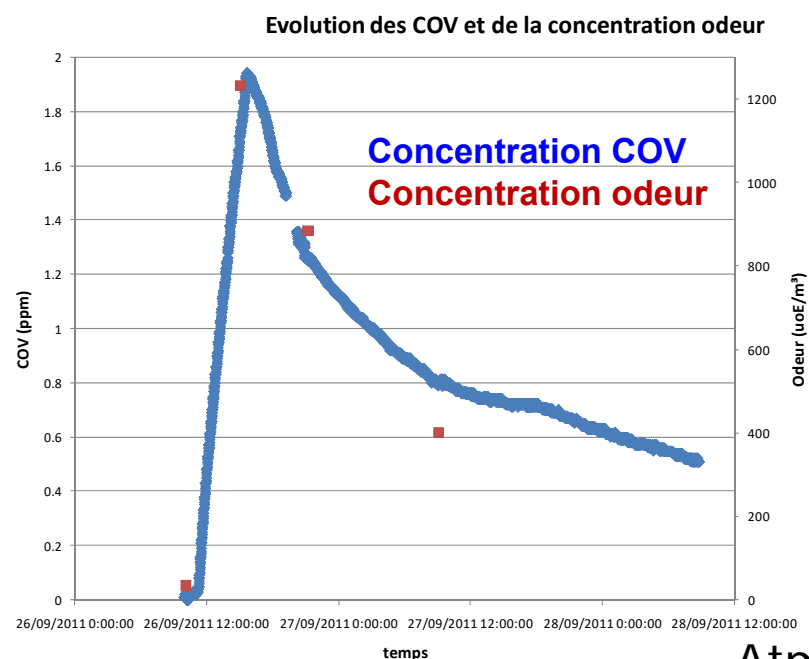
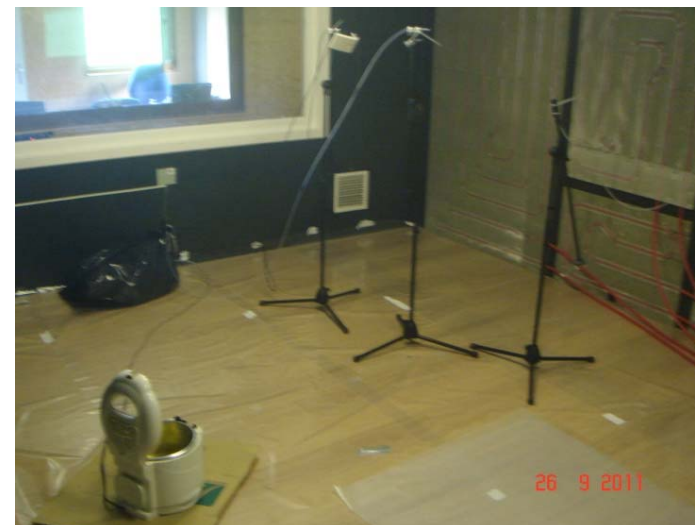
- $\text{TiO}_2$  et agents neutralisants
- Source en chambre d'émission de  $50 \text{ m}^3$  : friteuse
- Sources en milieu réel
  - Friterie :  $100\text{-}800 \text{ uo}_E/\text{m}^3$  (max 3000 au-dessus cuisson)
  - Toilettes :  $100\text{-}600 \text{ uo}_E/\text{m}^3$
  - Local poubelles :  $200\text{-}500 \text{ uo}_E/\text{m}^3$
- COV et odeurs





5 jours continus dans chambre de 50 m<sup>3</sup> ; friteuse au milieu de la chambre

date	time	Fryer state	Odour concentration (uoE/m <sup>3</sup> )	VOC (PID) (ppb)
26/09/2011	10 h 10	Fryer OFF	33	10
26/09/2011	15 h 03	<b>Fryer On at 11h00</b> and OFF at 15h40	1.232	1720
26/09/2011	21 h 15	06 hours after switc off	883	1250
27/09/2011	9 h 08	18 after swich off	401	800



1-Penten-3-ol,  
 Octane,  
 2-Heptenal, (Z)-,  
 2,4-Heptadienal, (E,E)-,  
 Nonanal,  
 2-Decenal, (E)-  
 2,4-Decadienal, (E,E)-

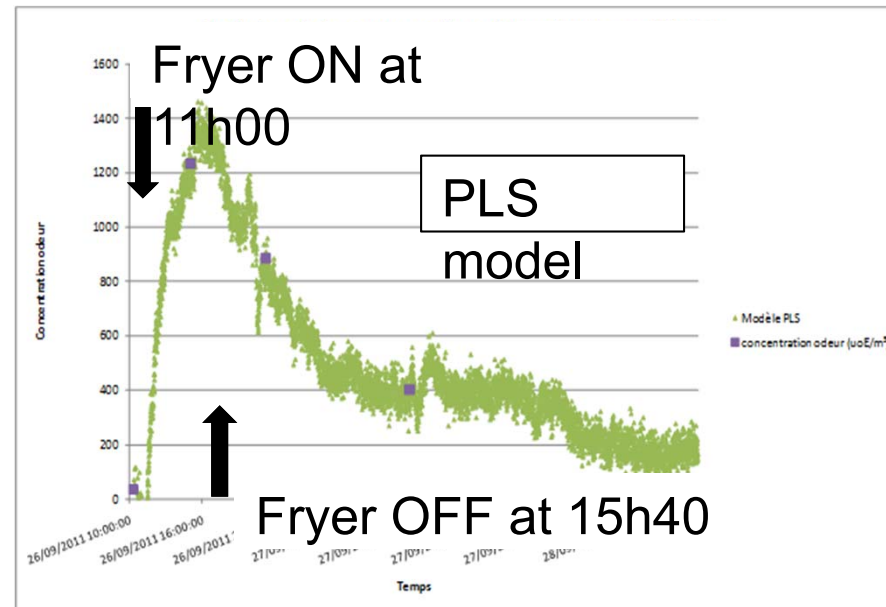
Panneaux de revêtement pulvérisés à l'extérieur de la chambre,  
installés tôt le matin avant les tests

**Ex de résultats** : Comparaison Déclin naturel – Déclin avec produit

Produit A: diminution plus rapide des odeurs avec le spray (une nuit)

Produit B: diminution significative des odeurs après 06h

Produit C: réduction pour les valeurs plus élevées des odeurs





## Situation réelle : Ex de résultats

Dans la friterie :



- réduction des odeurs de 32% (valeurs moyennes : de 830 à 560 ou<sub>E</sub>/m<sup>3</sup>) mais non significativement différentes
- diminution des COV de 30%
- diminution plus rapide des odeurs entre la journée (fryers ON) et la nuit (fryers OFF)

Local poubelles :

Classes	Odourless	Odorous
Non pulverised observations	25%	<b>75%</b>
Pulverised observations	41%	<b>59%</b>



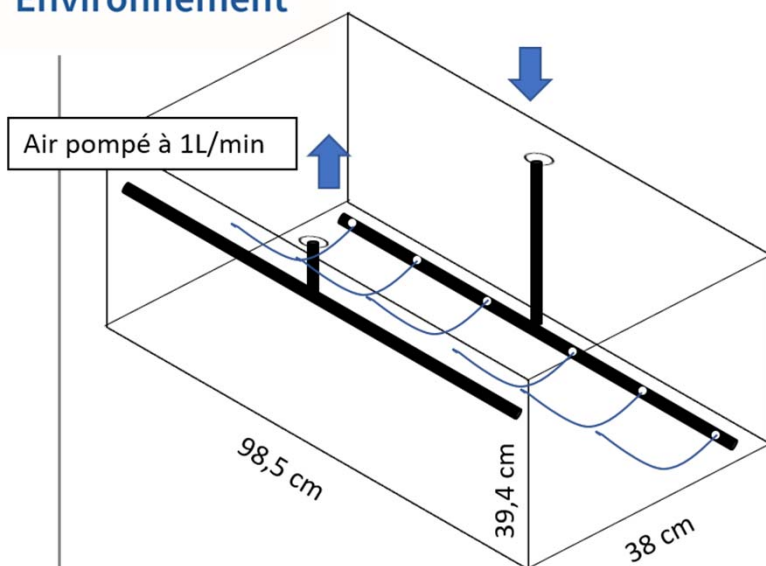
### 2- Peintures dépolluantes (travaux de Yasmina ATIF 2018)

- **Sources :**
  - COV et odeur : Désodorisant intérieur
  - Formaldéhyde (préparation étalon gazeux : 43 ppbv)
- **2 peintures dépolluantes** (HCOH et COV) + **2 équivalentes** non dépolluantes
  - 2 supports : Gyproc et plafonnage
- **1 peinture (odeur) + équivalente**
  - 1 support Gyproc
- **Variables :**
  - Odeur(intensité et hédonique AFNOR X43-103 et VDI 3882)
  - COV totaux (PID et Tenax, TD-GC-MS)
  - HCOH (capteur électrochimique + DNPH HPLC-UV),
- **Conditions expérimentales**
  - T° (23+/-1°C), Hr(45+/-5%), ensoleillement, taux de renouvellement d'air 0,4h<sup>-1</sup>
- **Chambres d'essai :**
  - 2 enceintes en verre de 160 l (facteur de charge 3,1m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup>) + FLEC

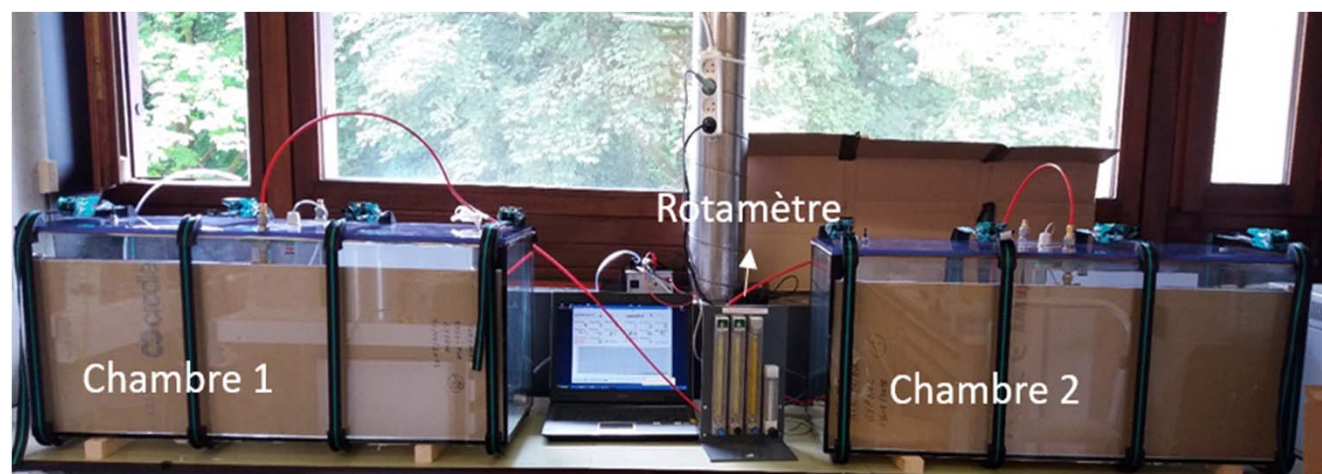


## Notre retour d'expériences : illustrations

EFFICACITE



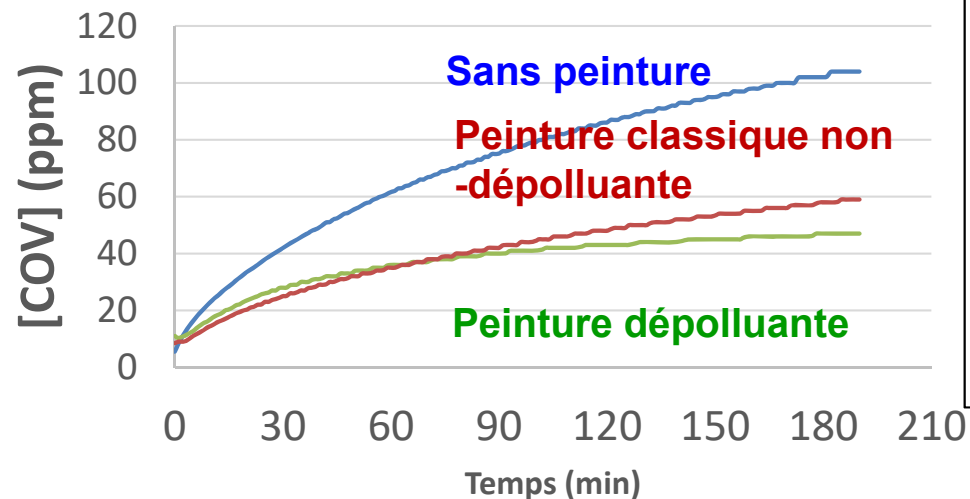
- Tests simultanés dans les 2 chambres d'essai
- PID dans les chambres
- sur une journée, sont testées, dans une même chambre:
  - Désodorisant seul
  - Désodorisant + peinture dépolluante
  - Désodorisant + peinture équivalente non dépolluante
- Durée du test: 3 heures
- 3 replicas



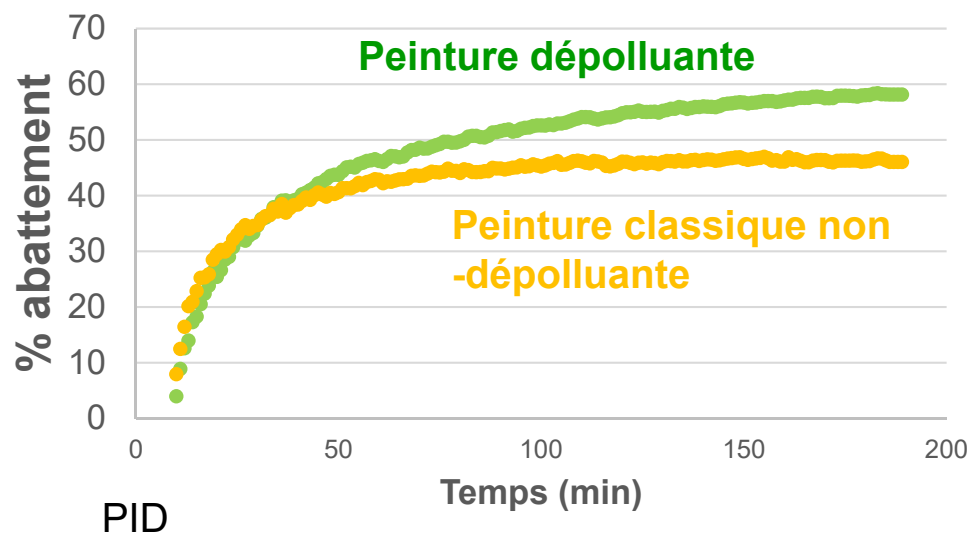
## Notre retour d'expériences : illustrations

# EFFICACITE

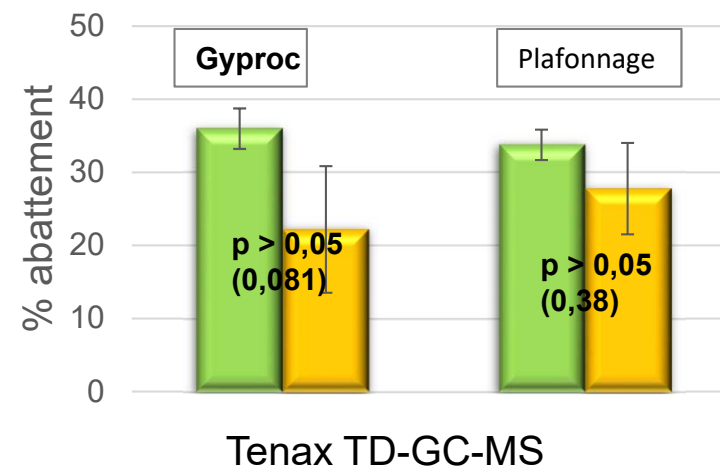
### Exemple de résultats (Gyproc)



- Abattement plus élevé avec peinture dépolluante
- Différence plus marquée sur gyproc que plafonnage
- GC-MS : pas de différence significative
- Réduction COV surtout expliqué par adsorption



### Attention : Différences statistiquement non significatives



### Quelques conclusions sur cette pré-étude :

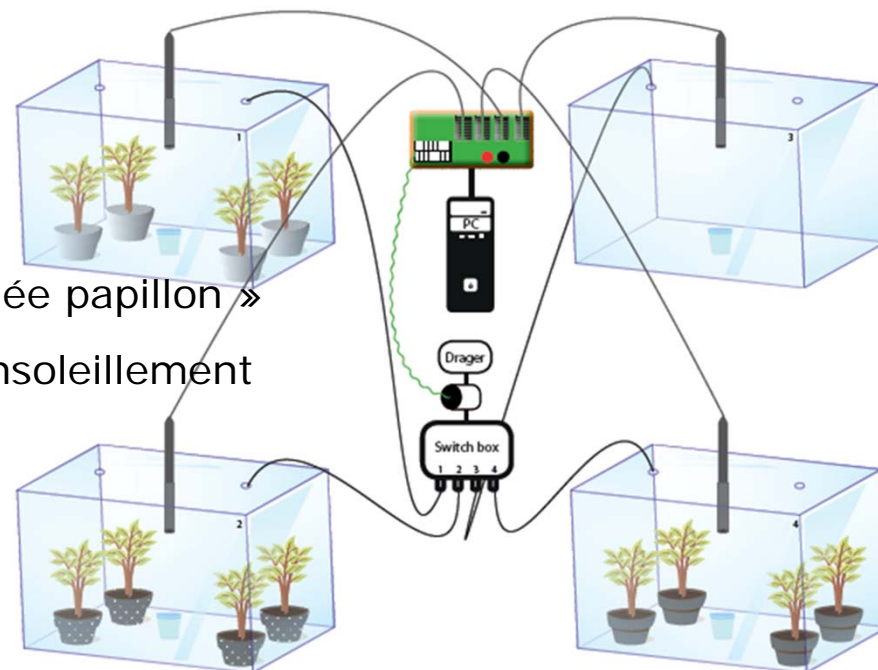
- En présence de peinture (classique ou dépolluante),  $\searrow$  formaldéhyde, COV et odeur
- Déclins légèrement supérieurs avec peintures dépolluantes  
**MAIS** différences entre efficacité avec peinture classique et avec non dépolluante  
**non significatives**
- Probablement effet d'adsorption plutôt que photoactivation  
mesurer la désorption en augmentant la T
- S'affranchir de l'erreur provenant de la diminution de l'émission de la source désodorisant  
et du déclin naturel

...



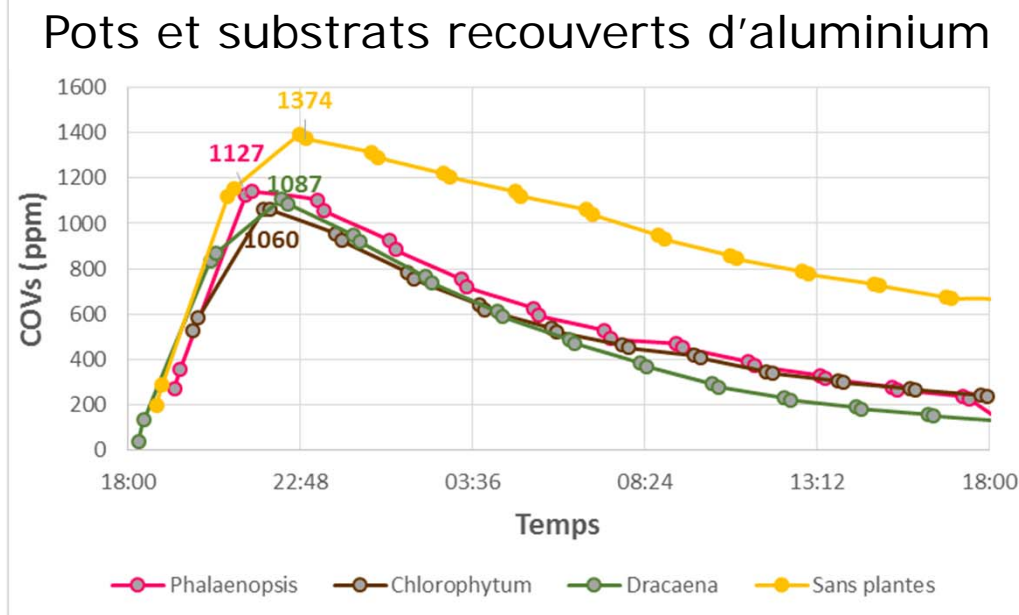
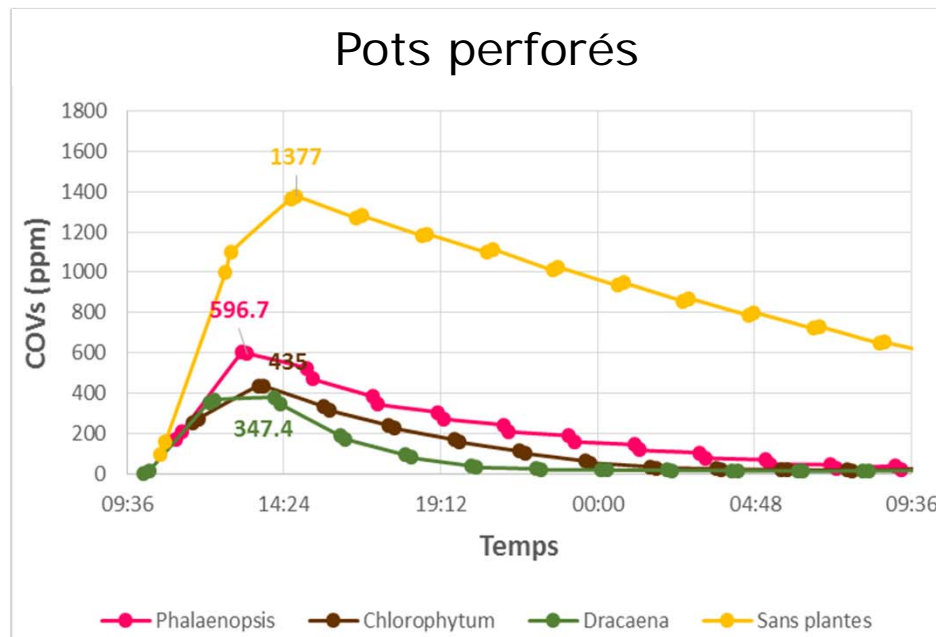
### 3- Plantes (travaux de Soraya AMAMOU 2016)

- **Source** : dissolvant vernis à ongles
- **2 plantes dépolluantes** non allergisantes :  
*Chlorophytum comosum*  
*Dracaena marginata*
- **1 plante classique** : *Phalaenopsis* « Orchidée papillon »
- **Variables** : COV totaux, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, T°, Hr, ensoleillement
- 4 enceintes en verre de 160 l
- 3 répliques



- **une espèce végétale et différents types de contenants**  
 (pots perforés ou pots classiques ou pots perforés +charbon actif)
- **différentes espèces végétales dans contenants identiques**

## Exemples de résultats



### Effet épurateur parties aériennes et racinaires :

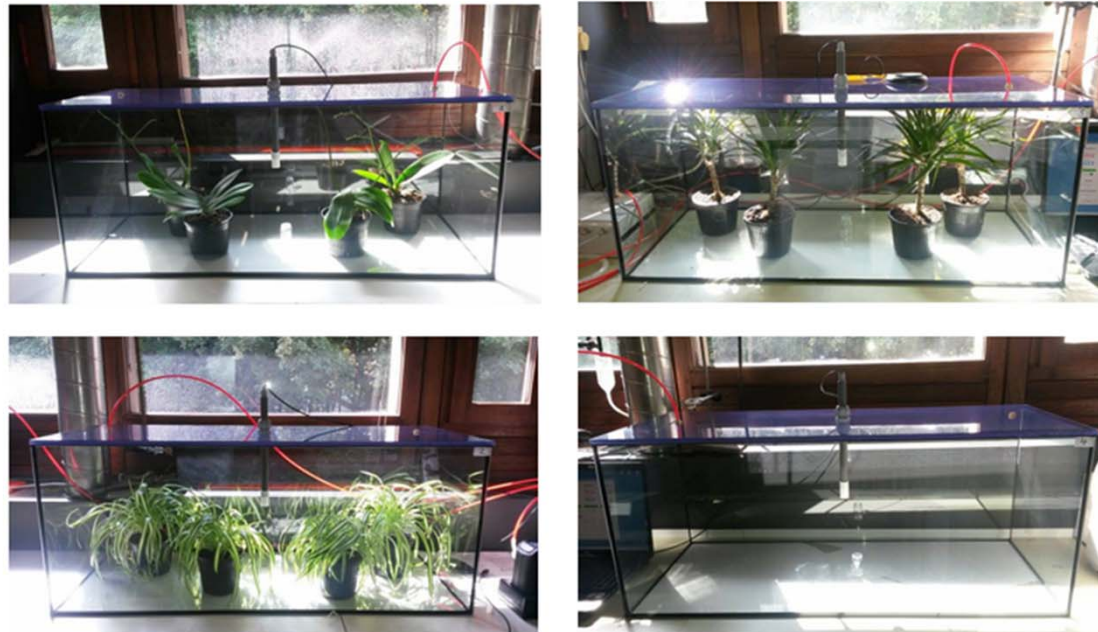
- [COVs]  $\searrow$  dans toutes les enceintes
- Performances (évolution, COV max) :  
*Phalaenopsis* < *Chlorophytum* < *Dracaena*
- Réduction 100% < 24 h avec les 3 espèces

### Effet épurateur parties aériennes

- [COVs]  $\searrow$  dans toutes les enceintes
- $\neq$  pouvoir épurateur des plantes (évolution COV et COV max) non significatives
- Moins performant
- Surfaces foliaires très différentes
- réduction 100% non atteinte en 24 h

### Principales conclusions de cette étude :

- Les trois espèces végétales testées ont la capacité de réduire la concentration en COVs
- Rôle majeur de la partie racinaire (racines + substrat + microorganismes)
- L'effet épurateur  $\nearrow$  quand surface de contact du substrat avec l'air  $\nearrow$
- La meilleure combinaison obtenue (dans nos conditions expérimentales)  $\Rightarrow$  Plants de Dracaena et pots perforés
- **Faible rendement : nécessiterait de recouvrir toute la surface d'une pièce !**  
**1 plante/m<sup>2</sup>**





### Principales conclusions de ces quelques expériences :

- Réduction des concentrations observées (dans les conditions de test)
- Déclin plus rapide
- Protocole expérimental fondamental pour une interprétation correcte des résultats
- Intégrer le déclin naturel dans les résultats
- Traitement statistique des données indispensable
- Test en situation réelle à privilégier mais nécessité d'un blanc

(exemple deux maisons identiques avec les mêmes activités????)

### **Efficacité** rarement remise en cause

- Comment la quantifier ?
  - Différence entre concentration injectée et concentration en sortie ramenée à la concentration injectée
  - Débit d'air épuré (DAE/CADR) : efficacité x débit ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
  - Privilégier concentration dans la pièce /enceinte au temps initial
  - Déclin ( $\text{h}^{-1}$ )
  - Fonction du système (revêtement muraux  $\neq$  systèmes autonomes)
  - Rendement : efficacité du débit traité par rapport au volume de la pièce en intégrant le taux de renouvellement
- Significativité statistique souvent oubliée dans les études!
- Compromis temps de contact et volume d'air à épurer (30  $\text{m}^3/\text{h}$  serait idéal...quid pour des débits plus élevés?)
- Consensus scientifique sur la nécessité d'associer efficacité et variables d'influence (concentration, polluants etc)
- Augmenter la surface de contact...
- Toujours incertitude en milieux réels
- Etudes pour composés classiques parfois en mélange (surtout pour PM)
- Pérennité-Vieillessement : peu d'études

### **Dangerosité** : pas de réponses claires

- Existence de sous-produits toxiques souvent mentionnée (photolyse, plante –moisissures-)
- Génération de particules (ex : spray; O<sub>3</sub>+terpènes)
- Taille des particules (Photocatalyse)

CIRC a déclaré les nanoparticules comme « peut-être cancérigène » (classe 2B)

- Groupes à risques? allergiques, asthmatiques
- Peu d'études des effets sur la santé (bénéfiques ou risqués) :

**→ manque de connaissances épidémiologiques, toxicologiques et écotoxicologiques**

## Amélioration de la qualité d'air intérieur passe-t-elle par le traitement de l'air intérieur?

Traitement de la pollution : Approche end of pipe?

une solution parmi d'autres?

- réduction des sources (matériaux faible émission,...)

**Même erreur qu'avec les matériaux de construction :  
mise sur le marché de produits dont on ne connaît pas les  
risques sur la santé**

**Quid d'une certification?**

**Quid de la maintenance? Même erreur que la ventilation**

- Quelles concentrations?
- Influence des conditions de fonctionnement (luminosité, t, Hr, débit, temps de contact, autres composés,...)?
- Comment? Harmonisation des tests?
- Efficacité en milieu réel?

**Toujours favoriser la  
prévention**

e des fenêtres)

**Variable  
Situation réelle?**

**Méconnaissances  
scientifiques**

**← Impact sanitaire?** Controversé! Oui non peut-être...

**→ Peut-on aujourd'hui le préconiser pour usage domestique ?**

**Principe de précaution**

Thank you

[acromain@uliege.be](mailto:acromain@uliege.be)

