



**Paradoxe de la biofiltration :  
solution efficiente de traitement et source  
d'émissions de bioaérosols ?**

**Luc Malhautier, Sandrine Bayle et Jean-Louis Fanlo,  
Ecole des mines d'Alès**

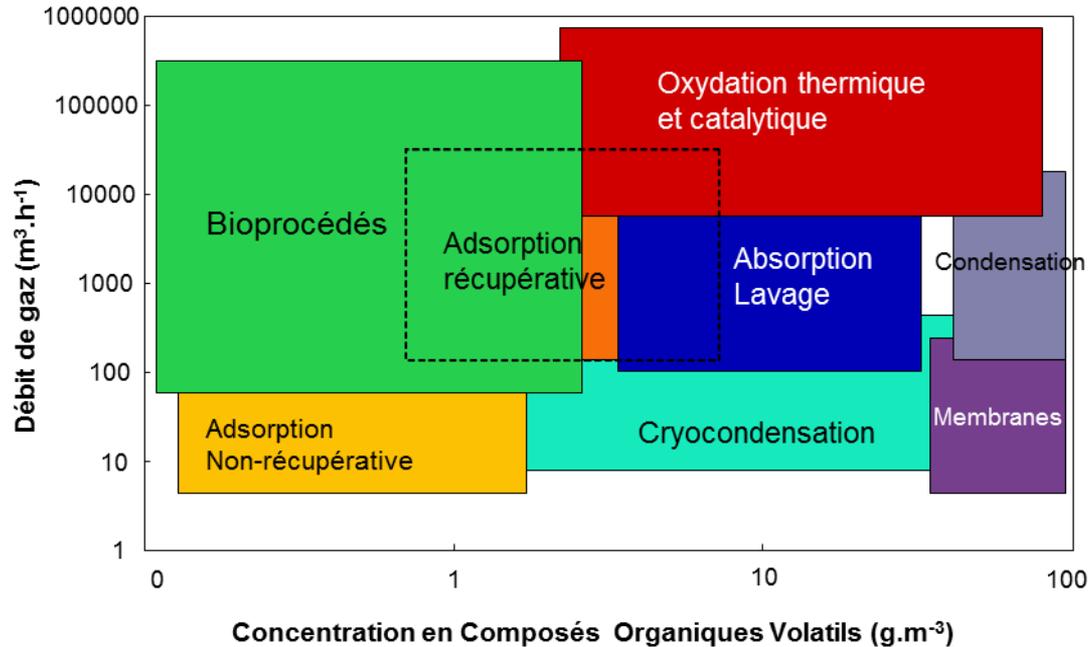




# Sommaire

- **Les procédés biologiques de traitement de gaz**
- **Solution efficace : traitement de mélanges complexes de composés chimiques**
- **Emissions de bioaérosols associées au traitement des gaz**

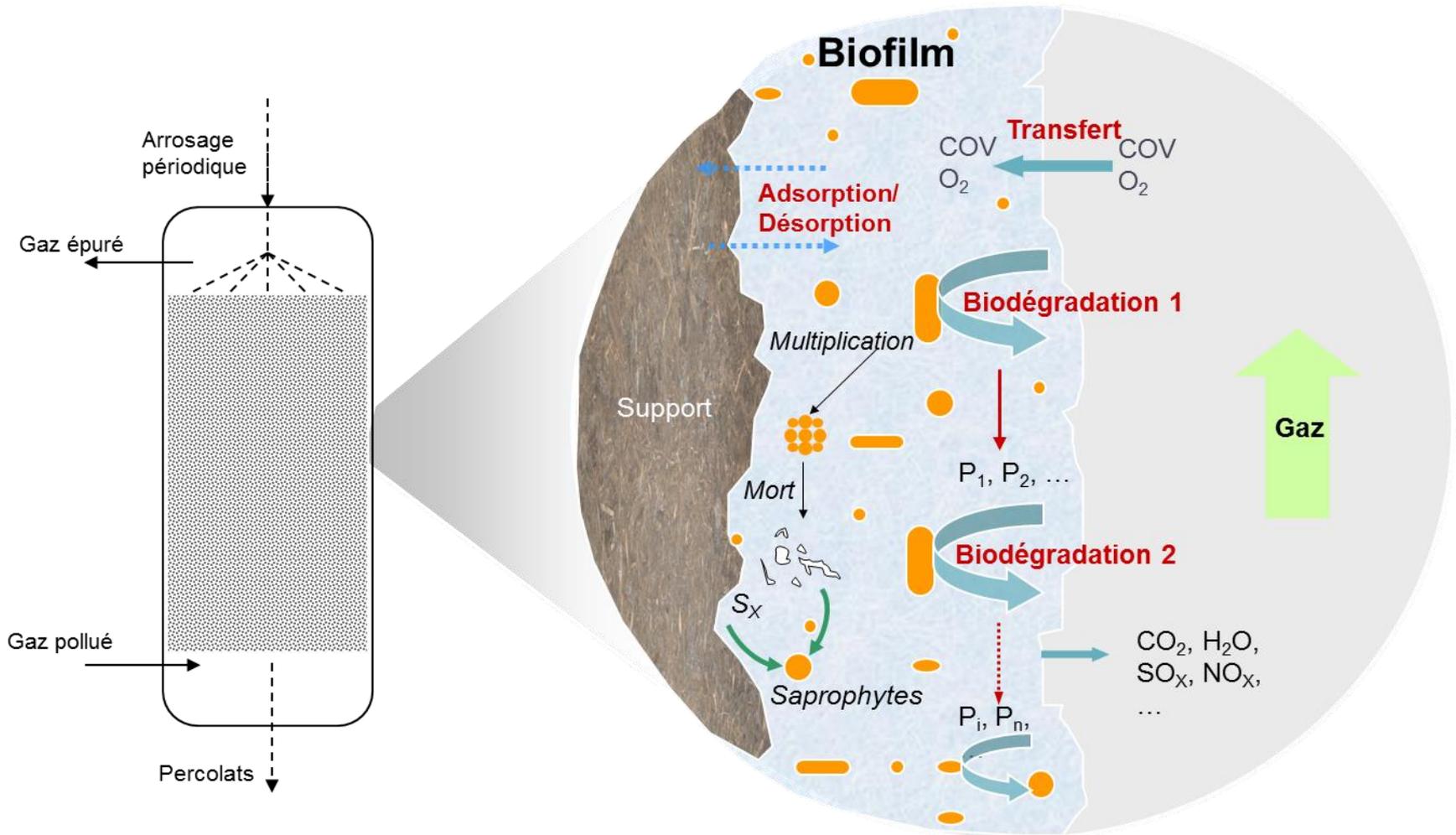
# Les procédés biologiques



## ■ Procédés biologiques :

- Débit de gaz élevés,
- Concentration en polluants inférieures à  $\approx 1 \text{ g.m}^{-3}$

# Les procédés biologiques

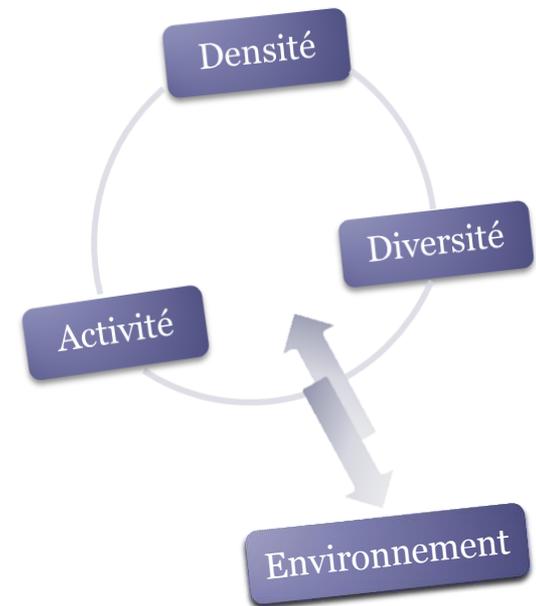
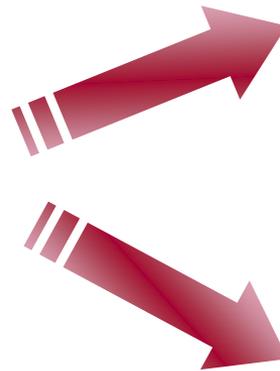
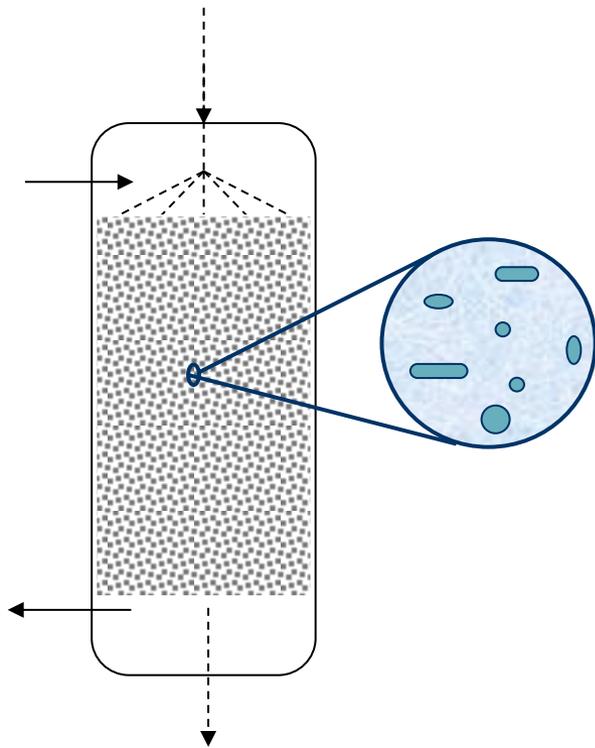


# Performances des procédés biologiques : Echelle industrielle

- **Mélanges complexes de composés chimiques**
- **Emissions malodorantes (traitement des déchets)**
  - Equarrissage (Malhautier et al., 2015 ; Anet et al., 2013 ; Luo et Agnew, 2001)
  - Compostage (Cabrol et al., 2012 ; Prenafeta-Boldú et al., 2012 ; Schlegelmilch et al., 2005)
- **Emissions de Composés Organiques Volatils**
  - Industrie chimique, ... (Lafita et al., 2012 ; Wright et al., 1997)



# Caractérisation des procédés biologiques vers une ouverture de la « boîte noire »

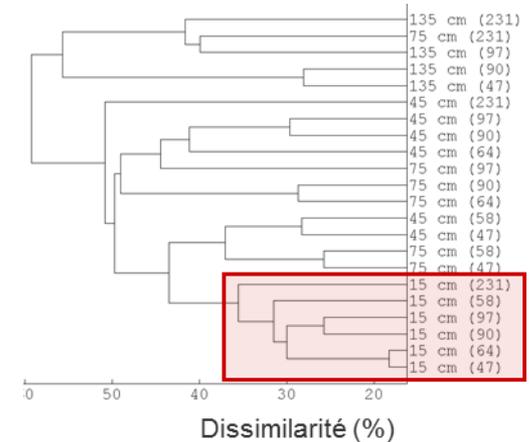


# Caractérisation des procédés biologiques

## Dynamiques spatiale et temporelle

### → Dynamique spatiale

- Gradient vertical de l'efficacité d'élimination
- Corrélation structure-fonction au niveau spatial



Khammar et al., (2005) Link between spatial structure of microbial communities and degradation of a complex mixture of Volatile Organic Compounds (VOCs) in peat biofilters, *Journal of Applied Microbiology*, 98, 476-490.

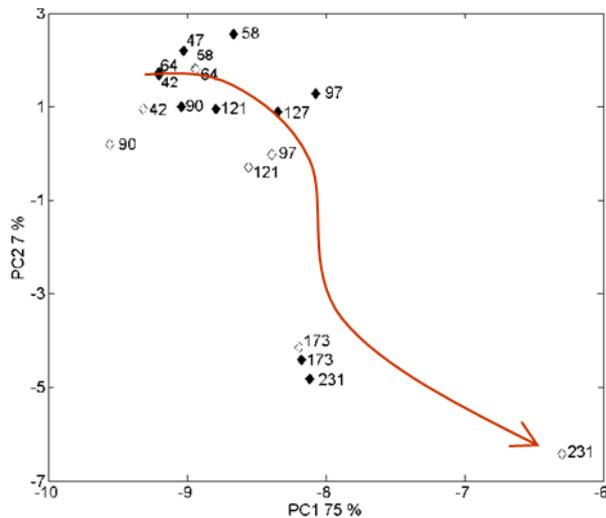
Cabrol et al., (2012) Bacterial dynamics in steady-state biofilters: beyond the functional stability, *FEMS Microbiology Ecology*, 79, 260-271.

# Caractérisation des procédés biologiques

## Dynamiques spatiale et temporelle

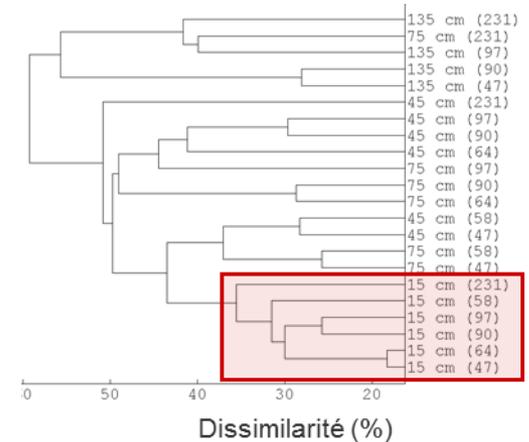
### → Dynamique spatiale

- Gradient vertical de l'efficacité d'élimination
- Corrélation structure-fonction au niveau spatial



### → Dynamique temporelle

- Maintien de performances épuratoires stables et élevées
- Dynamisme de la communauté bactérienne totale



Khammar et al., (2005) Link between spatial structure of microbial communities and degradation of a complex mixture of Volatile Organic Compounds (VOCs) in peat biofilters, *Journal of Applied Microbiology*, 98, 476-490.

Cabrol et al., (2012) Bacterial dynamics in steady-state biofilters: beyond the functional stability, *FEMS Microbiology Ecology*, 79, 260-271.

# Caractérisation des procédés biologiques

## Robustesse des procédés biologiques

⇒ **Robustesse** : Quelles sont les capacités de résistance et de résilience d'un biofiltre soumis à un régime de perturbations d'intensité croissante?

⇒ **Effet mélange** : des différences de robustesse pour les différents composés d'un mélange sont-elles observées ?

⇒ **Liens structure-fonction** : Quelles relations entre les composantes microbiennes et fonctionnelles, en termes de dynamique spatiale et temporelle?

⇒ **Effet mémoire** : L'histoire a-t-elle une influence sur la robustesse des biofiltres?

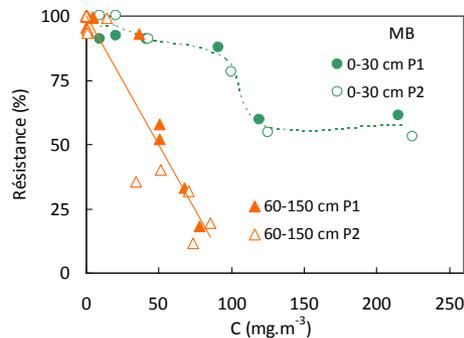
Cabrol et al., (2012) Resistance and resilience of removal efficiency and bacterial community structure of gas biofilters exposed to repeated shock loads, *Bioresource Technology*, 123, 548-557.  
Cabrol et al., (2015) Management of microbial resource through transient disturbances enhances the functional resilience of nitrifying biofilters to future disturbances, *Environmental Science & Technology*, submitted.

# Caractérisation des procédés biologiques

## Robustesse des procédés biologiques

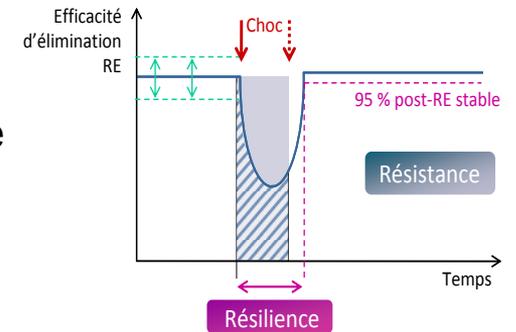
### → Evaluation systématique de la robustesse

- Développement d'indices de résistance et de résilience



### → Effet mélange

- Composés récalcitrants/facilement dégradables
- Mécanismes de compétition (substrats / espèces)

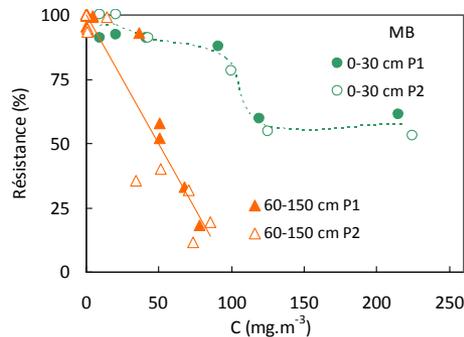


# Caractérisation des procédés biologiques

## Robustesse des procédés biologiques

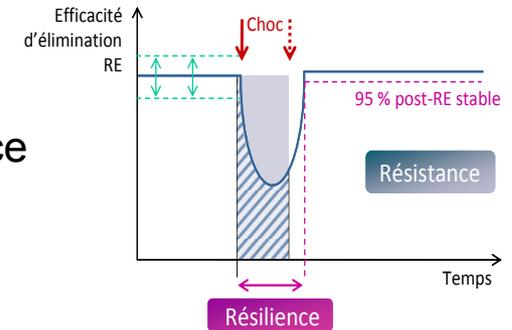
### → Evaluation systématique de la robustesse

- Développement d'indices de résistance et de résilience



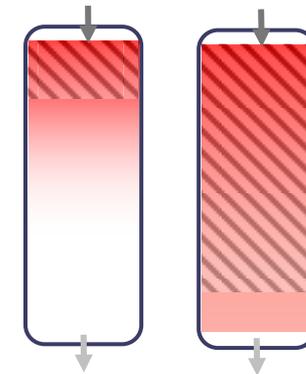
### → Effet mélange

- Composés récalcitrants/facilement dégradables
- Mécanismes de compétition



### → Relation structure-fonction

- Corrélation en termes de structuration spatiale

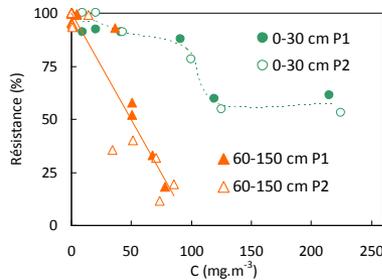


# Caractérisation des procédés biologiques

## Robustesse des procédés biologiques

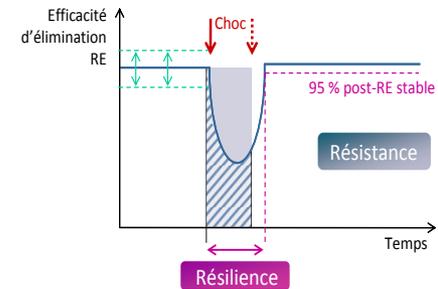
### → Evaluation systématique de la robustesse

- Développement d'indices de résistance et de résilience



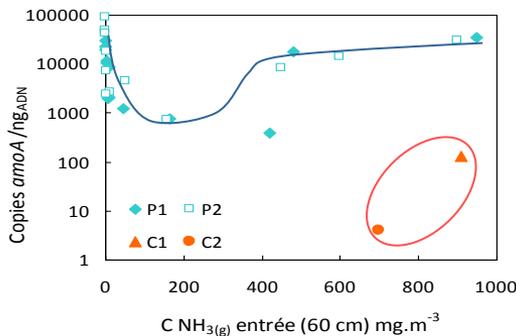
### → Effet mélange

- Composés récalcitrants/facilement dégradables
- Mécanismes de compétition



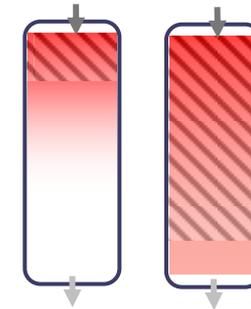
### → Relation structure-fonction

- Non-couplage en termes de dynamique temporelle
- Corrélation en termes de stratification spatiale



### → Effet mémoire

- Acclimatation au régime perturbé par effet mémoire
- Modifications structurelles (sélection d'espèces résistantes)





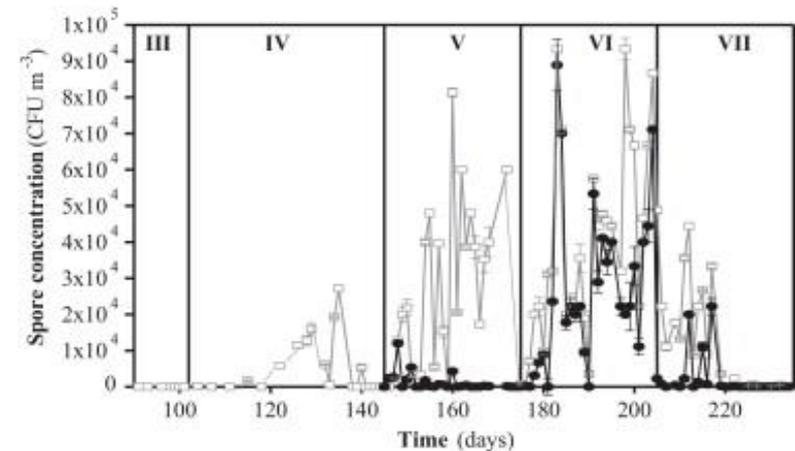
# **Paradoxe de la biofiltration : Source d'émissions de bioaérosols**

- **Implantations industrielles : Performances intéressantes**
- **Etudes en labo : Amélioration de la maîtrise de ces procédés face à des épisodes critiques**
- **Emission de bioaérosols !**

# Paradoxe de la biofiltration : Source d'émissions de bioaérosols

## → Emissions de microorganismes

- $10^3$ - $10^4$  UFC  $m^{-3}$  air (COVs) (Zilli et al., 2005 ; Sanchez-Monedero et al., 2003 ; Ottengraf et Koning, 1991)
- $10^3$ - $10^5$  UFC (spores fongiques)  $m^{-3}$  air (hexane) (Saucedo-Lucero et al., 2014)



Time course of the spore concentration at outlet of the biofilter (□) and photoreactor (●). Vertical bars represent the standard deviations from duplicate measurements (Saucedo-Lucero et al., 2014).

Saucedo-Lucero et al. (2014) Hexane abatement and spore emission control in a fungal biofilter-photoreactor hybrid unit, *Journal of Hazardous Materials* 276:287–294.

Zilli et al. (2005) Detachment and emission of airborne bacteria in gas-phase biofilm reactors. *Biotechnology & Bioengineering*, 91:707-714.

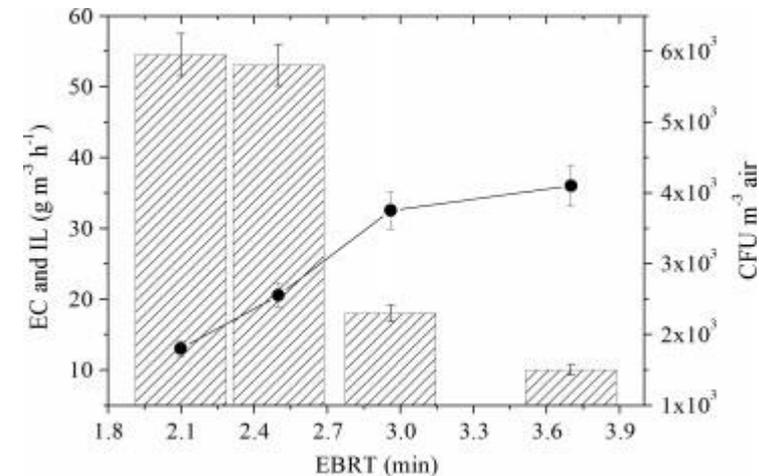
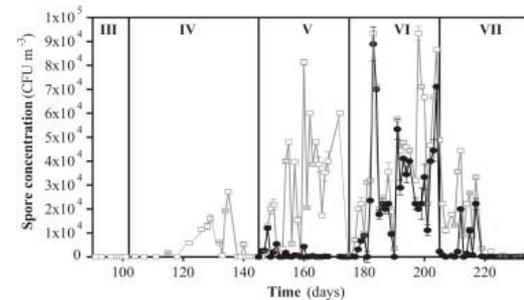
Sanchez-Monedero et al. (2003) Biofiltration at composting facilities: effectiveness for bioaerosol control. *Environmental Science & Technology* 15:4299–4303.

Ottengraf and Konings (1991) Emission of microorganisms from biofilters. *Bioprocess Engineering* 7:89-96.

# Paradoxe de la biofiltration : Source d'émissions de bioaérosols

## → Emissions de microorganismes

- $10^3$ - $10^4$  UFC  $m^{-3}$  air (COVs) (Ottengraf et Koning, 1991; Zilli et al., 2005)
- $10^3$ - $10^5$  UFC (spores fongiques)  $m^{-3}$  air (hexane) (Saucedo-Lucero et al., 2014)



## → Facteurs d'émission

- Taux d'émission lié à l'activité métabolique des espèces fongiques (Vergara-Fernandez et al., 2012)

Influence of the EBRT on the EC (●) and emission of *Fusarium solani* spores (▨) during *n*-pentane biofiltration at a constant IL of  $50\ g\ m^{-3}$  reactor  $h^{-1}$ .

Saucedo-Lucero et al. (2014) Hexane abatement and spore emission control in a fungal biofilter-photoreactor hybrid unit, *Journal of Hazardous Materials* 276:287–294.

Vergara-Fernandez et al. (2012) Influence of the inlet load, EBRT and mineral medium addition on spore emission by *Fusarium solani* in the fungal biofiltration of hydrophobic VOCs, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 87:778–784.

Zilli et al. (2005) Detachment and emission of airborne bacteria in gas-phase biofilm reactors. *Biotechnology & Bioengineering*, 91:707-714.

Ottengraf and Konings (1991) Emission of microorganisms from biofilters. *Bioprocess Eng ineering* 7:89-96.

# Conclusion

- **Implantations industrielles : Performances intéressantes**
- **Etudes en labo : Amélioration de la maîtrise de ces procédés face à des épisodes critiques**
- **Emission de bioaérosols !**
  - Quels sont les types de collecteur de bioaérosols les plus adaptés aux débits de gaz traités par biofiltration ?
  - Quel est l'impact de paramètres opératoires du biofiltre (vitesse de passage et composition du gaz) sur la capacité de la microflore à s'aérosoliser ?



**Paradoxe de la biofiltration :  
solution efficiente de traitement et source  
d'émissions de bioaérosols ?**

Luc Malhautier, Sandrine Bayle et Jean-Louis Fanlo,  
Ecole des mines d'Alès

