



Emballages sous atmosphère modifiée  
Composition, dynamique des gaz et optimisation de la protection des denrées

## Simulation de la prolifération microbiologique au sein des aliments sous gaz

Projet ANR: **MAP 'OPT**

jan. 2011 – jan. 2015

Coordinateur : Dominique THUAULT

## Institut Technique Agro-industriel:

- Recherche développement
- Formation Professionnelle
- Prestation
- Conseil

## Domaine d'intervention

- la qualité de l'aliment: microbiologique, nutritionnelle.....
- la formulation et la texture
- les procédés alimentaires
- l'emballage (BREIZ-PACK)

## Chiffres

- 55 Personnes – Laboratoires ateliers
- 5 millions d'euros

## Elle repose

### Pour les entreprises

- *Analyse des dangers et points critiques pour leur maîtrise.*
- PO: objectifs de performance (Performance Objectives)
- PC: critère de performance (Performance Criteria)

## Elle doivent répondre à des obligation définies par:

- AQR: Analyse quantitative du risque (recherche des états)
- ALOP : niveau approprié de protection sanitaire (Appropriate Level of Protection), OMC
- FSO: Objectifs de sécurité de l' aliment (Food Safety Objectives)

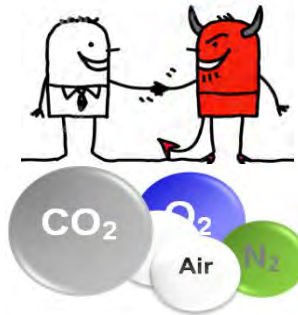
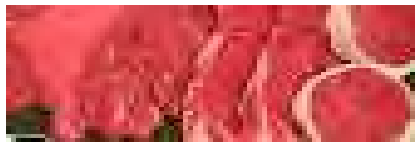
- Les bénéfiques: les ferments, les probiotiques, les flores de compétition
- Les flores altérantes: goût de rance, astringence, produits spécifiques ubiquitaires
- Les pathogènes
  - ❖ intolérables (*Salmonelles*, *E Coli enterohémorragiques* *Clostridium botulinum*)....
  - ❖ seuil de tolérance : *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus*....
- Flores aérobies, anaérobies, aérobies/anaérobies, microaérophiles



*détruire ou maîtriser la croissance*

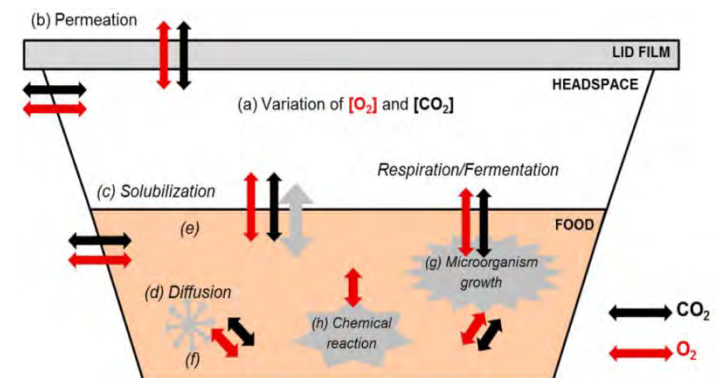
# LES ATMOSPHÈRES PROTECTRICES

Map' Opt



L' emballage sous atmosphère modifiée (EAM) permet

- ✓ de ralentir le développement bactérien
- ✓ de mieux garantir la qualité et la sécurité microbiologique des aliments,
- ✓ Allonger la durée de vie des denrées alimentaires (environ 30%)



- ✓ Optimiser le volume d' emballage:
  - ✓ d' ajuster la géométrie de l' emballage
  - ✓ d' optimiser le volume de l' espace de tête
  - ✓ de réduire le volume d' emballage: réduction des coûts d' emballage, de taxe emballage, des coût de transports
  
- ✓ Eviter le recours aux conservateurs chimiques.
  
- ✓ Une prolongation des durées de vie permet de facilité les exportations, limiter le gaspillage alimentaire des produits
  
- ✓ des retombées positives sur l' impact environnemental du couple aliment/emballage liées à une meilleure maîtrise du choix du matériau d' emballage,

# L'INTÉRÊT DU CONDITIONNEMENT SOUS ATMOSPHERE MODIFIEE



Map' Opt

Les entreprises doivent justifier les mélanges gazeux utilisés:

- ✓ Valider une mesure de maîtrise (ISO 22000).
- ✓ Evaluer cette mesure dans le contexte du produit concerné, de ses autres caractéristiques physico-chimiques.

Les gaz les plus utilisés sont:

- ✓ le gaz carbonique pour son effet bactériostatique,
- ✓ l'oxygène (quelques fois)
- ✓ l'azote pour son inertie,

Demande des entreprises de mieux comprendre et gérer les emballages les espaces de tête

- Emballages,
- Transfert de gaz
- Réaction gaz/aliments/microorganisme,

Map' Opt

Programme ANR Alia Map'Opt

fichier contact

**Format de l'emballage**

Barquette

Matériau: Alu/PET

Épaisseur (µm):

Hauteur (cm):

Longueur (cm):

Largeur (cm):

Film ou opercule

Matériau: Alu/PET

Épaisseur (µm):

Surface (cm²):

**Contenu de l'emballage**

Type d'aliment: Cheese

Masse d'aliment (g):

Surface d'échange (cm²):

Épaisseur de l'aliment (cm):

**Atmosphère de conditionnement**

taux d'O2 (%):

taux de CO2 (%):

**Microbiologie**

Espèce bactérienne

Espèce: Listeria mono...

Type de contamination: MASSE

Respiration: NO RESPIRAT...

Contamination initiale (UFC/g):

Croissance sur cet aliment

Taux de croissance opt. (h-1):

Temps de latence min. (h):

Population maximale (log):

**Stockage**

Durée de conservation (j):

**Température**

Statique  Dynamique

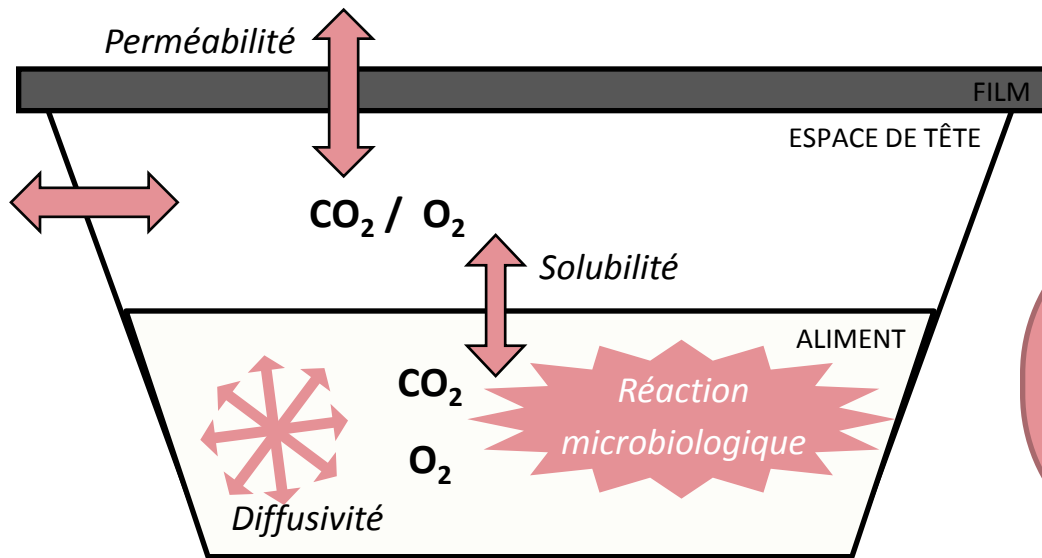
Profil T°

**Actions**

Executer Quitter



## Le système Emballage / Aliment:



Système de capitalisation des données

Coefficients caractérisant le transfert de gaz  
 ✓ Perméabilité  
 ✓ Solubilité  
 ✓ Diffusivité

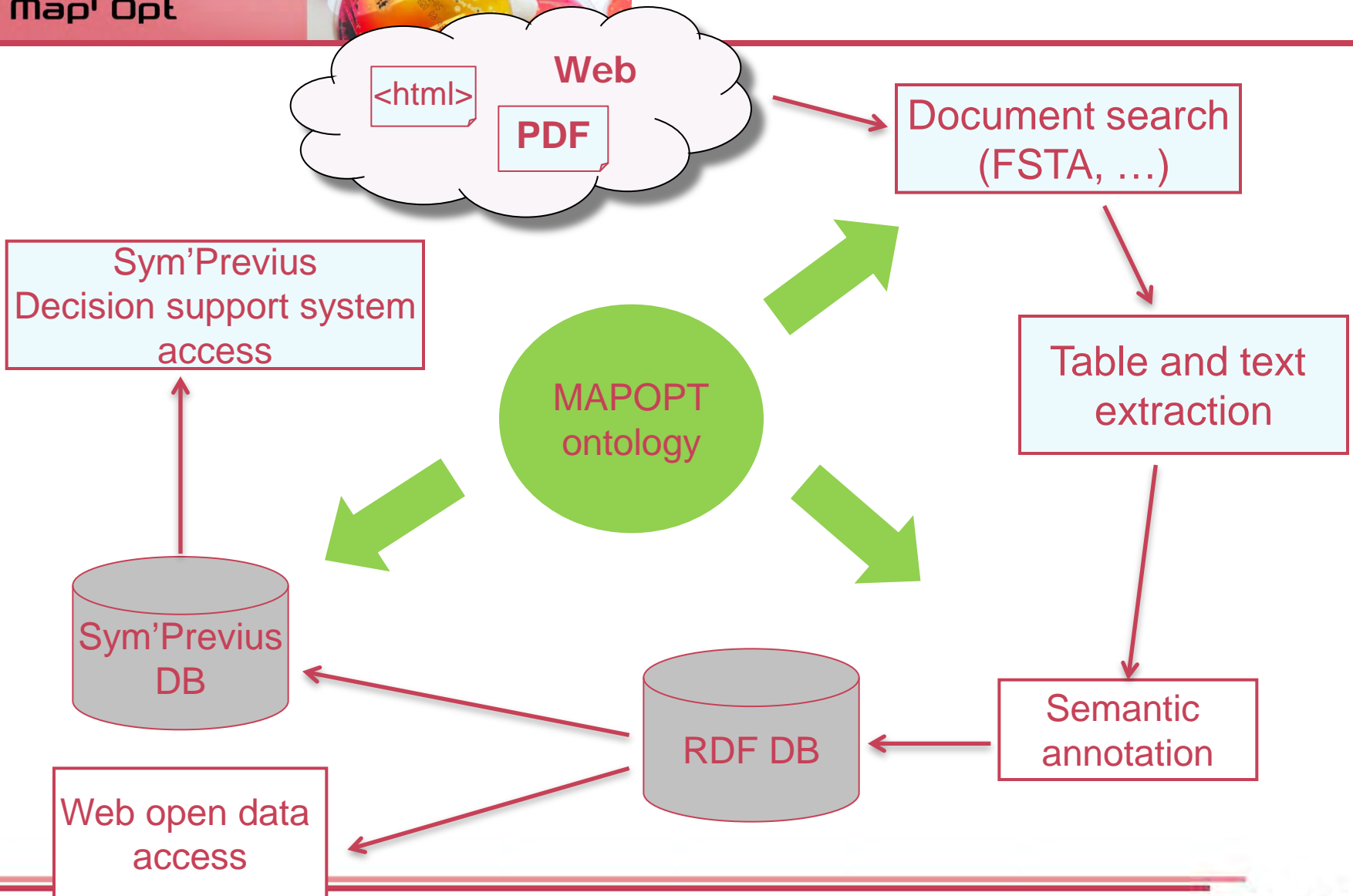
→ Modélisation des transferts

Croissance des micro-organismes (M.O.) caractérisée par:

- ✓ La souche bactérienne
- ✓ L'influence de l'environnement (dont [O<sub>2</sub>] et [CO<sub>2</sub>])

→ Microbiologie prévisionnelle

Formalisation de l'impact du transfert d'O<sub>2</sub> et CO<sub>2</sub> dans l'aliment / emballage sur la croissance des M.O

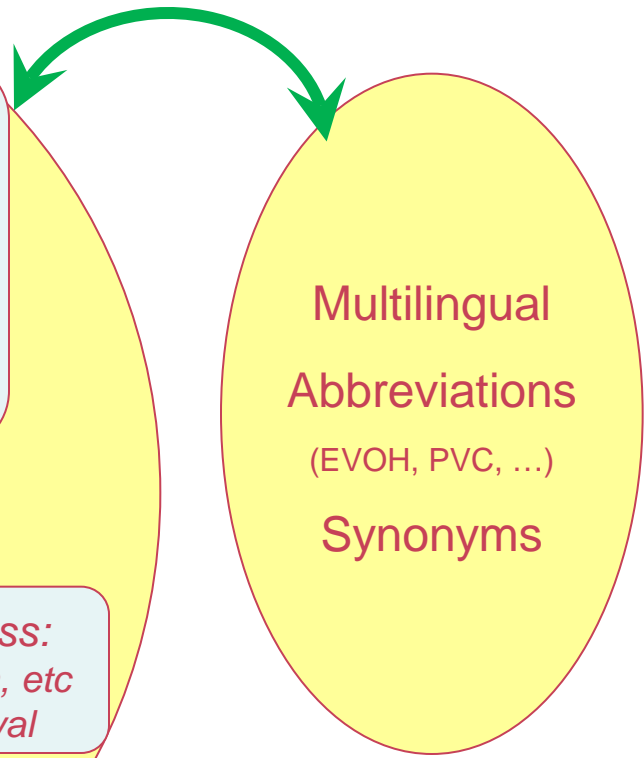
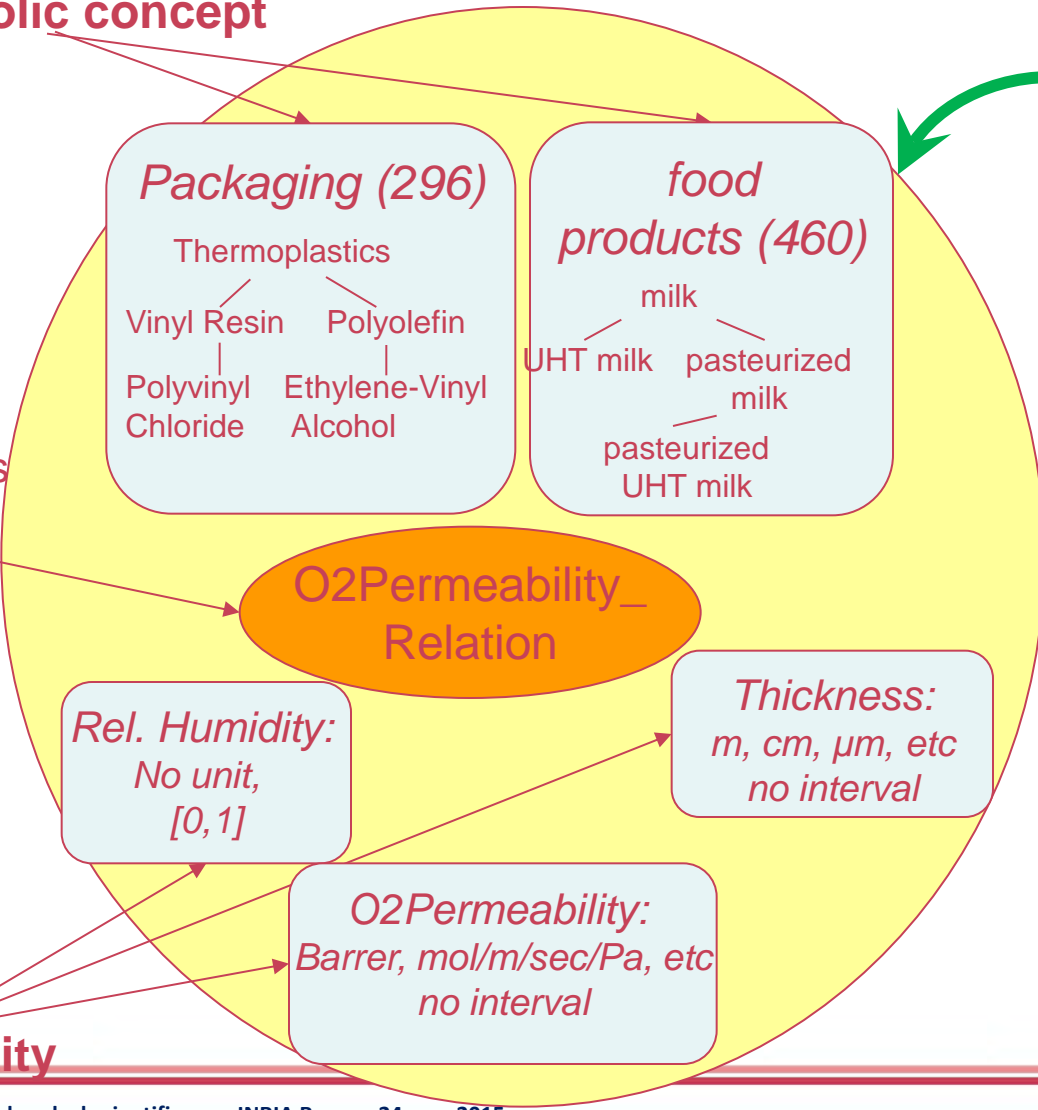




# Termino-Ontological Resource (TOR)

symbolic concept

**Relation:**  
**Signature:**  
 - result concept  
 - Access concepts



Quantity

# MISE EN ÉQUATION DES TRANSFERTS

## ► [B] Flux de gaz à travers l'emballage

1° loi de Fick:  $\varphi_{j,L} = M_j Pe_j (A_L / e_L) (p_{j,o} - p_{j,HS})$

## ► [C] Flux de gaz à l'interface de l'aliment / espace de tête

$$\varphi_{j,I} = \frac{kM_j}{RT} (p_{jHS,I} - p_{j,HS}) A_I$$

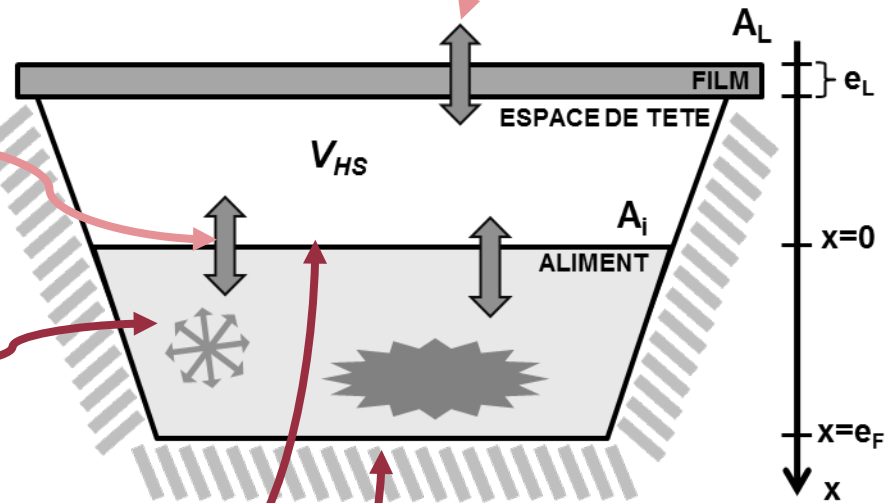
## ► [D] Diffusion des gaz dans l'aliment

$$\left. \frac{\partial C_{j,F}}{\partial t} \right|_{t,x} = D_j \frac{\partial^2 C_{j,F}}{\partial x^2}$$

$$D_j \frac{\partial C_{j,F}(0,t)}{\partial x} = \frac{\varphi_{j,I}}{A_I} = \frac{kM_j}{RT} (p_{jHS,I} - p_{j,HS})$$

$$\frac{\partial C_{j,F}(e_F,t)}{\partial x} = 0$$

$$p_{jHS,I} = \frac{C_{jF,I}}{M_j S_j}$$



# MODÈLE MICROBIOLOGIQUE

Map' Opt

## [E] Croissance des microorganismes Modèle primaire

$$\begin{cases} \frac{dN}{dt} = 0 & \text{for } t \leq \text{lag} \\ \frac{dN}{dt} = \mu_{\max} N \left( 1 - \frac{N}{N_{\max}} \right) & \text{for } t > \text{lag} \end{cases}$$

## Modèle secondaire

$$\mu_{\max} = \mu_{\text{opt}} \cdot \gamma_T \cdot \gamma_{PH} \cdot \gamma_{a_w} \cdot \gamma_{CO_2} \cdot \gamma_{O_2} \cdot \zeta$$

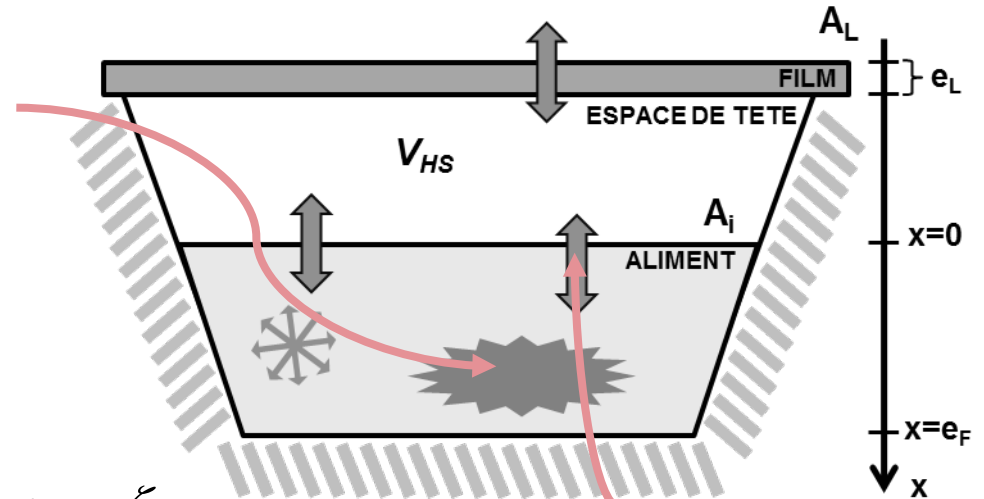
avec

$$\gamma_{CO_2} = 1 - \frac{c_{CO_2}(x,t)}{CO_{2\max}} \quad \text{si } c_{CO_2}(x,t) < CO_{2\max}$$

$$\gamma_{O_2} = \frac{c_{O_2}(x,t)}{O_{2\min} + c_{O_2}(x,t)} \quad \text{si } O_2(x,t) > O_{2\min}$$

Deux sources de données existantes:

- ✦ *Listeria innocua* (Noriega et al., 2008)
- ✦ *Pseudomonas fluorescens* (Thiele et al., 2006)



## [F] Respiration des microorganismes

### Equation de type Michaëlis-Menten

$$\varphi_{O_2,F} = r_{\max} \frac{p_{O_2,HS}}{k_m + p_{O_2,HS}} \times \bar{N}_t \times m$$

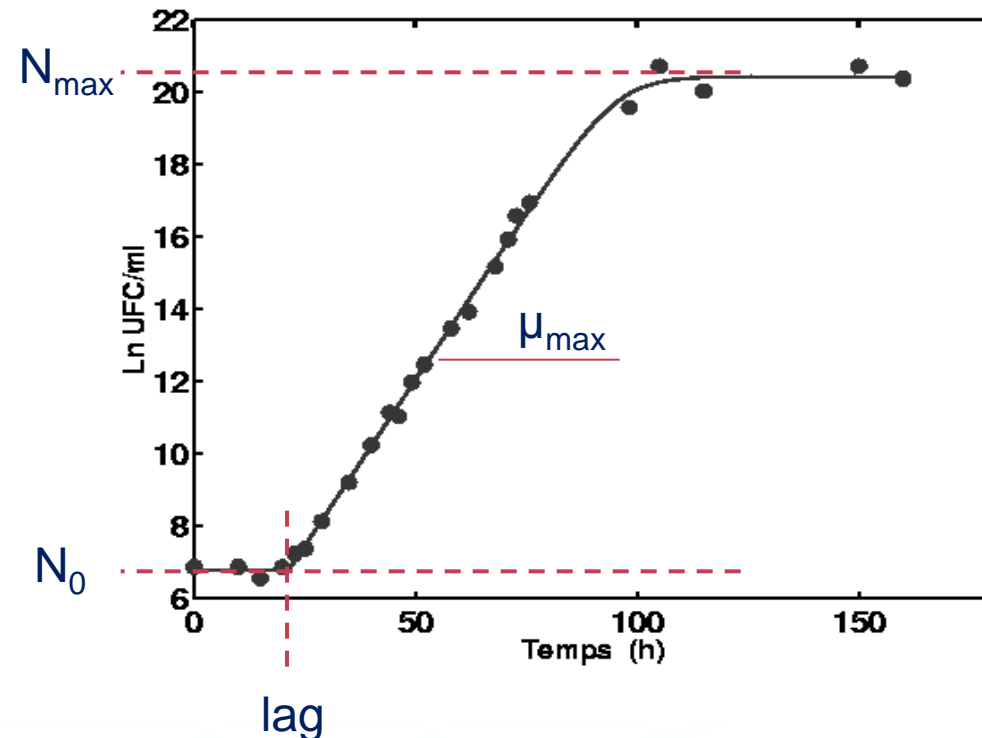
Taux de respiration max  
 Constante de Michaëlis-Menten

Les modèles sont développés en 2 étapes

**Première étape** : Description de la cinétique de croissance (= Modèle primaire)

4 paramètres permettent de décrire cette cinétique de croissance :

- $N_0$  : Population initiale
- $N_{max}$  : Population maximale
- lag : temps de latence
- $\mu_{max}$  : taux de croissance



Les modèles sont développés en 2 étapes

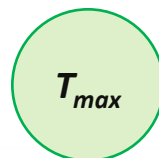
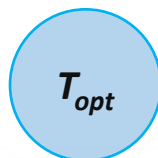
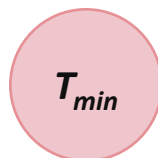
**Seconde étape** : Description de l'évolution du taux de croissance (= Modèle secondaire)

$$\mu_{\max} = \mu_{opt} \cdot \gamma_T$$



Indice compris entre 0 et 1,  
Traduisant la « performance » du micro-organisme à cette température

$$\gamma_T = \frac{(T - T_{min})^2 (T - T_{max})}{(T_{opt} - T_{min}) (T_{opt} - T_{min}) (T - T_{opt}) - (T_{opt} - T_{max}) (T_{opt} + T_{min} - 2T)}$$



Valeurs cardinales

Les modèles sont développés en 2 étapes

**Seconde étape** : Description de l'évolution du taux de croissance (= Modèle secondaire)

$$\mu_{\max} = \mu_{\text{opt}} \cdot \gamma_T \cdot \gamma_{\text{pH}} \cdot \gamma_{\text{CO}_2}$$

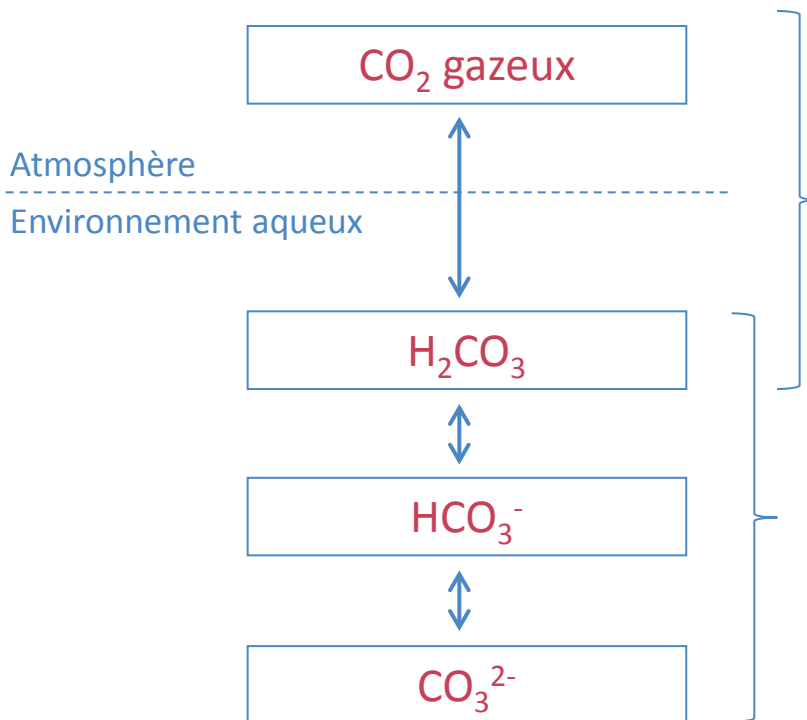
Facteurs étudiés  
dans Map' Opt

Taux de croissance optimum,  
dépend de la matrice alimentaire, et du micro-organisme



# LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU CO<sub>2</sub>

Pour agir au niveau du micro-organisme, le CO<sub>2</sub> doit passer en phase aqueuse.



Dissolution selon la loi de Henry :

$$p = H \cdot x$$

p : pression partielle

x : fraction molaire en solution

H : Constante de Henry, dépend de la température

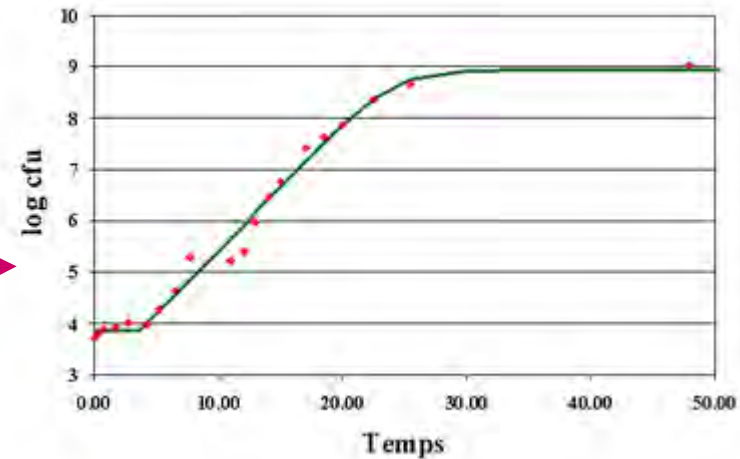
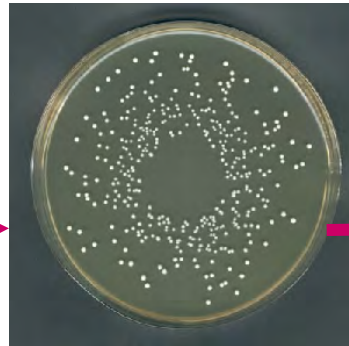
Dissociation de l'acide faible, pKa : 6,4 et 10,3

**En résumé :**

1. Pour une molécule ajoutée, 4 états différents
2. Concentrations dépendantes de p<sub>CO<sub>2</sub></sub>, T° et pH
3. Forte acidification du CO<sub>2</sub> si pH initial > 6
4. En packaging industriel (batch), modification rapide de l'atmosphère causée par ces équilibres.

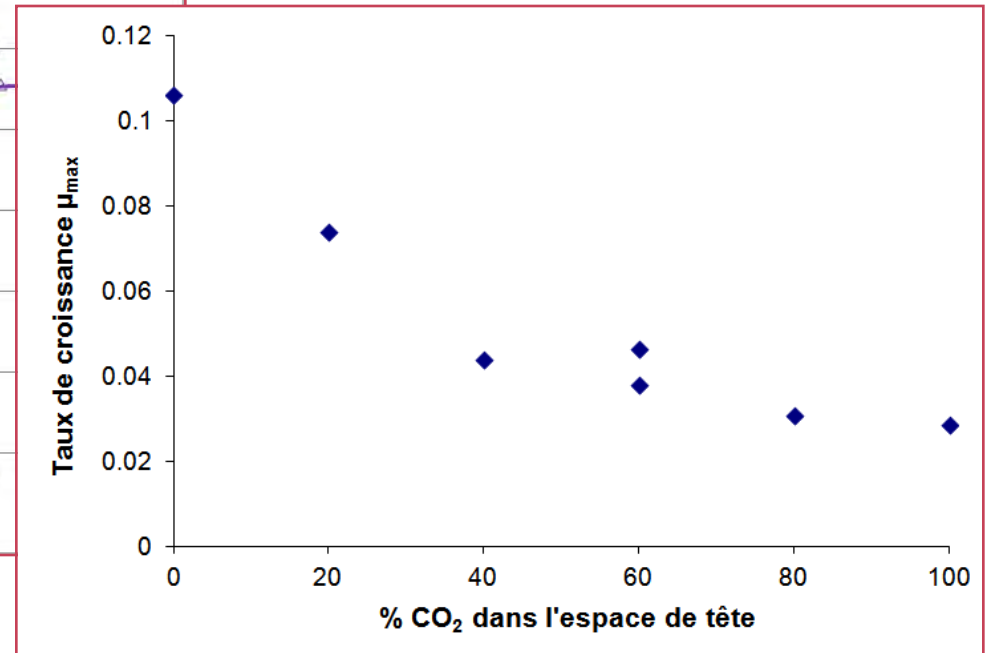
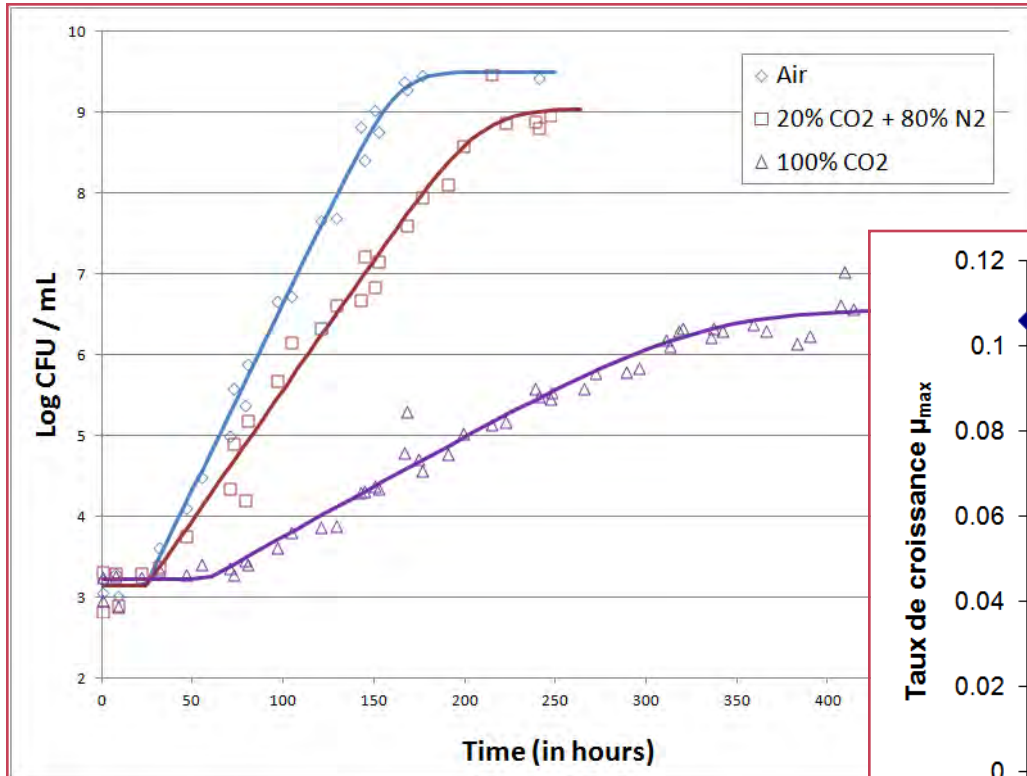
## Suivis de croissance sous atmosphère contrôlée :

- Culture en erlen, Agitation orbitale
- Erlen fermés, sous flux gazeux permanent
- Atmosphère maintenue constante pendant toute la cinétique de croissance



# EFFET DU CO<sub>2</sub> À 8° C (PH 7.0)

Map' Opt

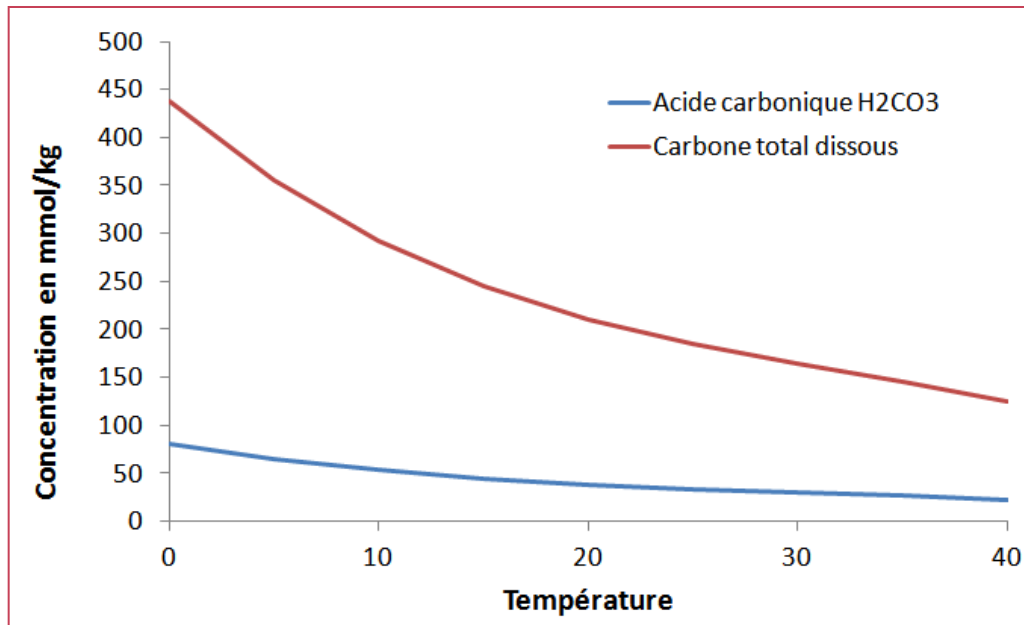


**Observation :** Effet marqué du CO<sub>2</sub> à 8° C  
 μ<sub>max</sub> divisé par 4 pour des taux variant de 0 et 100% (0 à 1 atm)

# LA TEMPÉRATURE AFFECTE « L'EFFET CO<sub>2</sub> »

Map' Opt

- 2 taux de CO<sub>2</sub> identiques n'auront pas le même effet inhibiteur, selon la température
- Le taux de CO<sub>2</sub> gazeux ne suffit donc pas pour prévoir « l'effet CO<sub>2</sub> »



Concentration en solution aqueuse pour 100% de CO<sub>2</sub> dans l'espace gazeux (1 atm), pH 7.0

Seule la forme H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> présente un effet inhibiteur.  
Cet effet est de même type que celui d'un acide organique.

$$\gamma (CO_2) = 1 - \frac{[H_2CO_3]_{dissous}}{CMI}$$

CMI : Concentration minimale  
inhibitrice en H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>

La concentration en H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> étant directement en équilibre avec la pression partielle  $p_{CO_2}$  de l'atmosphère environnante :

$$[H_2CO_3]_{dissolved} = p_{CO_2} \cdot H$$

$p_{CO_2}$  : Pression partielle en CO<sub>2</sub> (espace gazeux)  
H : Constante de Henry (solubilité)

La constante de Henry  $H$  étant dépendante de la température :

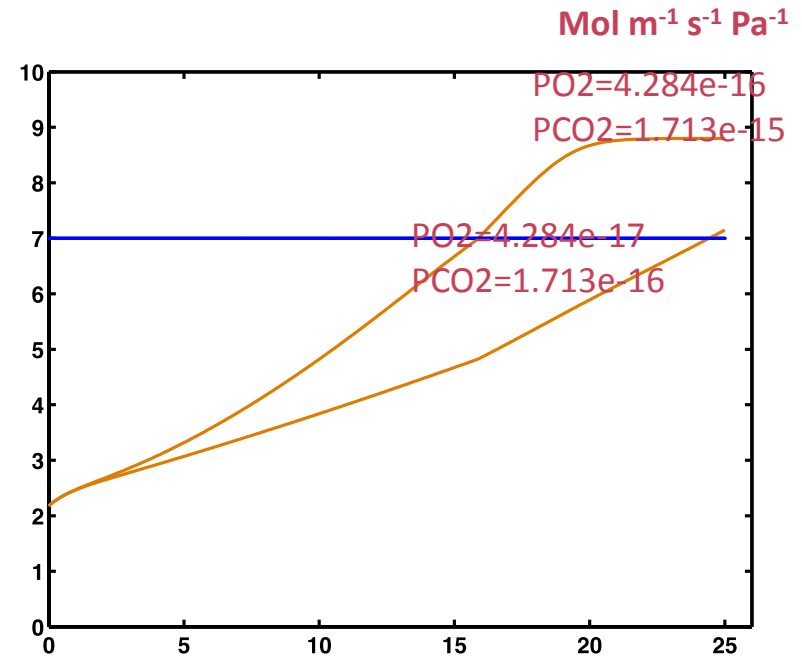
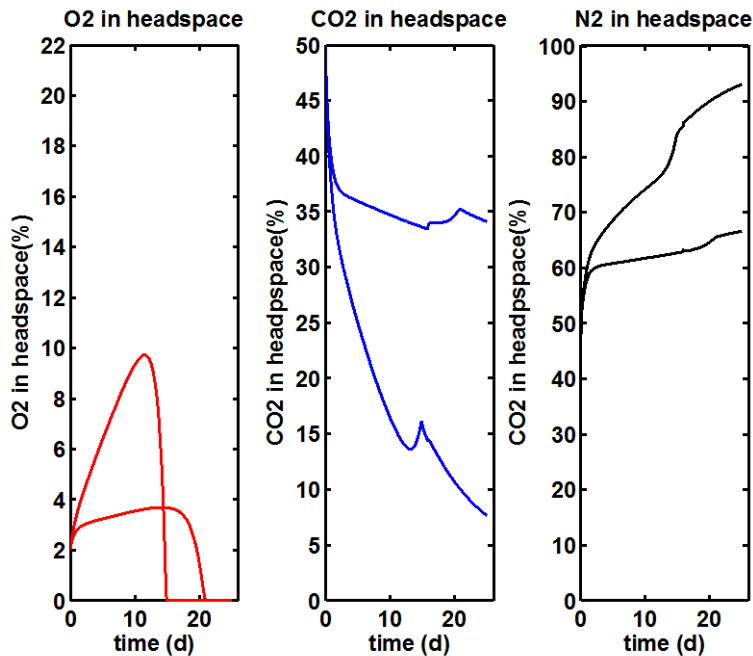
$$H = -8.34 \cdot 10^{-7} T^3 + 8.19 \cdot 10^{-5} T^2 - 3.37 \cdot 10^{-3} T + 7.99 \cdot 10^{-2}$$

# UN OUTIL D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT D'EAM

Map' Opt

Initial:  $10^2$  UFC/g  
 A DLC:  $10^7$  CFU/g,  
 Storage : (1/3) 4°C et 6°C (2/3), 25 j

Quel matériau?

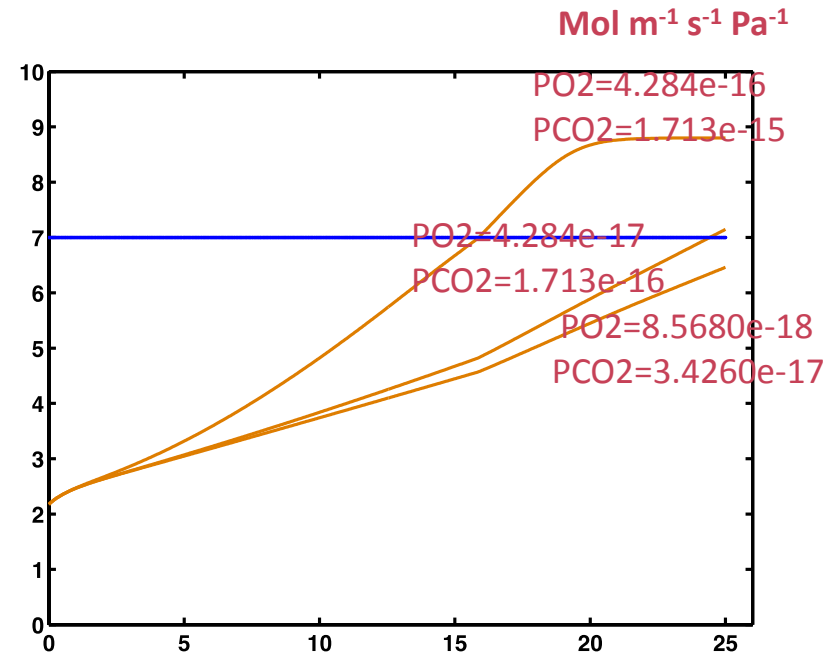
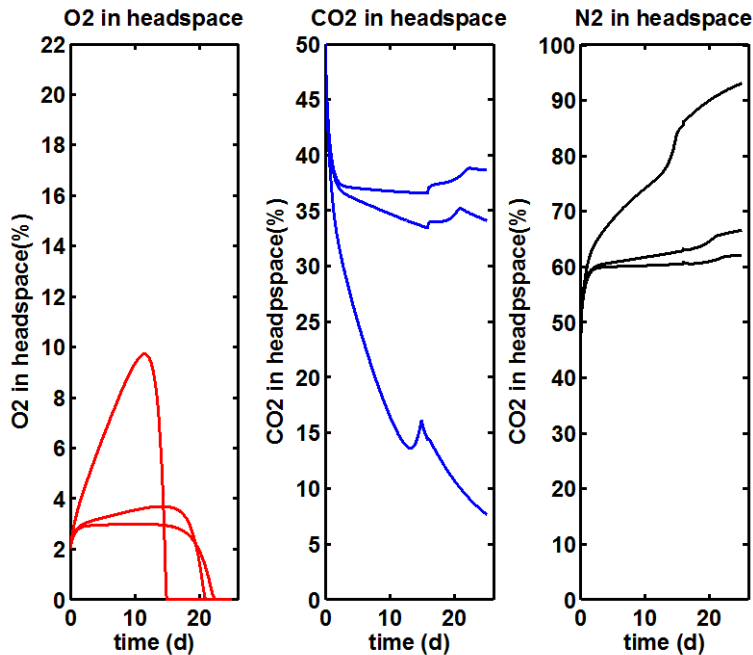


# UN OUTIL D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT D'EAM

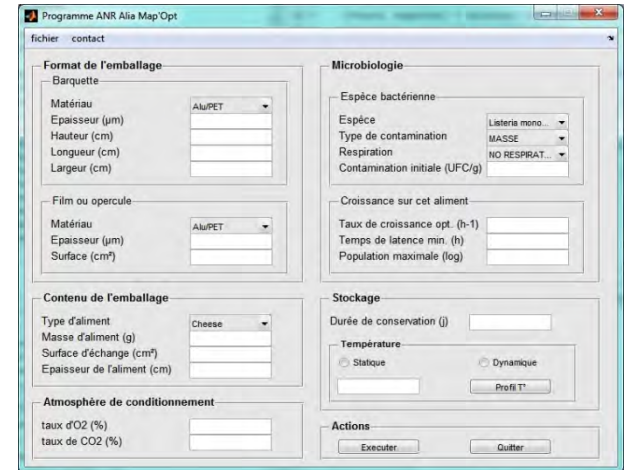
Map' Opt

Initial:  $10^2$  UFC/g  
 A DLC:  $10^7$  CFU/g,  
 Storage : (1/3) 4°C et 6°C (2/3), 25 j

Quel matériau?



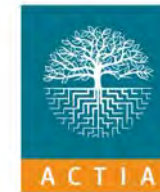
- Possibilité d'intégrer les effets des gaz sur le comportement microbien,
- Nécessité de mieux intégrer le métabolisme bactérien (consommation d' O<sub>2</sub> et le CO<sub>2</sub>)
- Implémenter avec de nouvelles données, solubilité, diffusion, CMI, aliments bactéries





# MAP' OPT : UNE COLLABORATION

Map' Opt



## MERCI DE VOTRE ATTENTION

