



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)

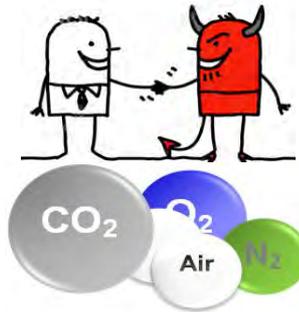
Elle doivent répondre à des obligation définies par:

- 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

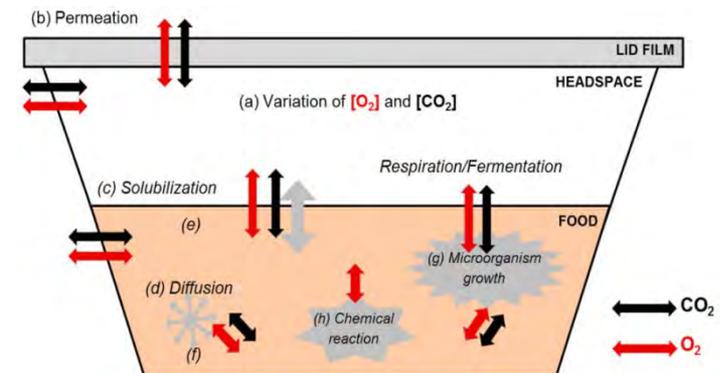


détruire ou maîtriser la croissance



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 faciliter 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 ATMOSPHÈRE MODIFIÉE



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

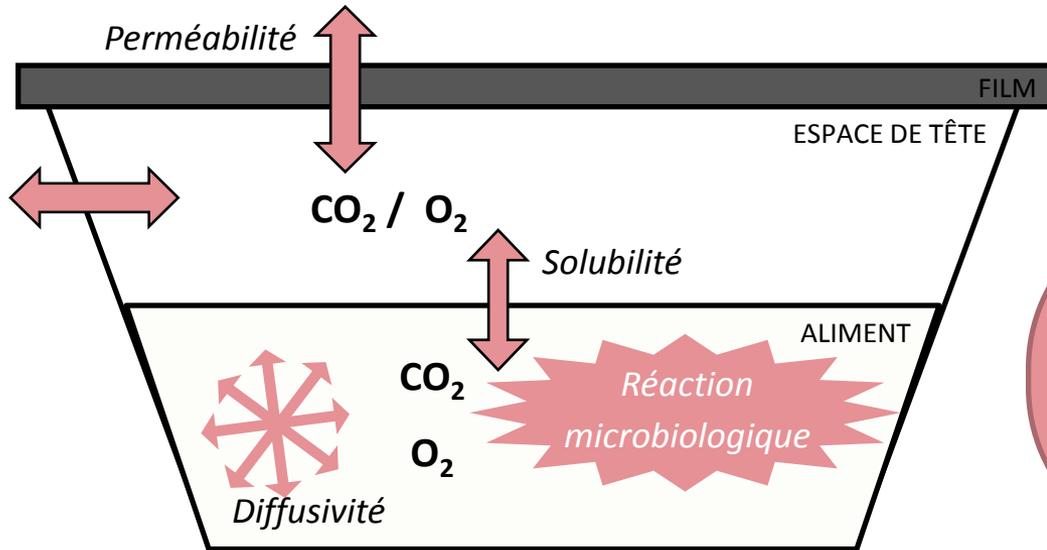
Statique Dynamique

Profil T°

Actions

Executer Quitter

Le système Emballage / Aliment:



Système de capitalisation des données

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

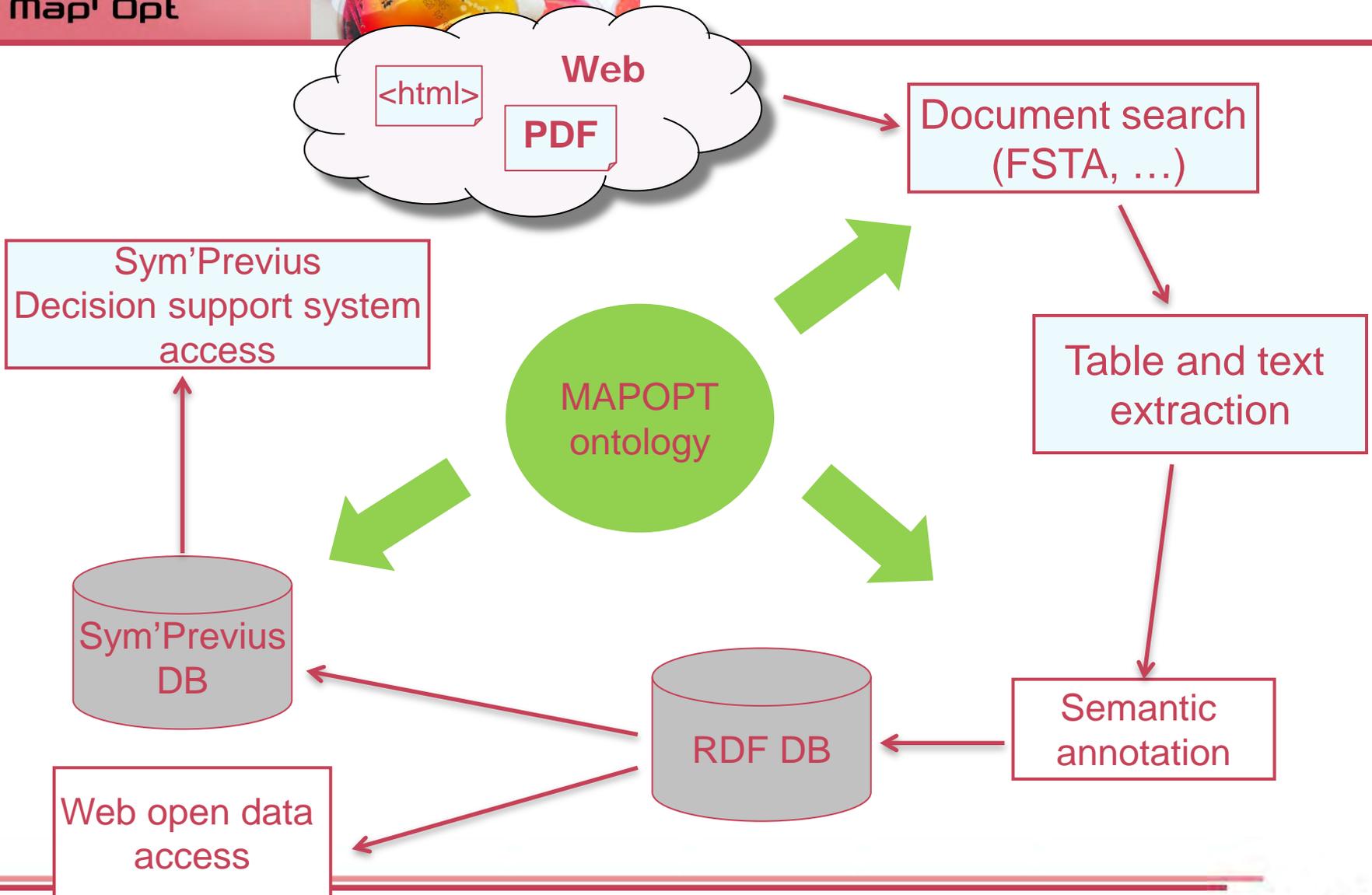
→ Modélisation des transferts

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

- ✓ La souche bactérienne
- ✓ L'influence de l'environnement (dont [O₂] et [CO₂])

→ Microbiologie prévisionnelle

Formalisation de l'impact du transfert d'O₂ et CO₂ dans l'aliment / emballage sur la croissance des M.O

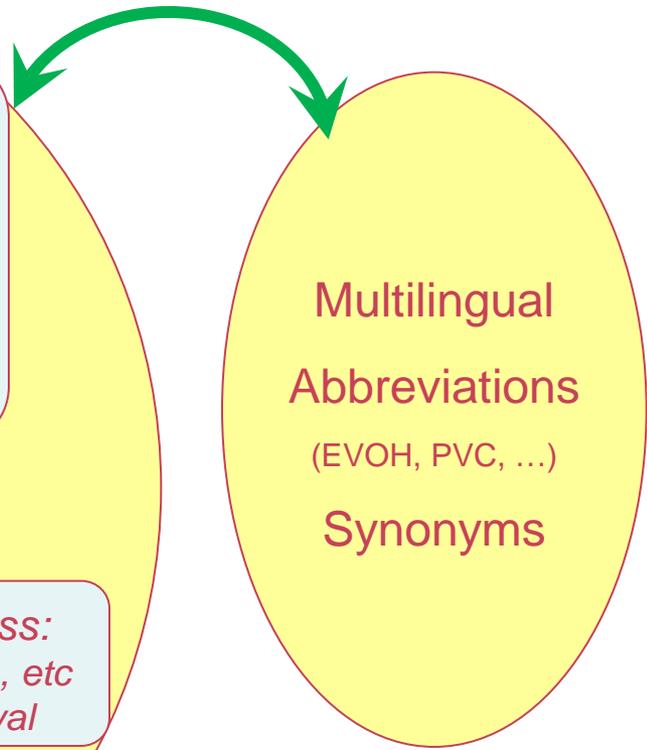
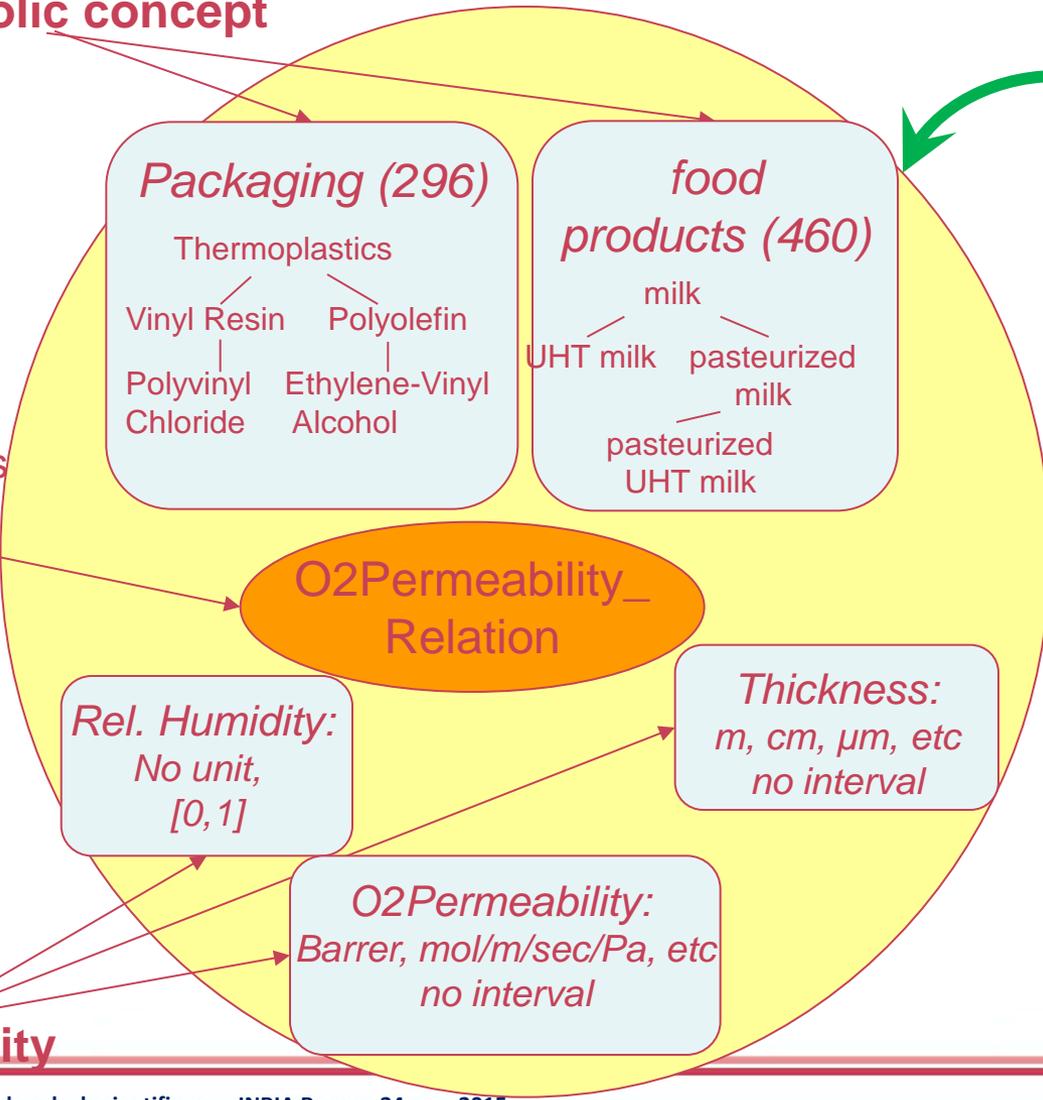




Termino-Ontological Resource (TOR)

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

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

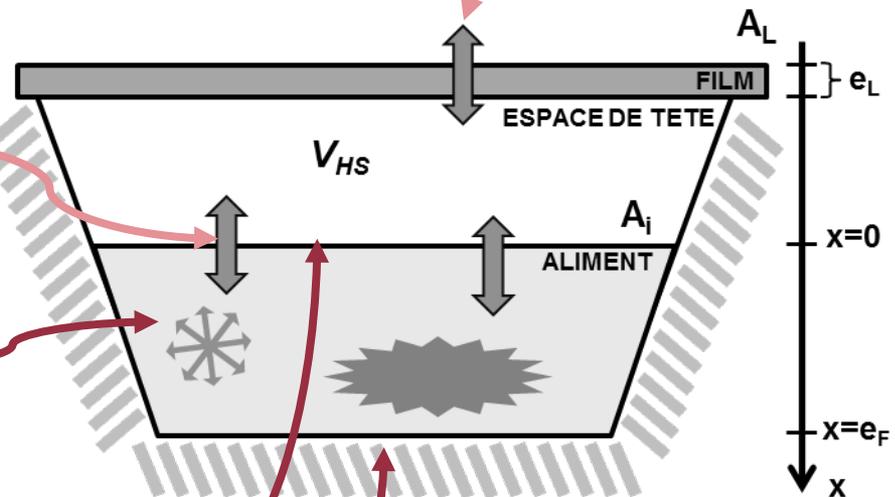
► [D] Diffusion des gaz dans l'aliment

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

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

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

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



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

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

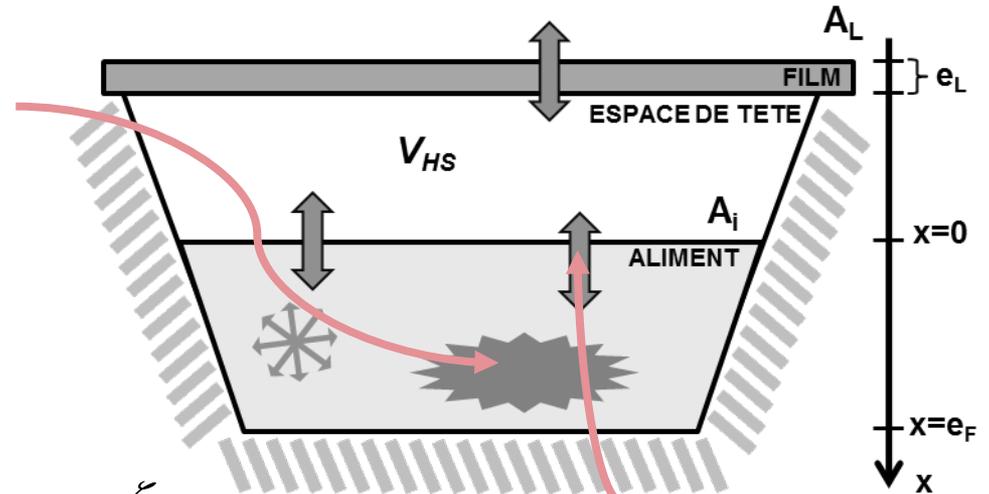
avec

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

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

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

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

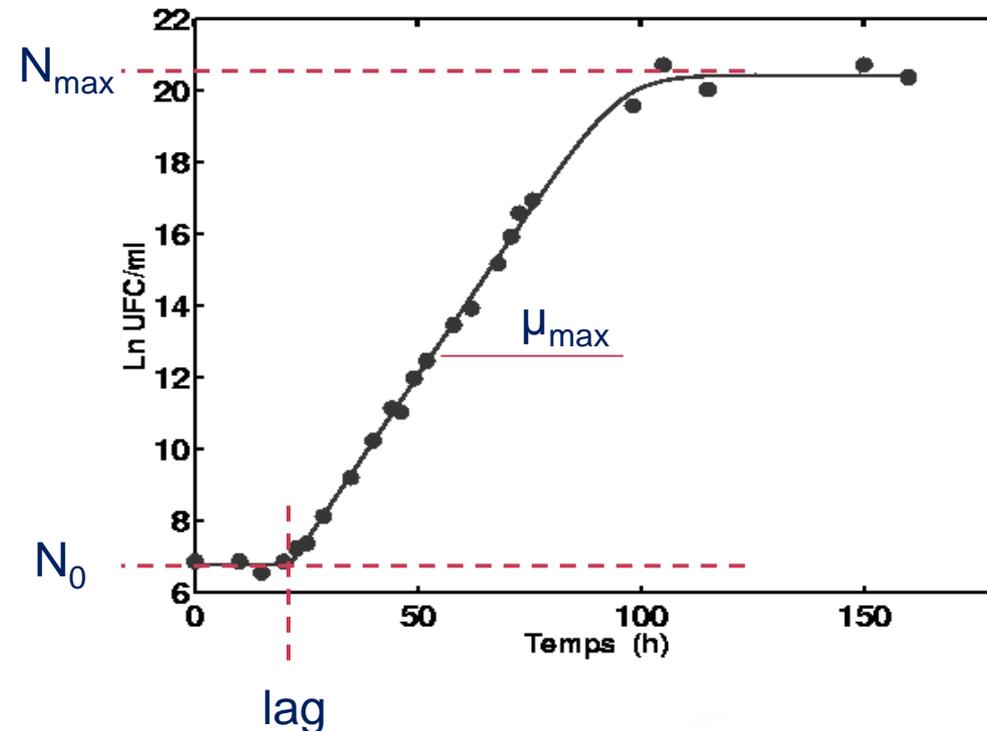
Taux de respiration max
 Constante de Michaëlis-Menten

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
- μ_{max} : taux de croissance



Les modèles sont développés en 2 étapes

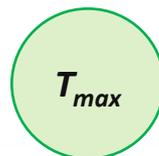
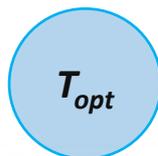
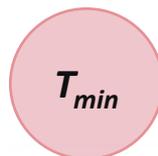
Seconde étape : Description de l'évolution du taux de croissance (= Modèle secondaire)

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



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)

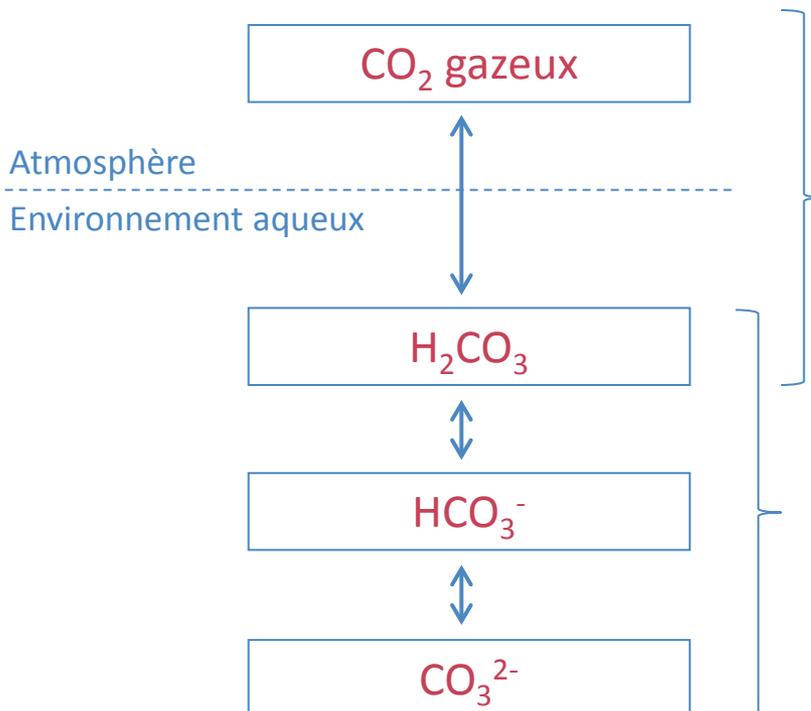
$$\mu_{\max} = \mu_{\text{opt}} \cdot \gamma_T \cdot \gamma_{\text{pH}} \cdot \gamma_{\text{CO}_2}$$

Facteurs étudiés
dans Map' Opt

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

LES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DU CO₂

Pour agir au niveau du micro-organisme, le CO₂ 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

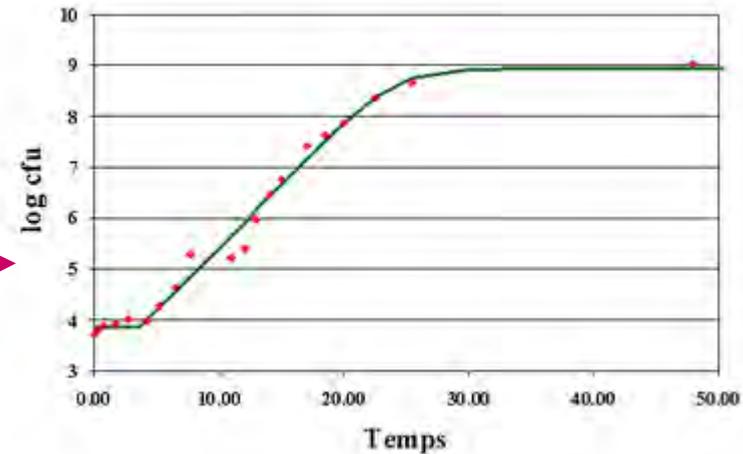
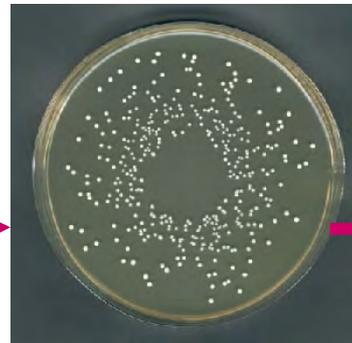
Dissociation de l'acide faible, pKa : 6,4 et 10,3

En résumé :

1. Pour une molécule ajoutée, 4 états différents
2. Concentrations dépendantes de p_{CO₂}, T° et pH
3. Forte acidification du CO₂ si pH initial > 6
4. En packaging industriel (batch), modification rapide de l'atmosphère causée par ces équilibres.

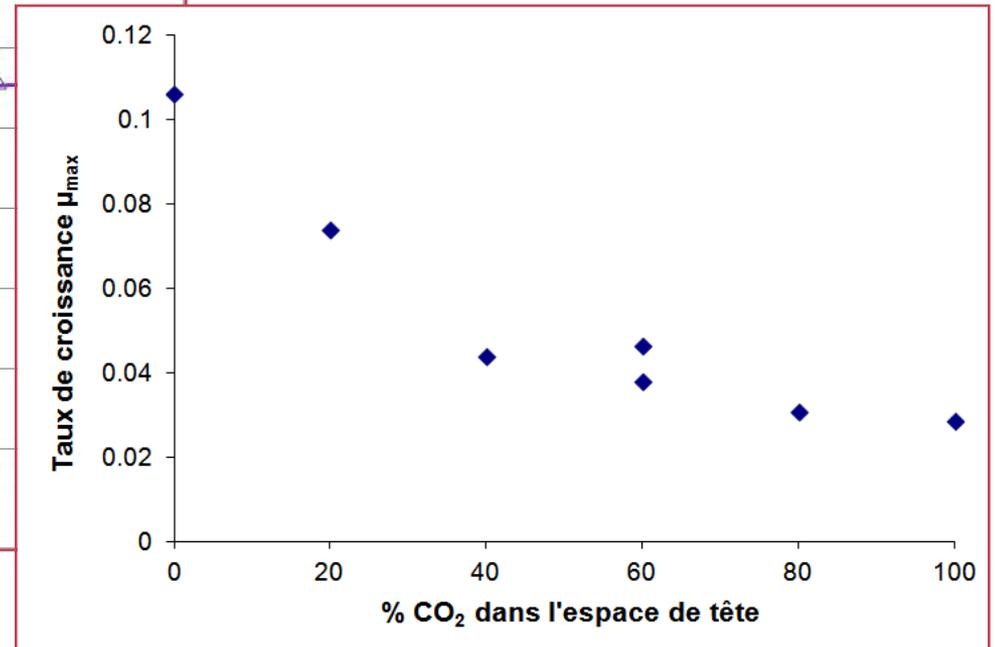
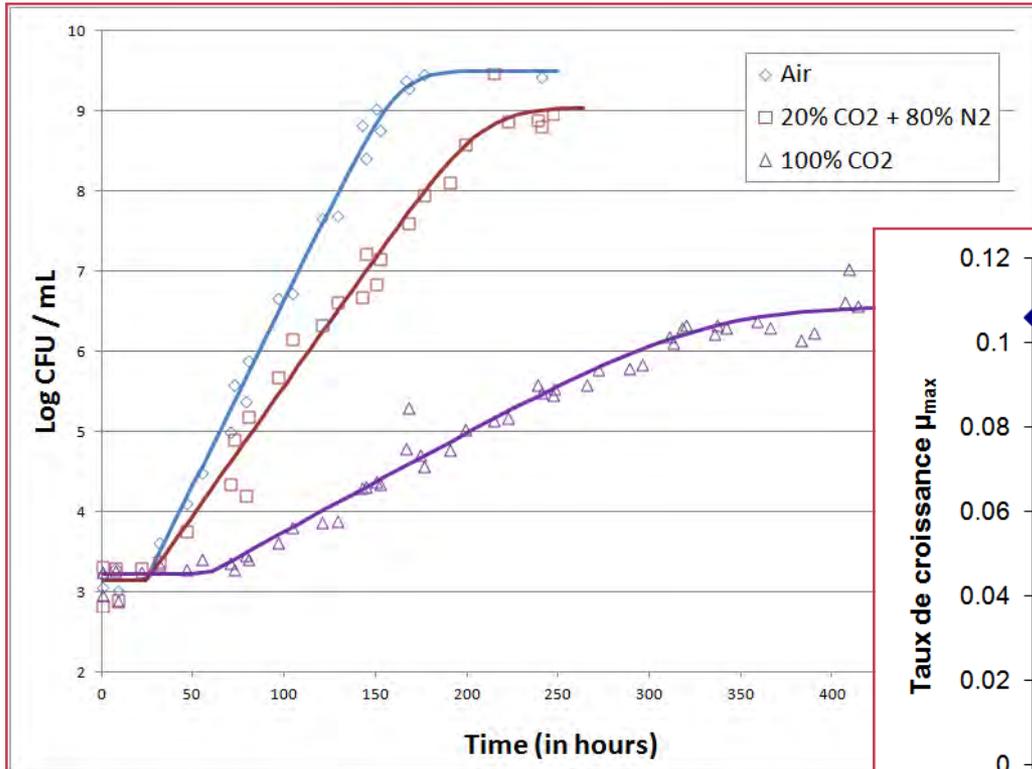
Suivis de croissance sous atmosphère contrôlée :

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



EFFET DU CO₂ À 8° C (PH 7.0)

Map' Opt

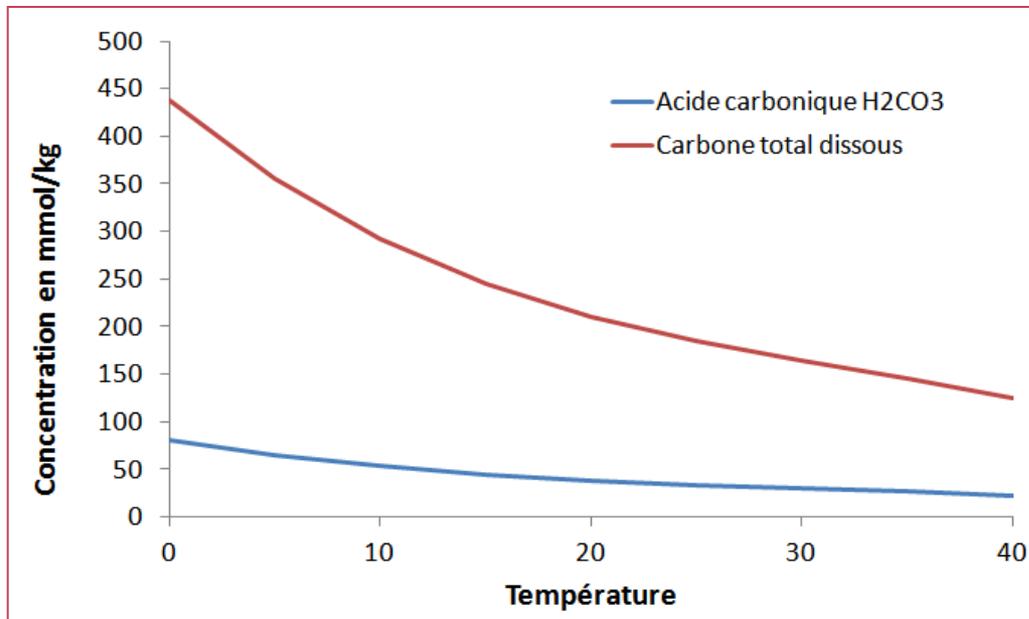


Observation : Effet marqué du CO₂ à 8° C
 μ_{max} divisé par 4 pour des taux variant de 0 et 100% (0 à 1 atm)

LA TEMPÉRATURE AFFECTE « L'EFFET CO₂ »

Map' Opt

- 2 taux de CO₂ identiques n'auront pas le même effet inhibiteur, selon la température
- Le taux de CO₂ gazeux ne suffit donc pas pour prévoir « l'effet CO₂ »



Concentration en solution aqueuse pour 100% de CO₂ dans l'espace gazeux (1 atm), pH 7.0

Seule la forme H₂CO₃ 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 H₂CO₃

La concentration en H₂CO₃ 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 CO₂ (espace gazeux)
H : Constante de Henry (solubilité)

La constante de Henry H étant dépendante de la température :

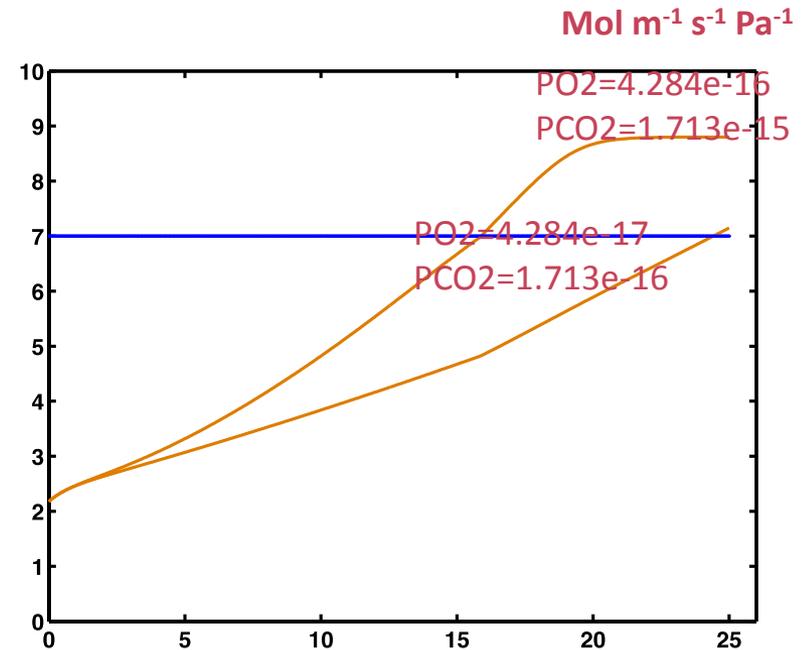
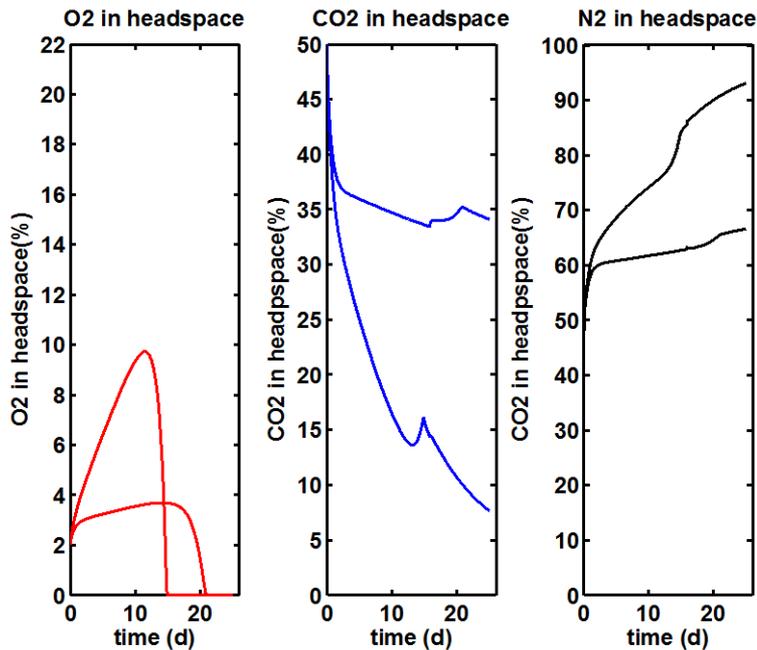
$$H = -8.34 \cdot 10^{-7} T^3 + 8.19 \cdot 10^{-5} T^2 - 3.37 \cdot 10^{-3} T + 7.99 \cdot 10^{-2}$$

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?

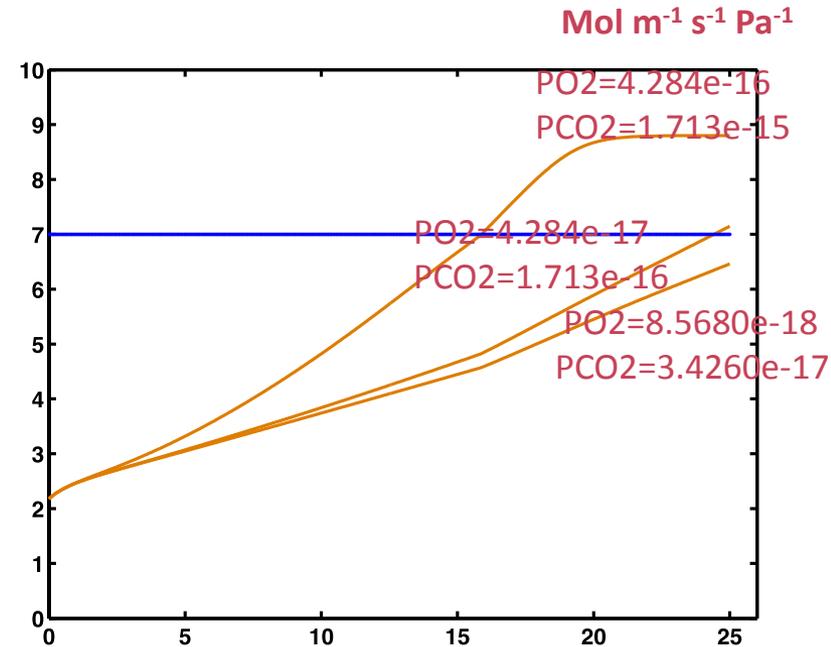
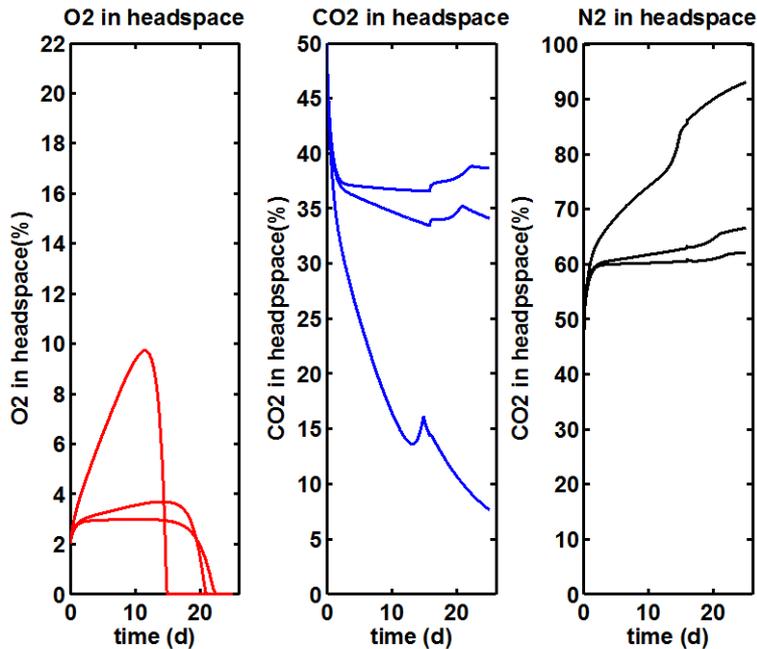


UN OUTIL D'AIDE AU DIMENSIONNEMENT D'EAM

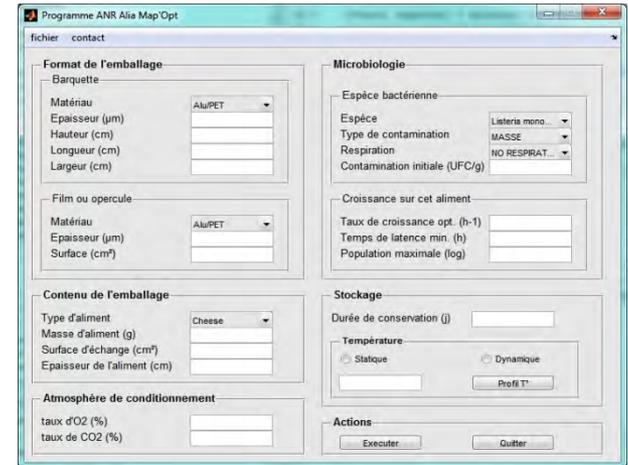
Map' Opt

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' O₂ et le CO₂)
- Implémenter avec de nouvelles données, solubilité, diffusion, CMI, aliments bactéries



MAP' OPT : UNE COLLABORATION

Map' Opt



MERCI DE VOTRE ATTENTION

