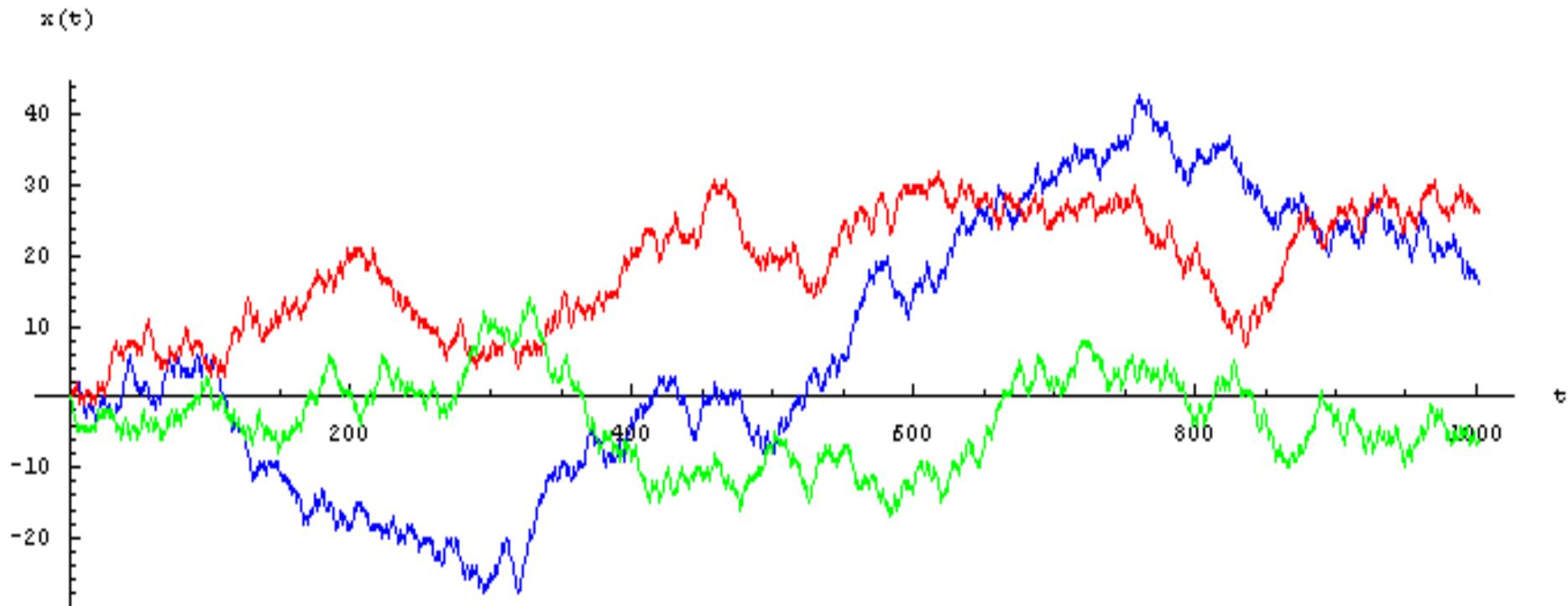


# Les applications de la diffusion

Modélisation des cours de bourse

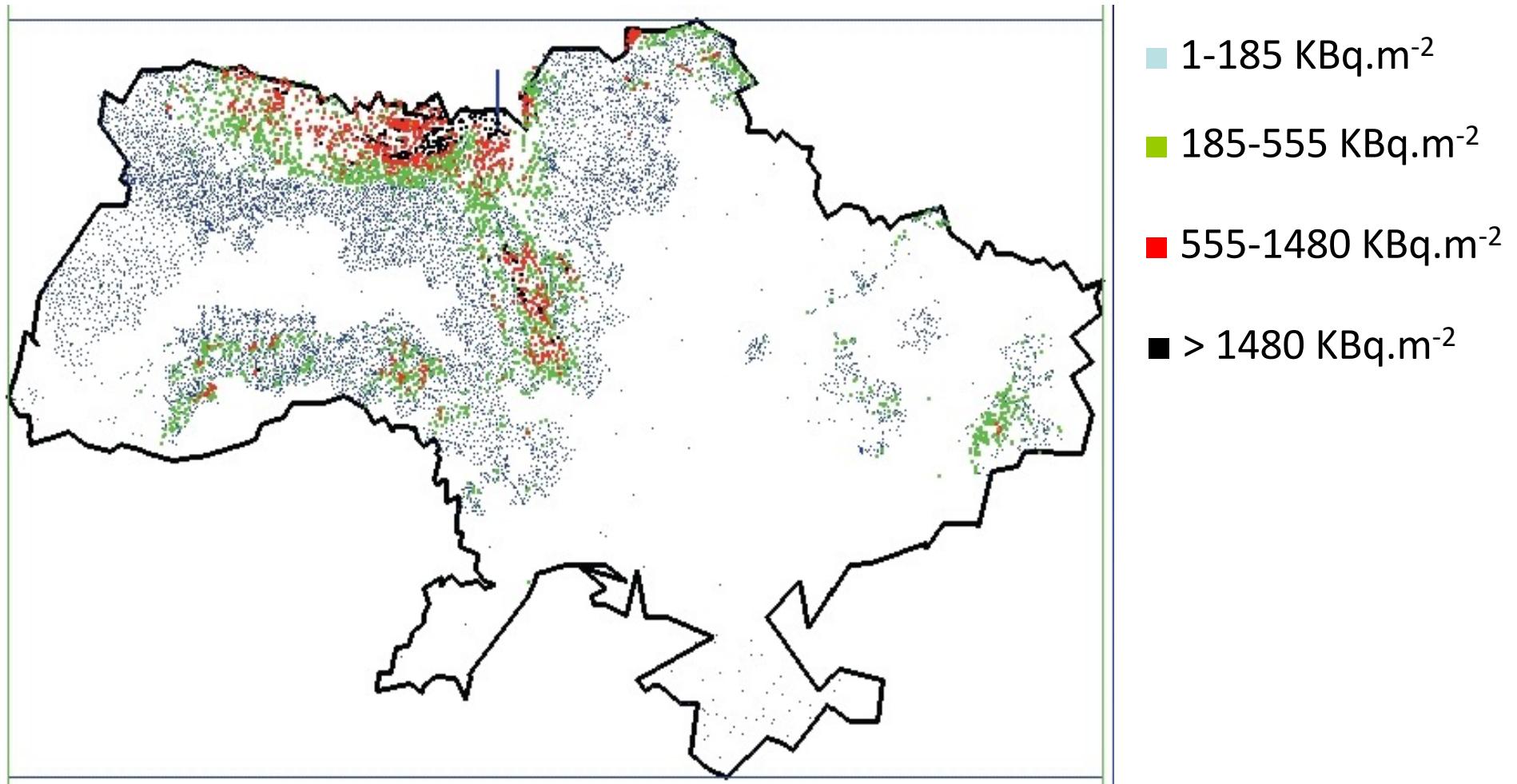




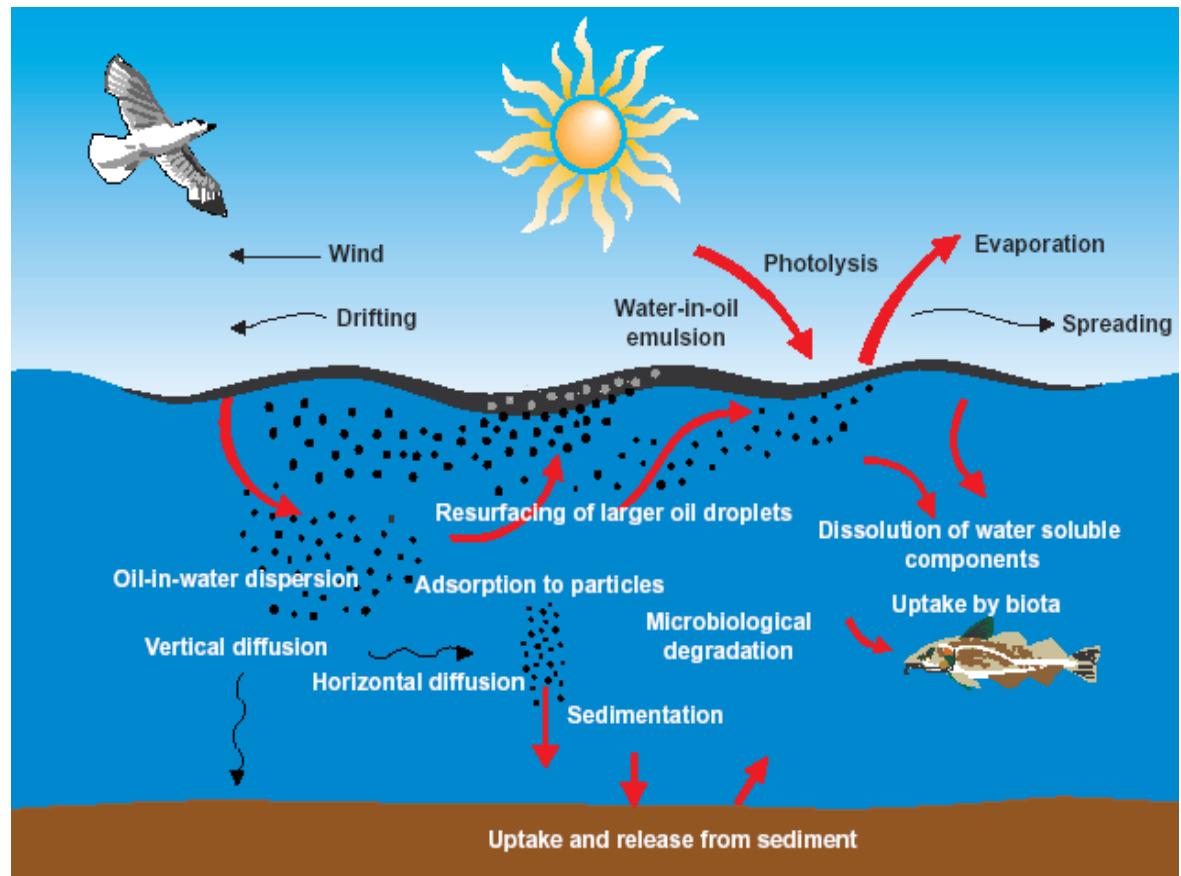
## Tchernobyl, 26 avril 1986

Marcel Filoche

# Diffusion des polluants



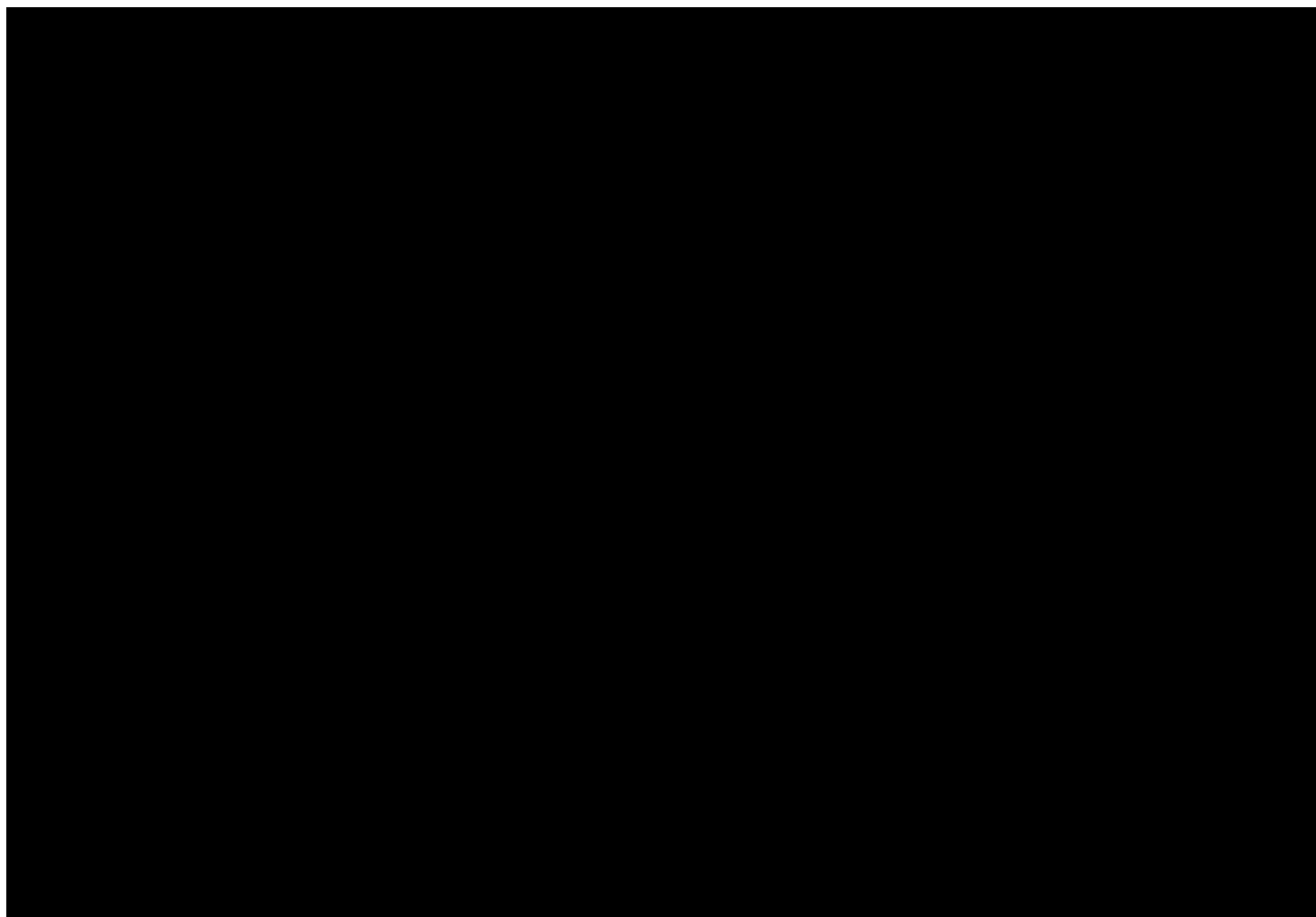
# Diffusion de polluants



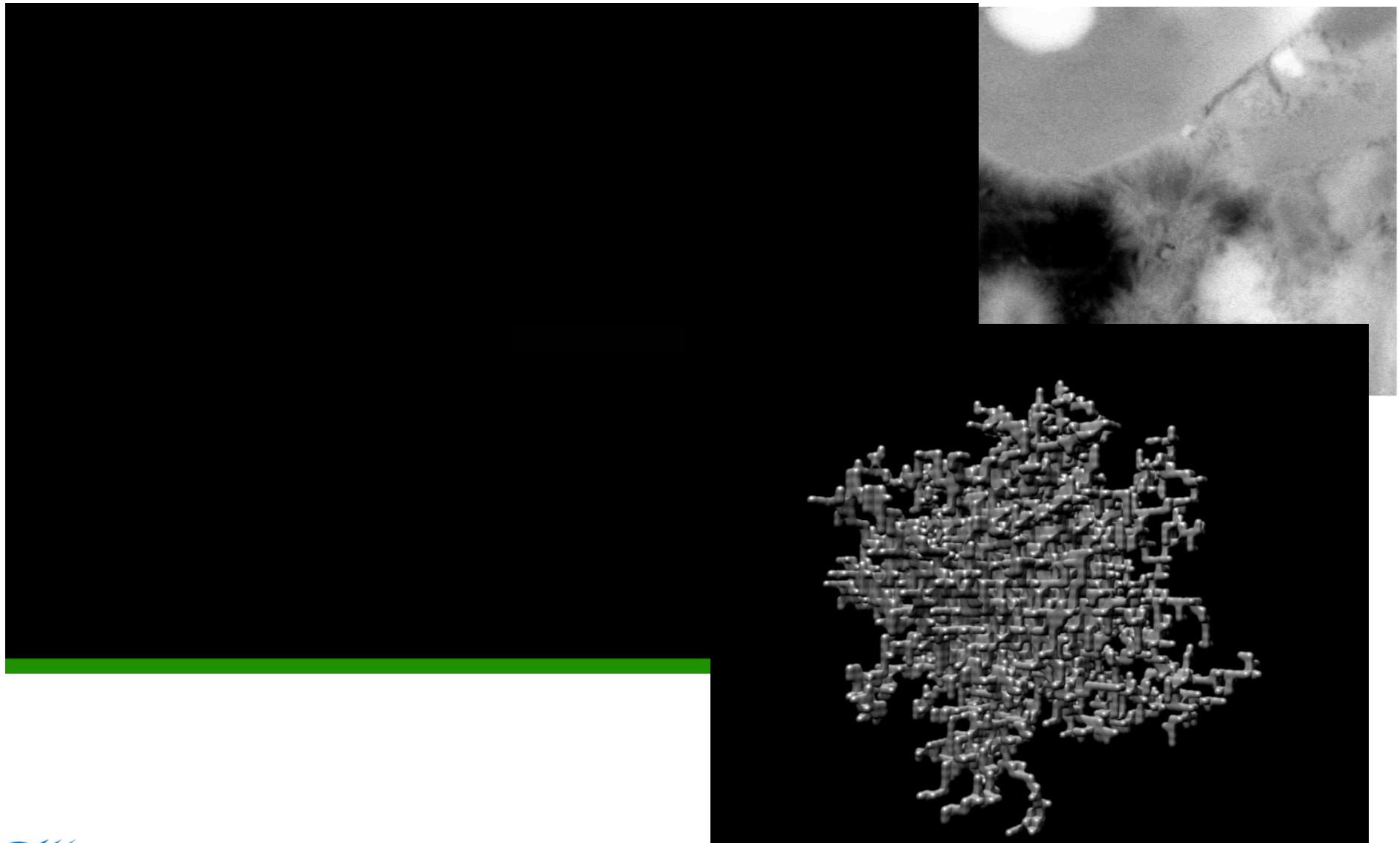
# Imagerie par résonance magnétique nucléaire (IRM)



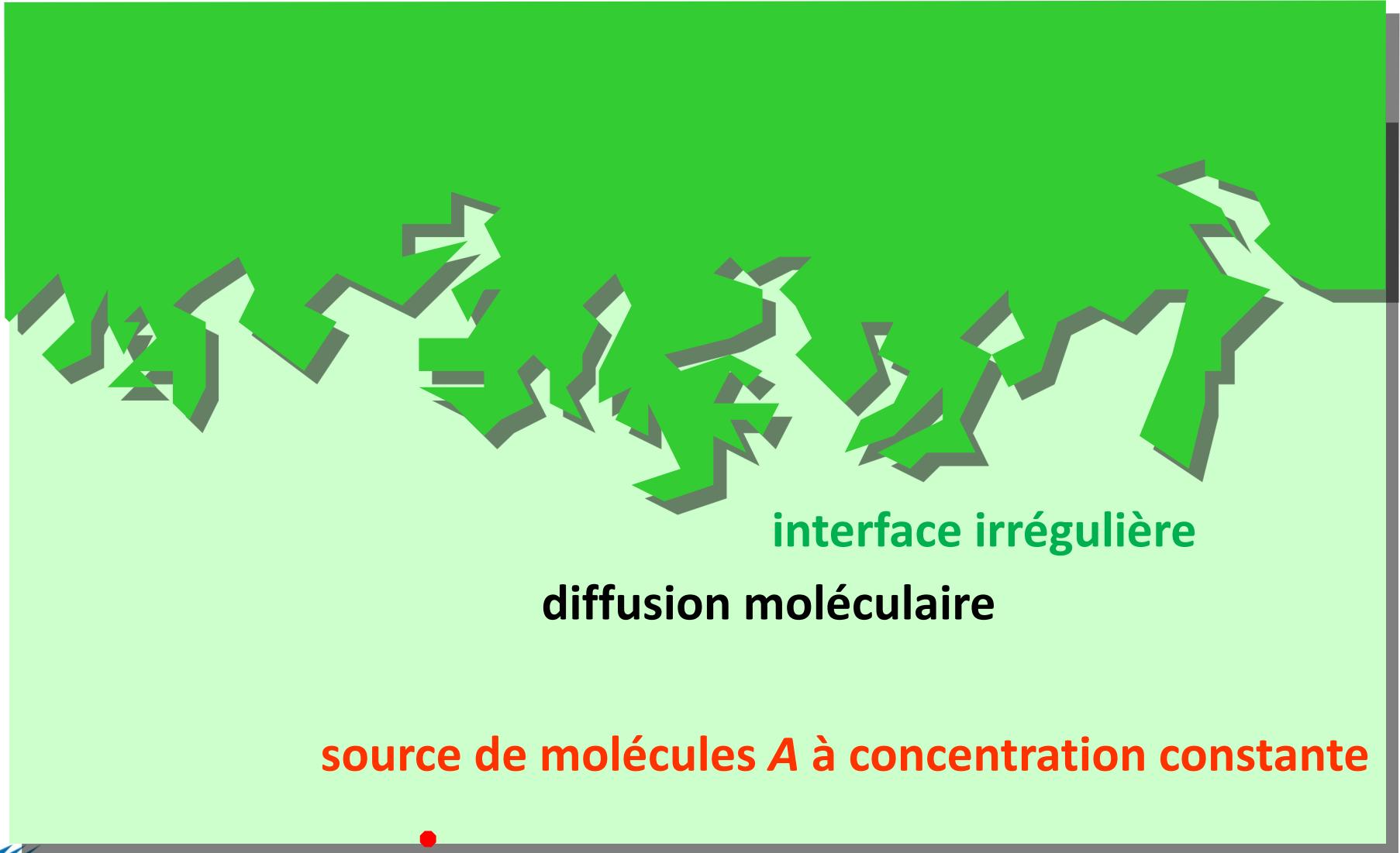
# Diffusion-limited Aggregation (DLA)



# Le ciment

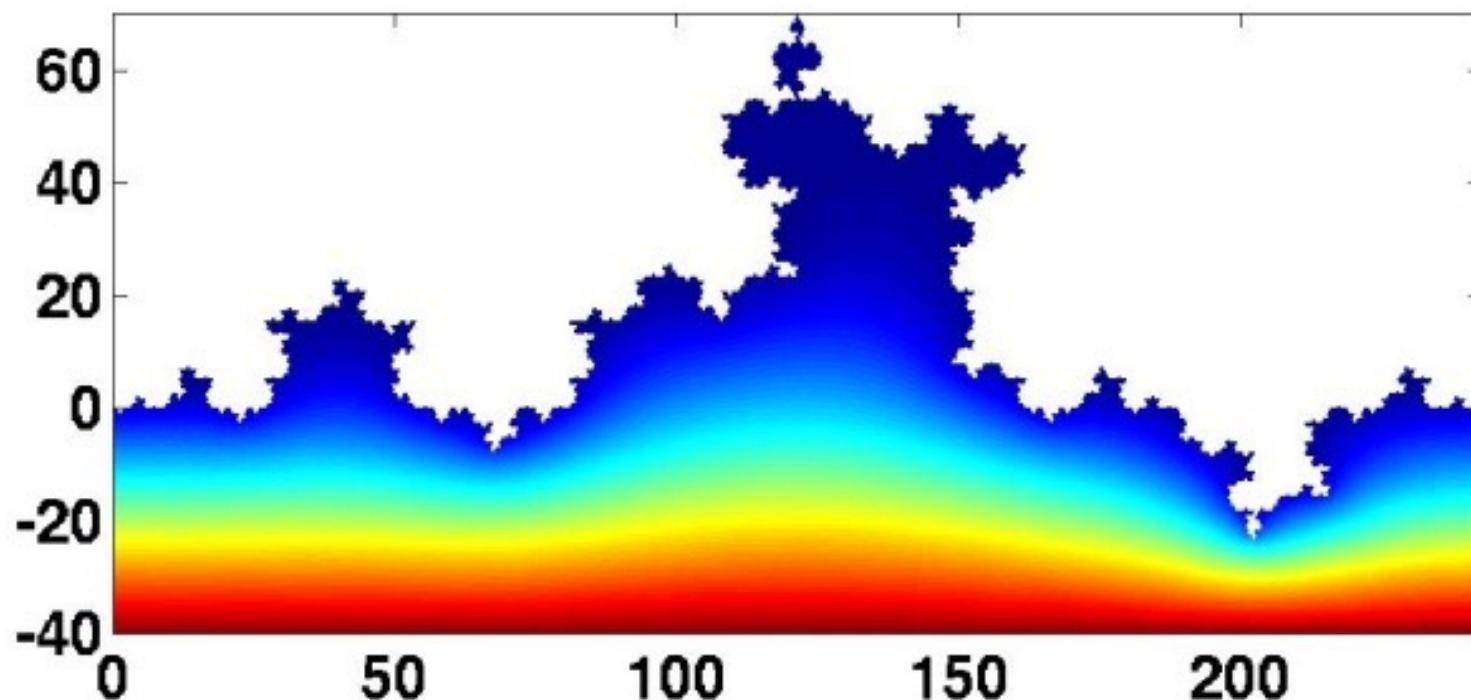


# Approche par diffusion d'une interface irrégulière

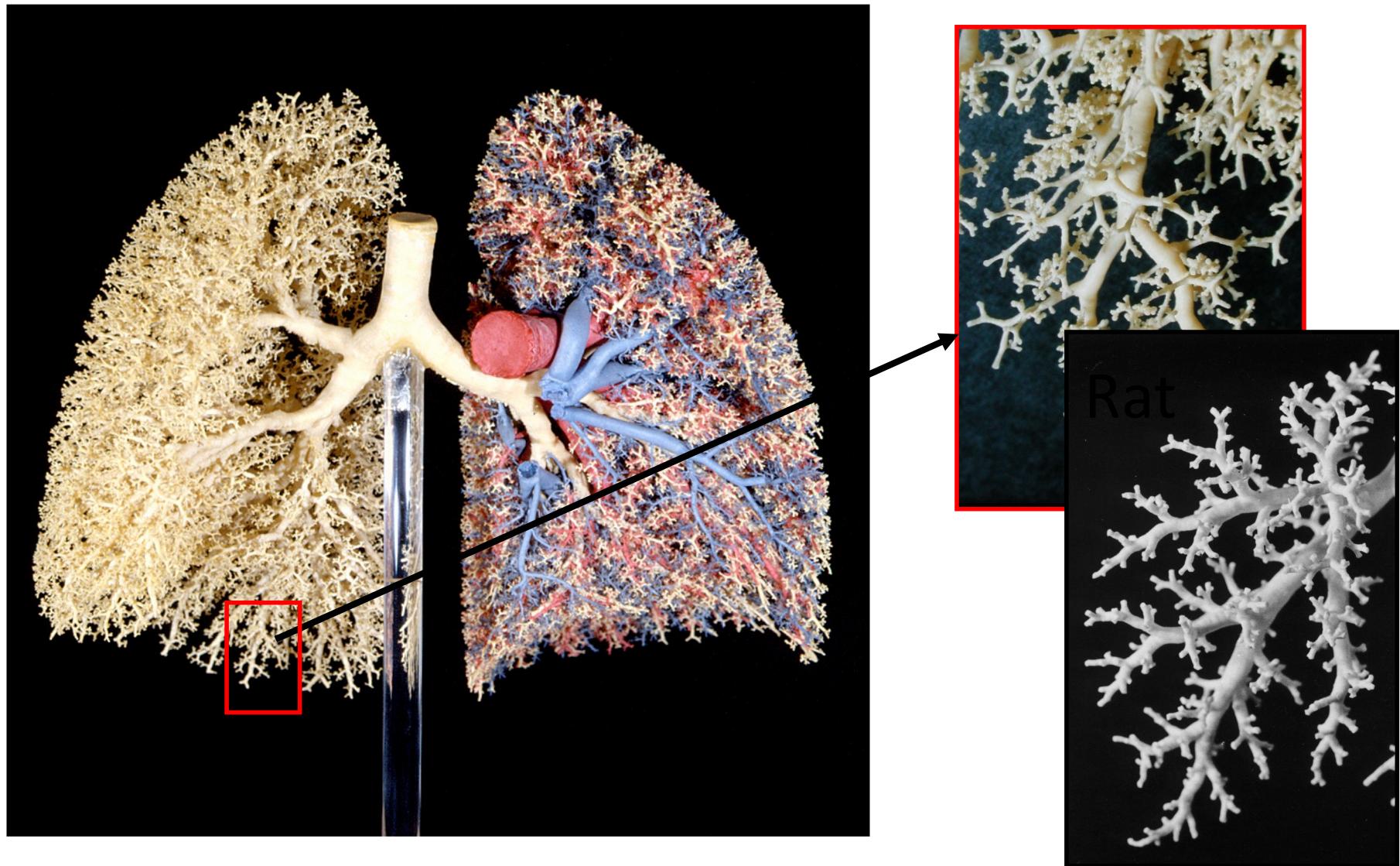


# Le masquage diffusionnel

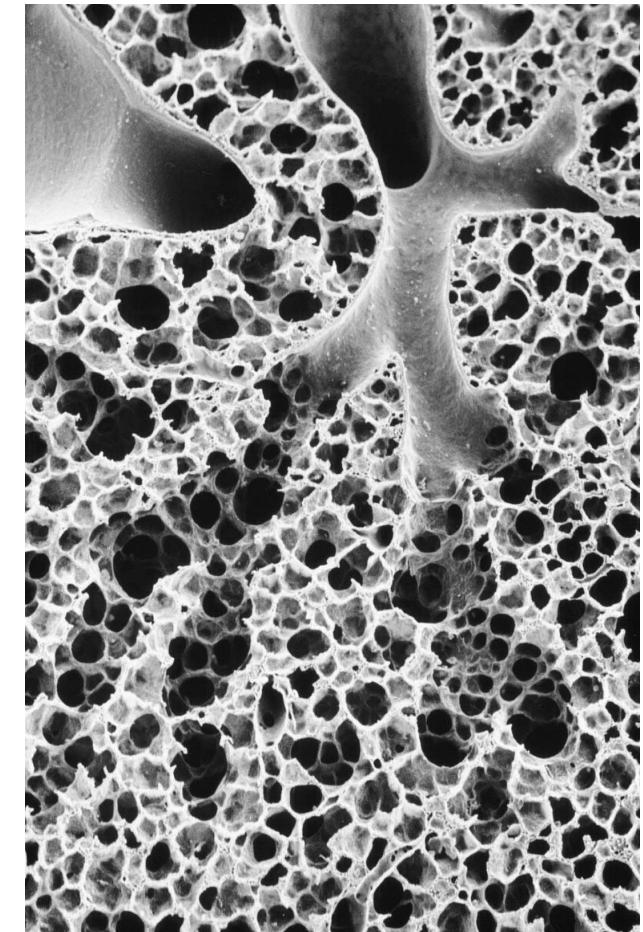
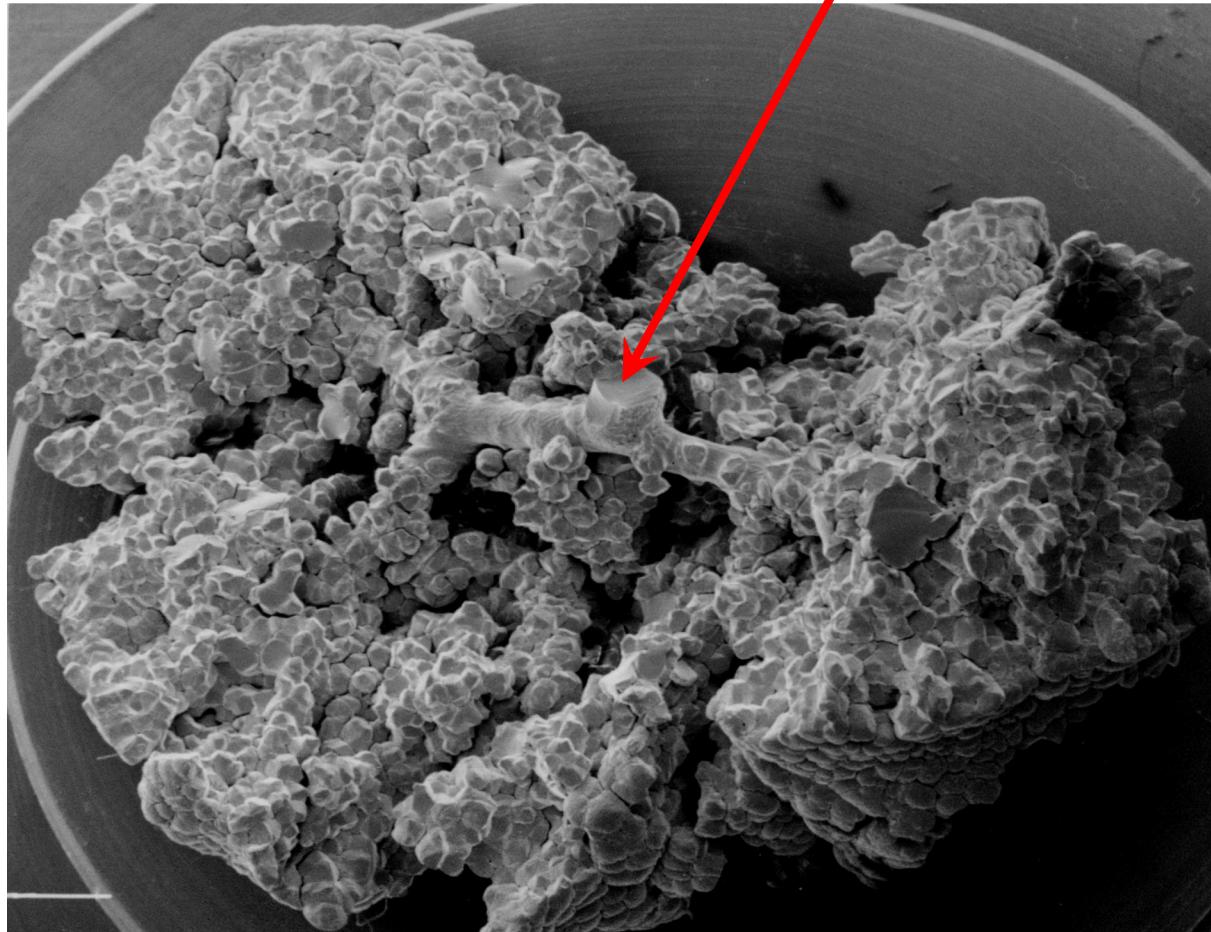
Densité de courant <sup>Concentration</sup>



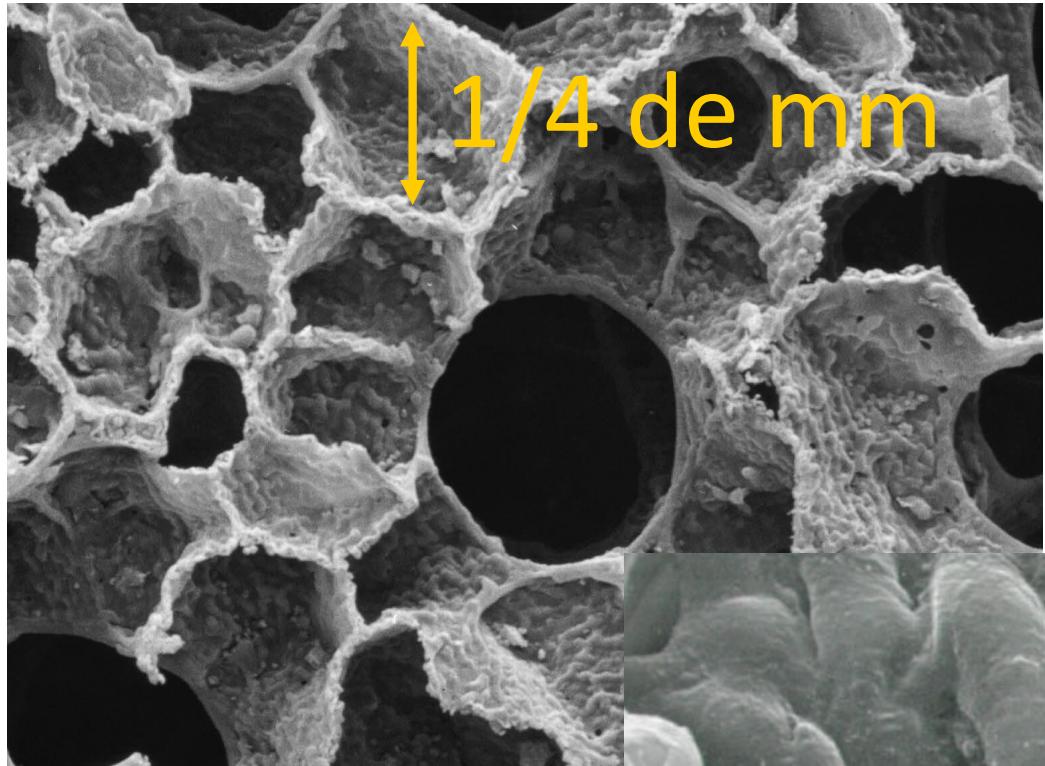
# La structure pulmonaire



**Au bout de chacune des 30.000 bronchioles,  
il a y un acinus**

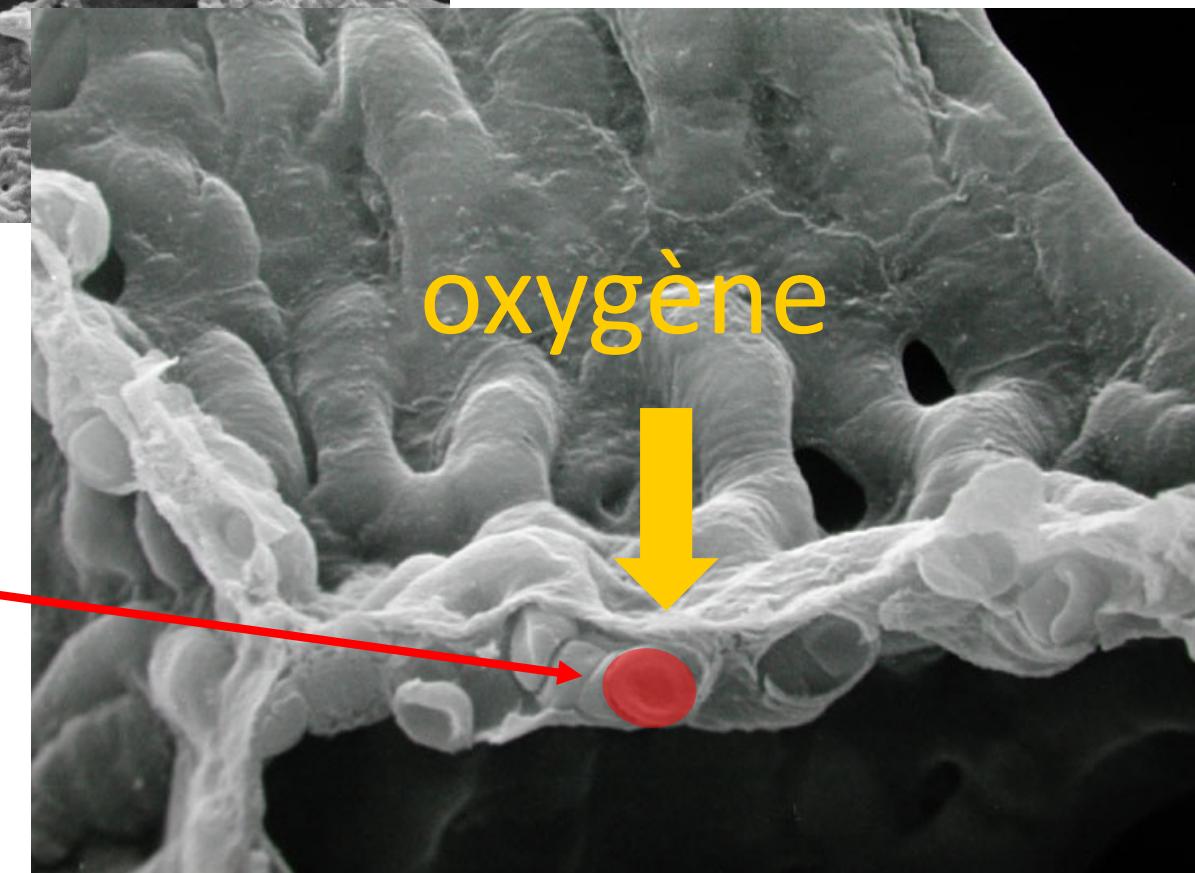


**Vue en coupe**



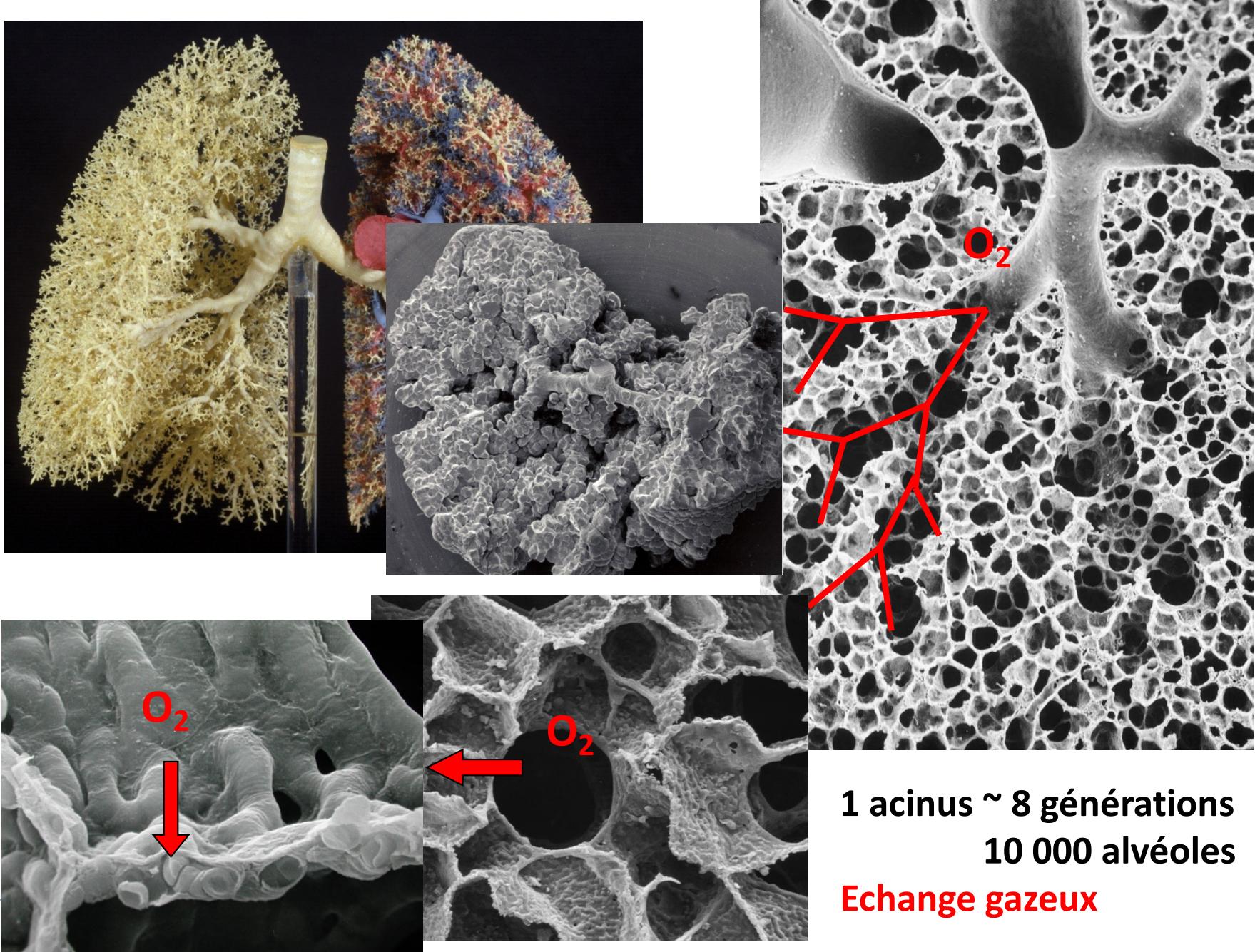
alvéoles  
pulmonaires  
(3-500 millions)

globule  
rouge



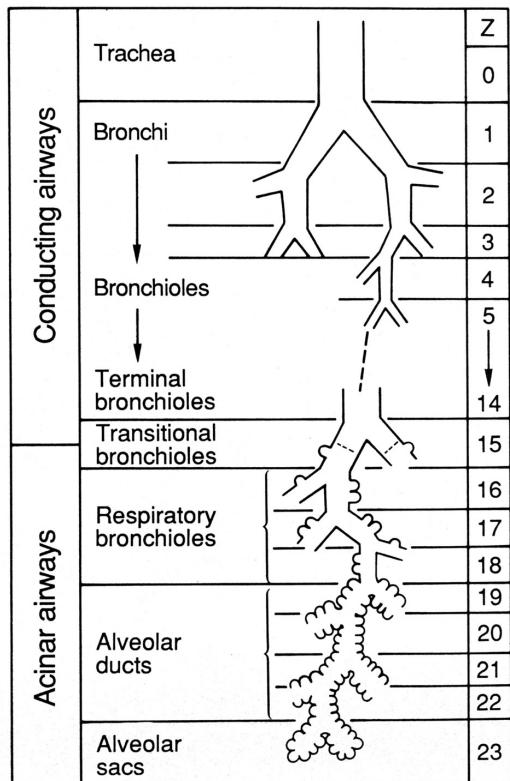
Marcel Filoche

# Au-delà de la 15<sup>e</sup> génération : 30 000 acini



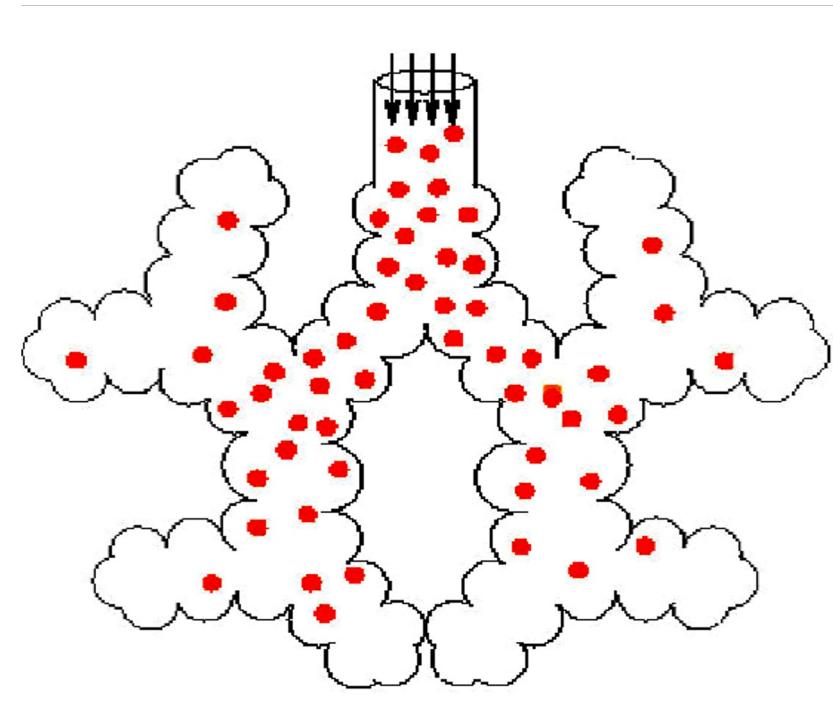
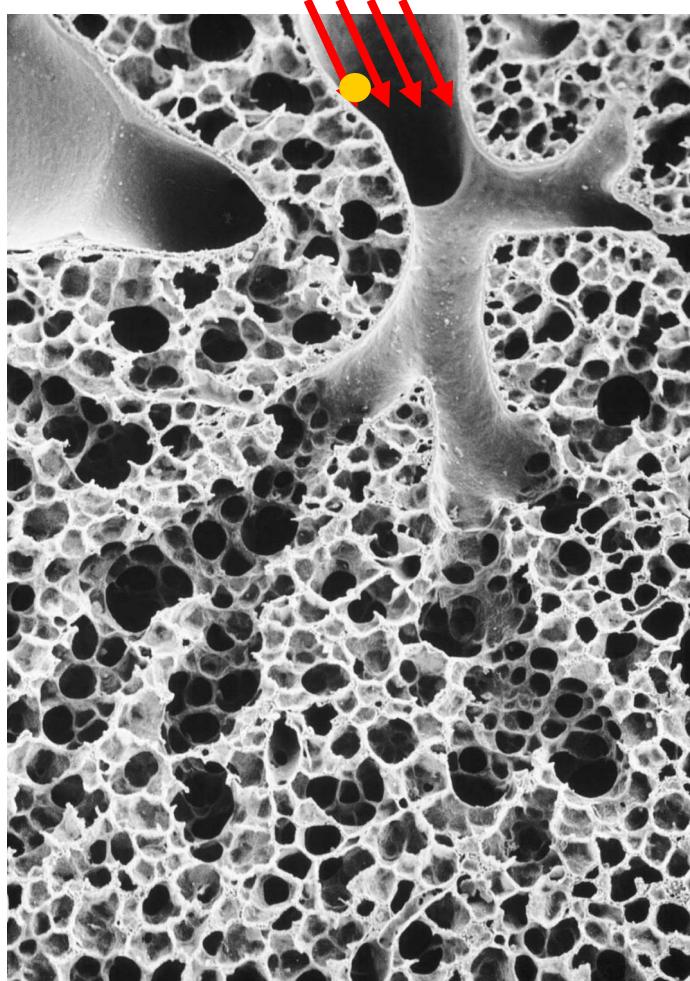
**La membrane alvéolaire qui sépare l'air du sang est accédée par diffusion.**

**Chez l'homme, la surface alvéolaire est de l'ordre de 100 à 150 m<sup>2</sup> !**



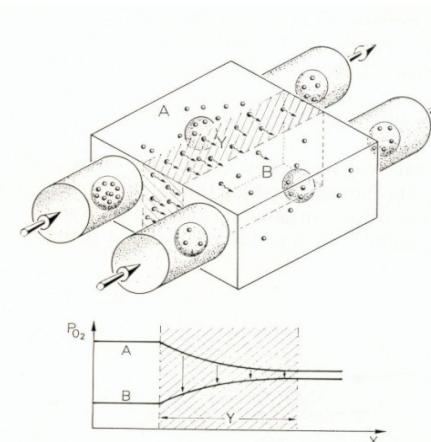
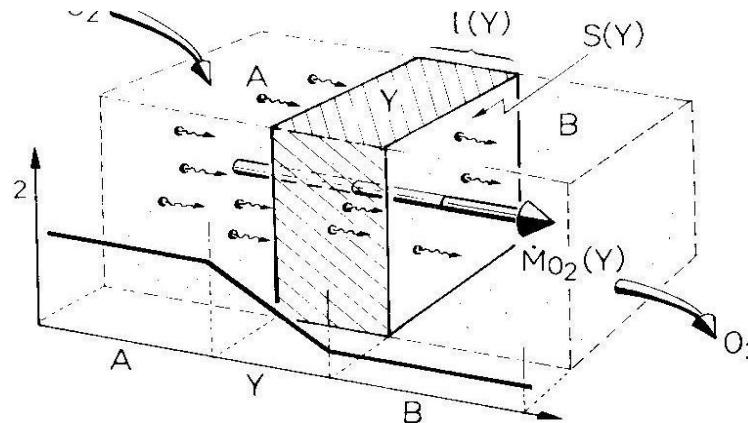
# Acinus : organe actif de l'échange d'oxygène entre air et sang

L'air y est presque immobile.

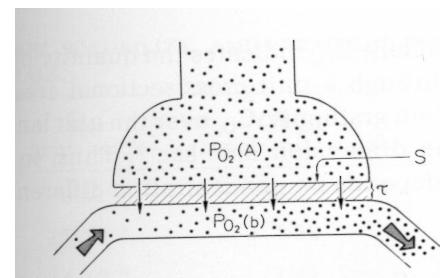


Acinus du « physicien »

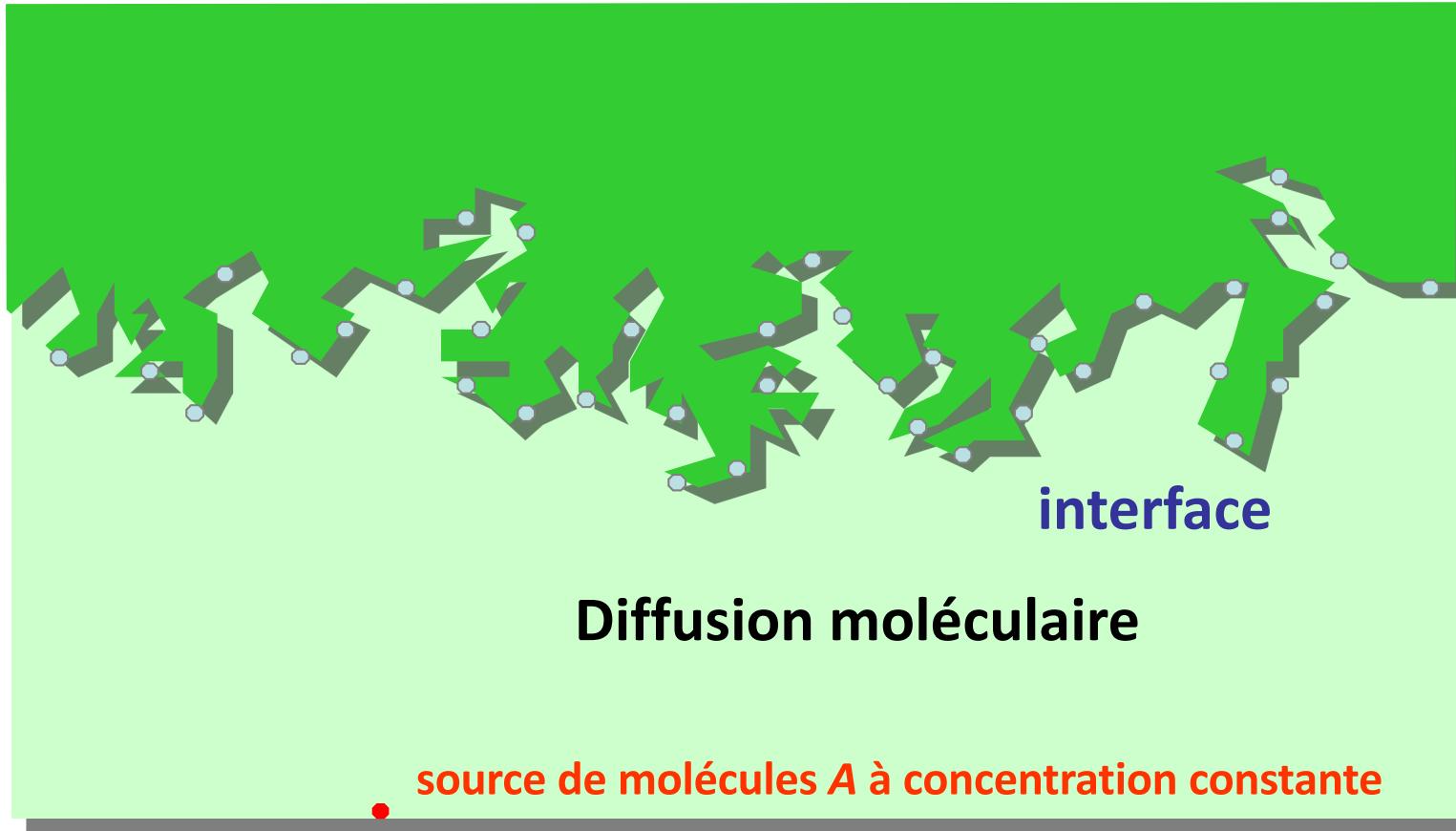
# La vision « classique » de la diffusion



$$\dot{M}_{O_2}(Y) = G(Y) \cdot \left\{ P_{O_2}(A) - P_{O_2}(B) \right\}$$



# Diffusion moléculaire



# Cadre mathématique

$$-D \frac{\partial C}{\partial n} = -W C$$

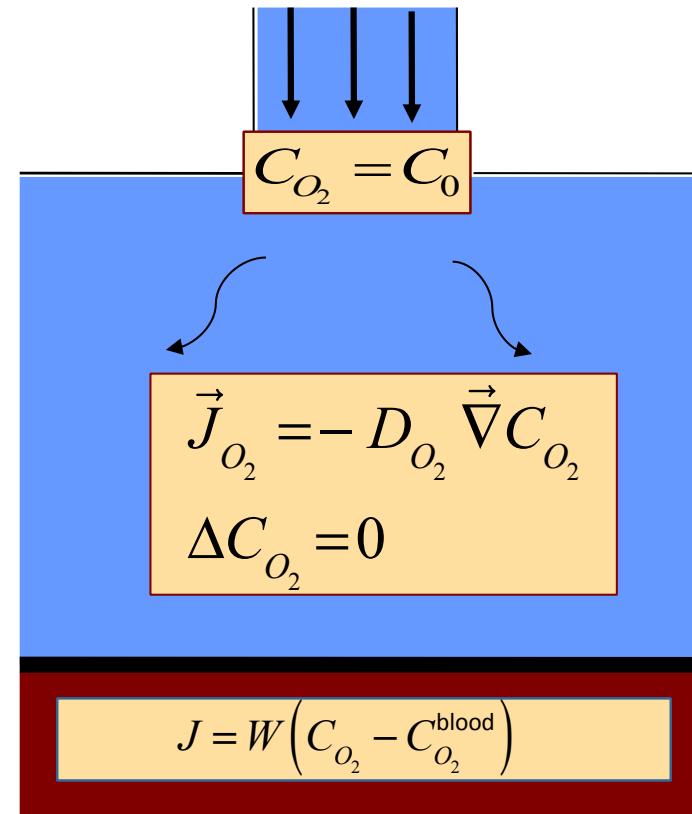
$$\Delta C = 0$$

$$\cancel{\frac{\partial C}{\partial t}} + \operatorname{div}(-D \vec{\nabla} C) = 0$$

$$C = C^{ent}$$

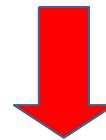
# Le modèle mathématique du subacinus

- A l'entrée du subacinus  
**La source de diffusion**
- Dans l'air alvéolaire :  
**Diffusion stationnaire → loi de Fick**
- A l'interface air/sang :  
**Membrane de perméabilité  $W_M$**



# Le système d'équations

$$P \equiv P_{O_2} - P_{O_2}^{blood}$$



## Problème aux dérivées partielles

$$\nabla^2 P = 0$$

Dans le volume

$$\frac{\partial P}{\partial n} = -\frac{1}{\Lambda} P$$

Sur la membrane alvéolaire

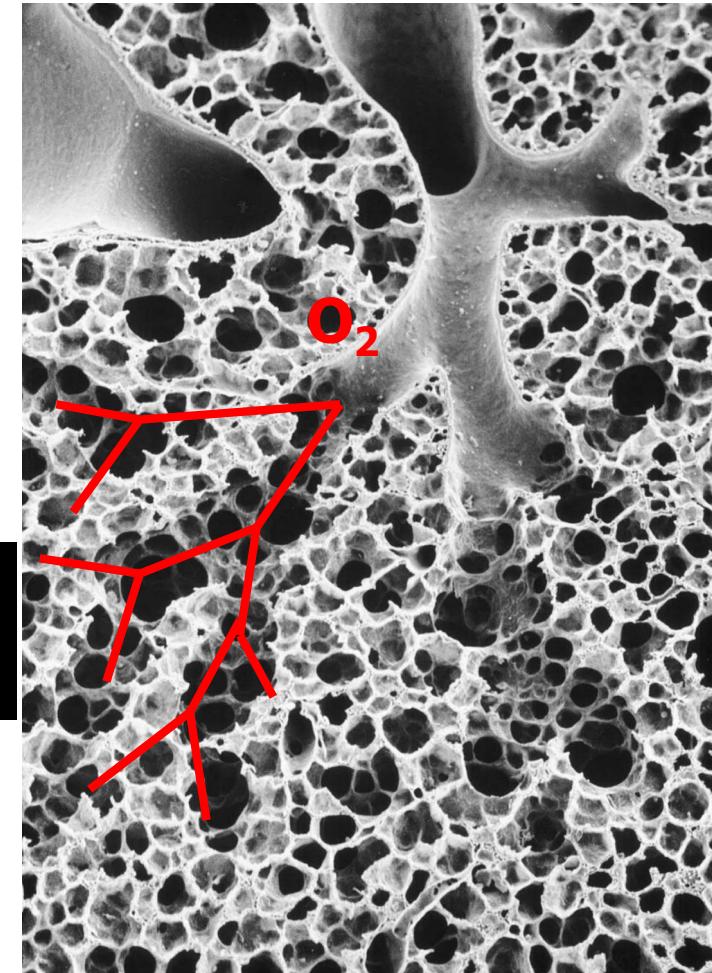
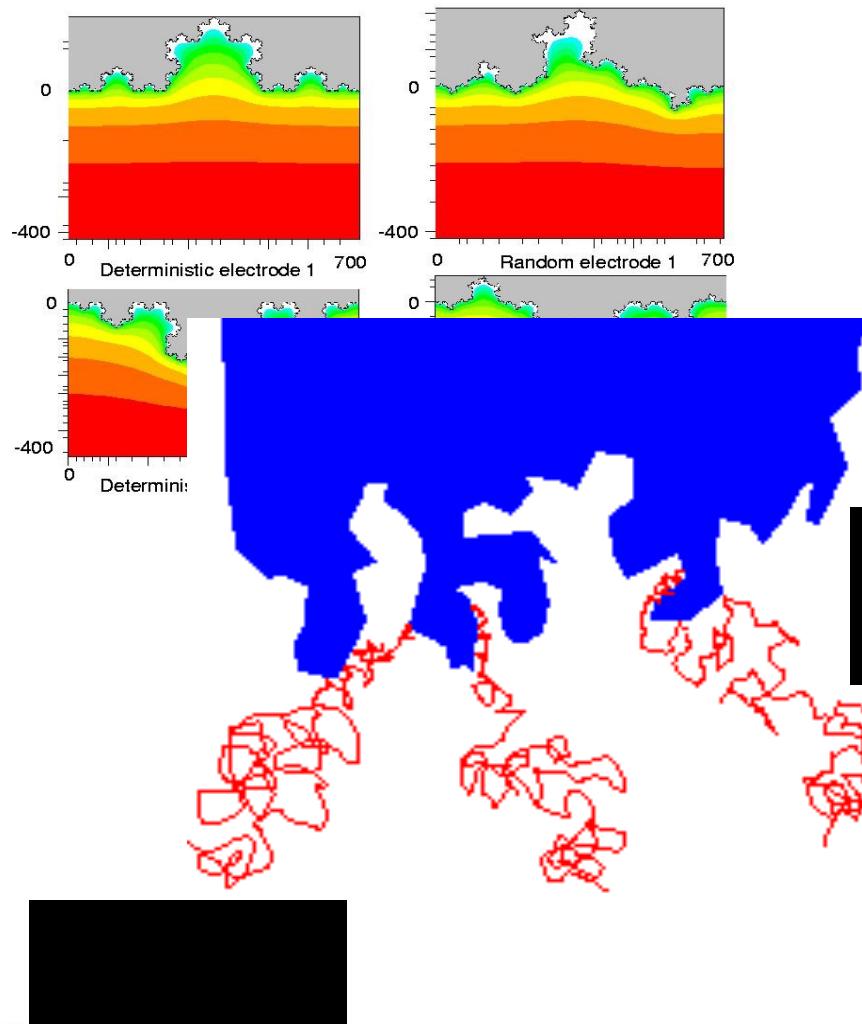
$$P = P_0$$

À l'entrée du subacinus

$$\Lambda \equiv \frac{D}{W}$$

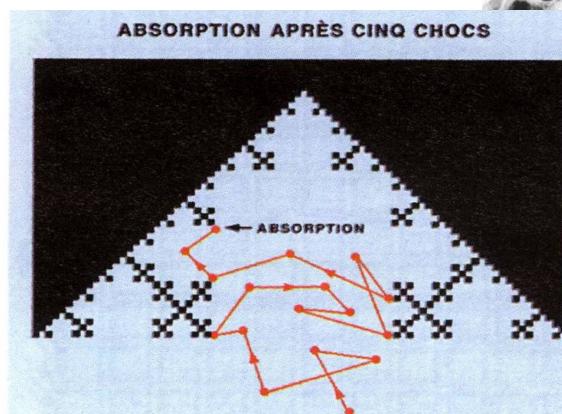
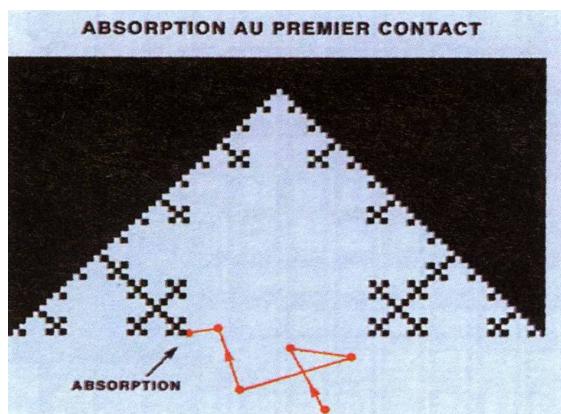
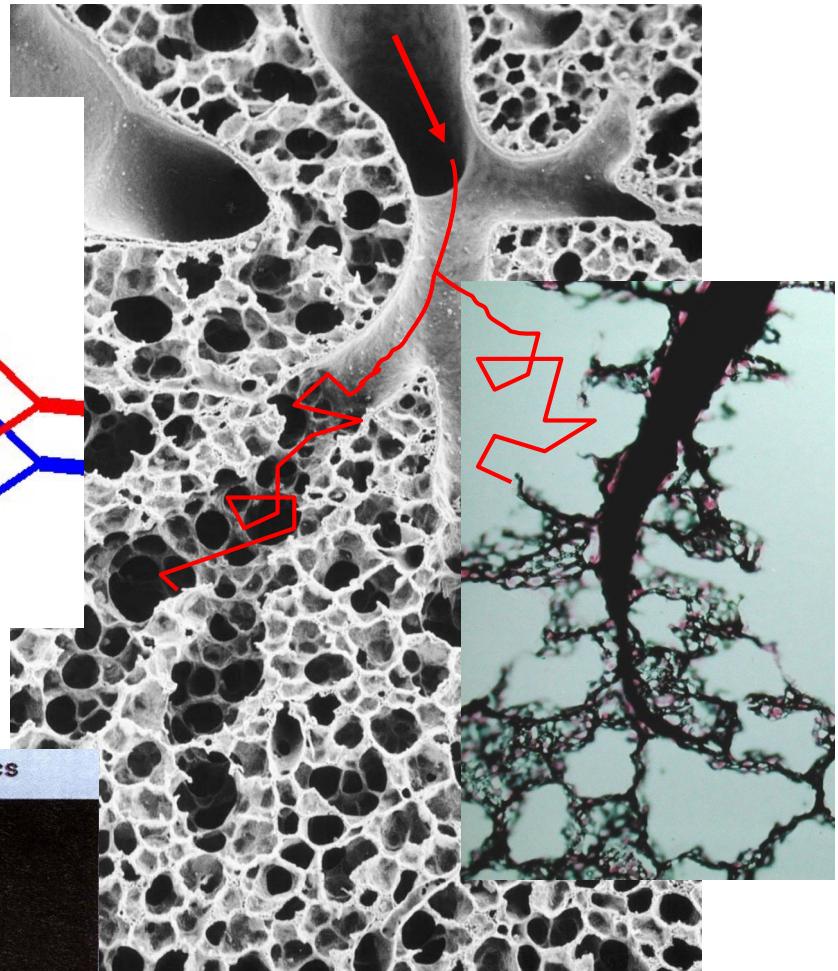
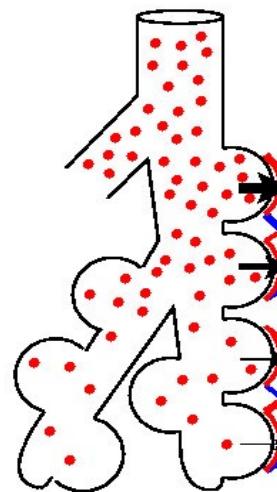
**longueur de périmètre non écrantée**

# Le transfert de l'oxygène : un problème physico-géométrique



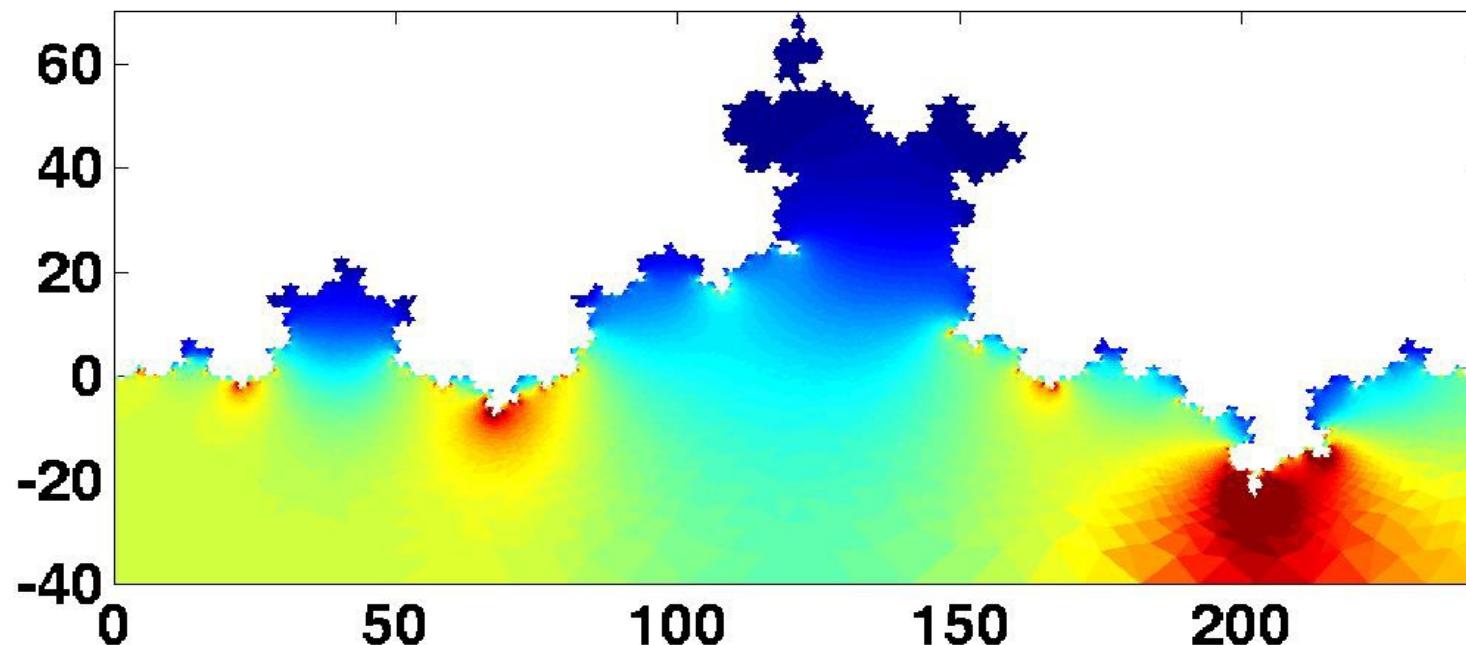
# Masquage diffusionnel

O<sub>2</sub> absorbé  
sur la membrane



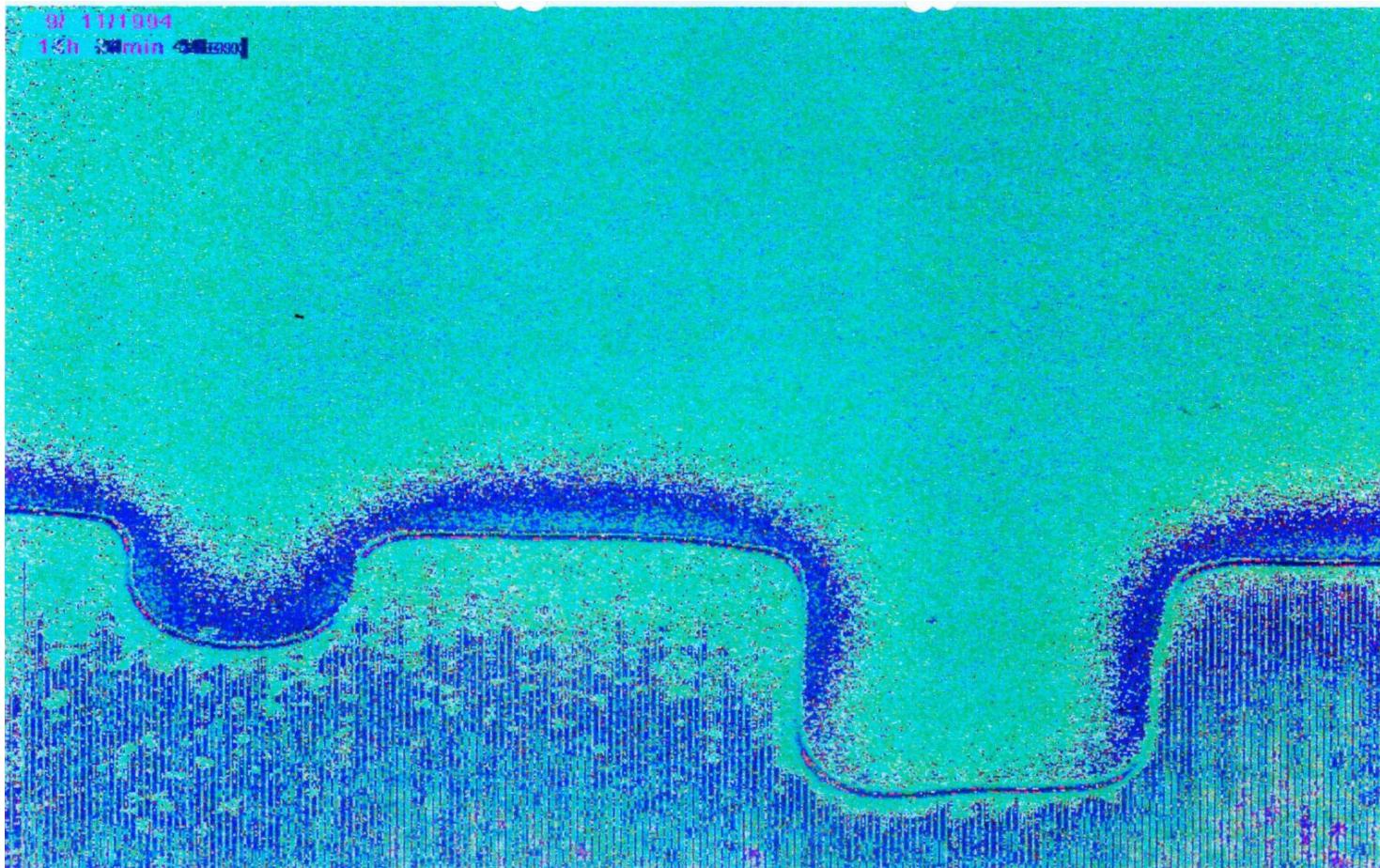
# Le masquage diffusionnel

Densité d'agent



# Electrochimie

## dépôt d'ions de cuivre sur une interface irrégulière



# Masquage diffusionnel ou non ?

- $L_p < \Lambda \Rightarrow Y_{att} > Y_{tra}$   
=> la surface travaille uniformément
- $L_p > \Lambda \Rightarrow Y_{att} < Y_{tra}$   
=> les régions les moins accessibles ne sont pas atteintes  
**Masquage diffusionnel**

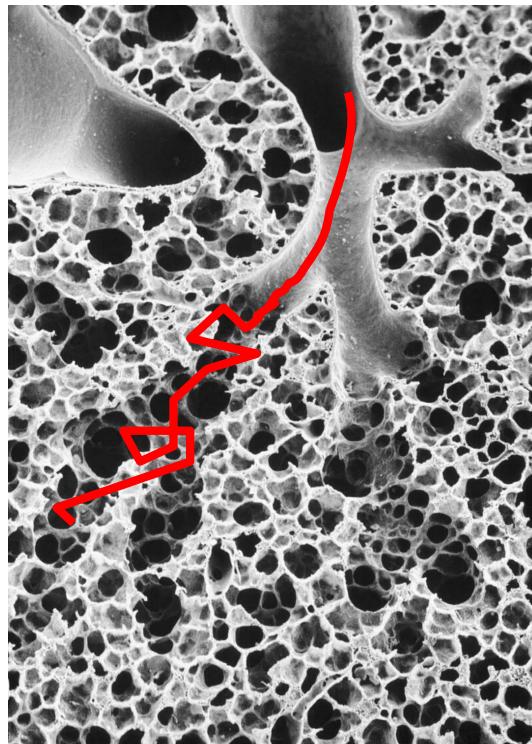
Dans le subacrinus humain:

$$\begin{cases} A = 8.63 \text{ cm}^2 \\ L = 0.29 \text{ cm} \end{cases} \quad \rightarrow \quad L_p \approx 30 \text{ cm}$$

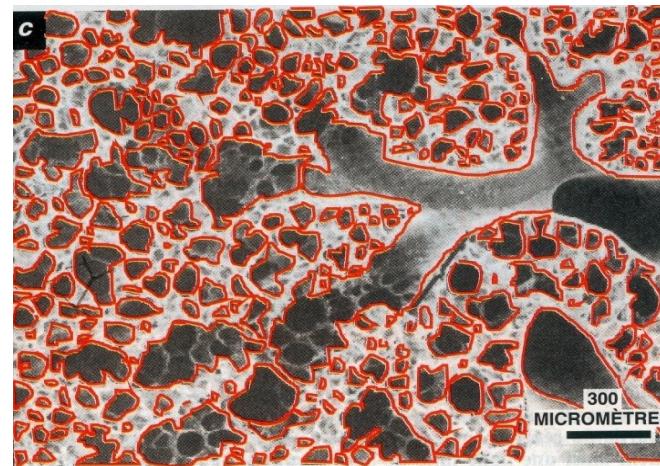
$$\begin{cases} D = 0.2 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1} \\ W = 0.79 \cdot 10^{-2} \text{ cm s}^{-1} \end{cases} \quad \rightarrow \quad \Lambda = 28 \text{ cm}$$

$$\Lambda \approx L_p$$

# Règle de dimensionnement de la taille de l'acinus de tous les mammifères !



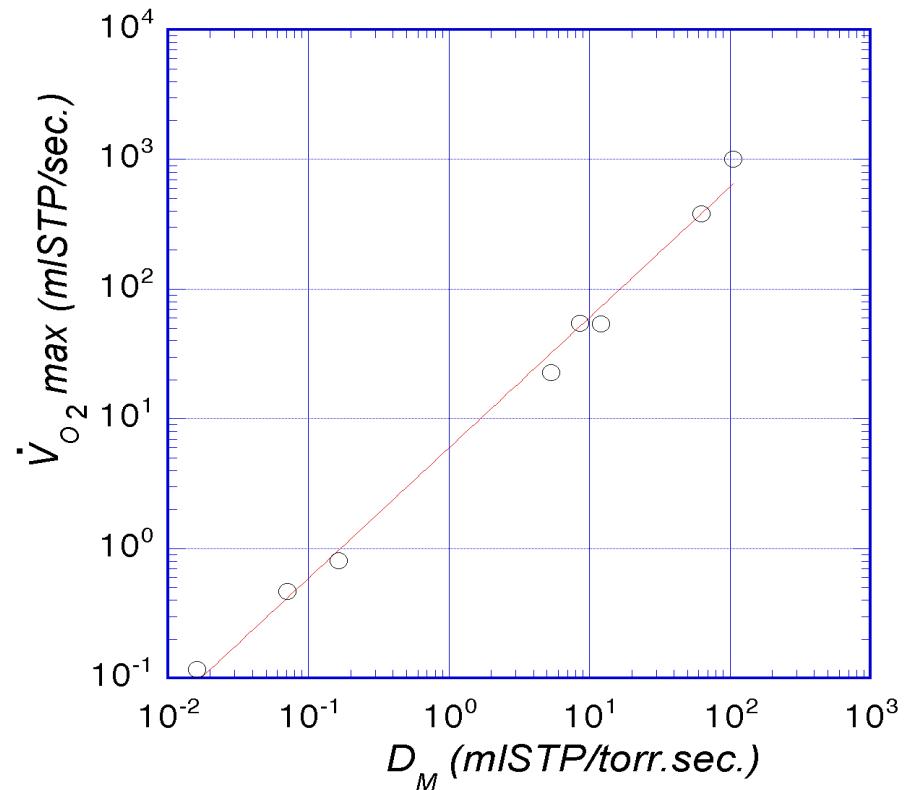
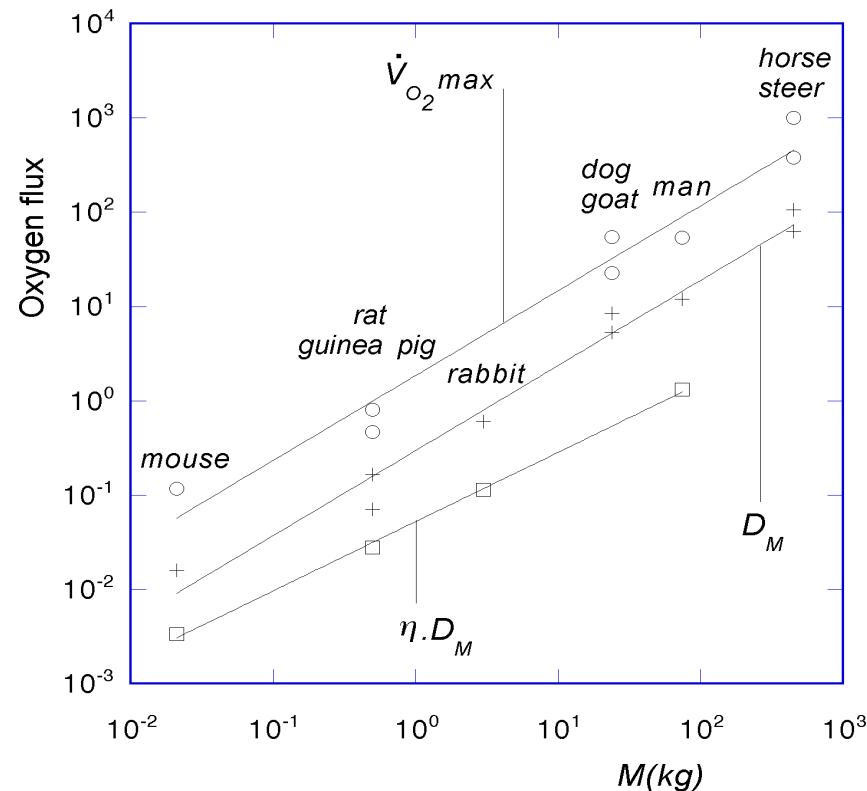
Longueur  
d'exploration



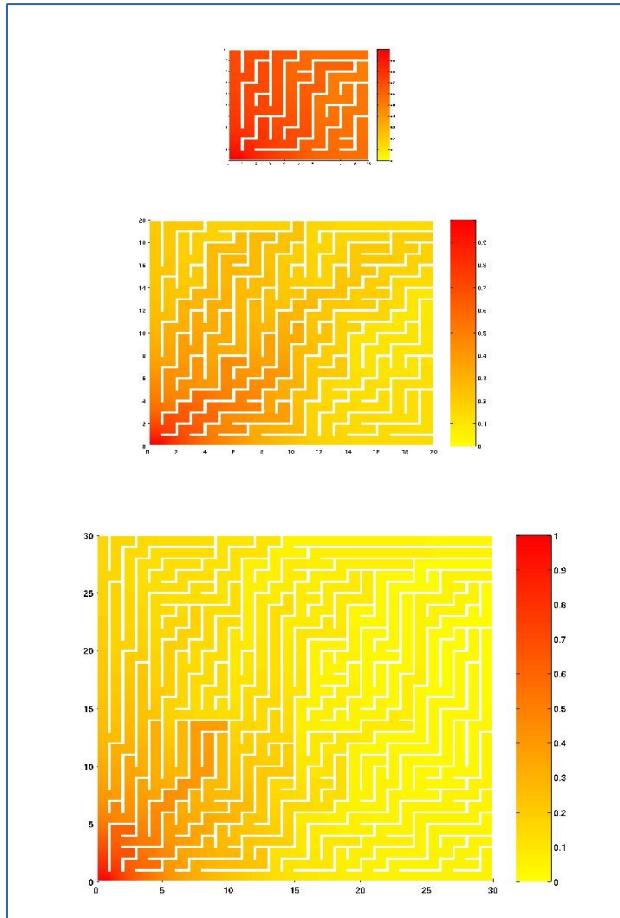
Longueur  
d'une coupe

|                                  | souris | rat | lapin | homme |
|----------------------------------|--------|-----|-------|-------|
| $L_{\text{explo.}} \text{ (cm)}$ | 15     | 19  | 25    | 28    |
| $L_{\text{coupe}} \text{ (cm)}$  | 6      | 10  | 11    | 30    |

# Dimensionnement du poumon



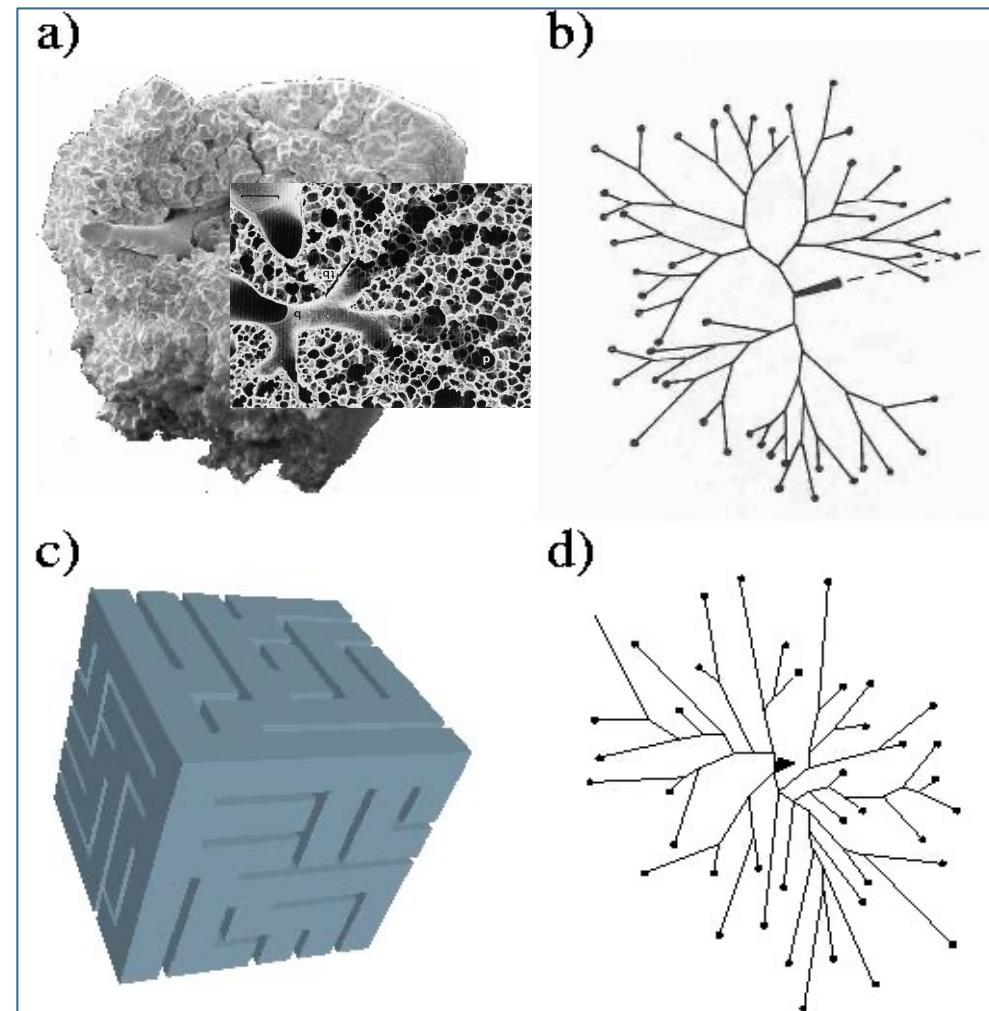
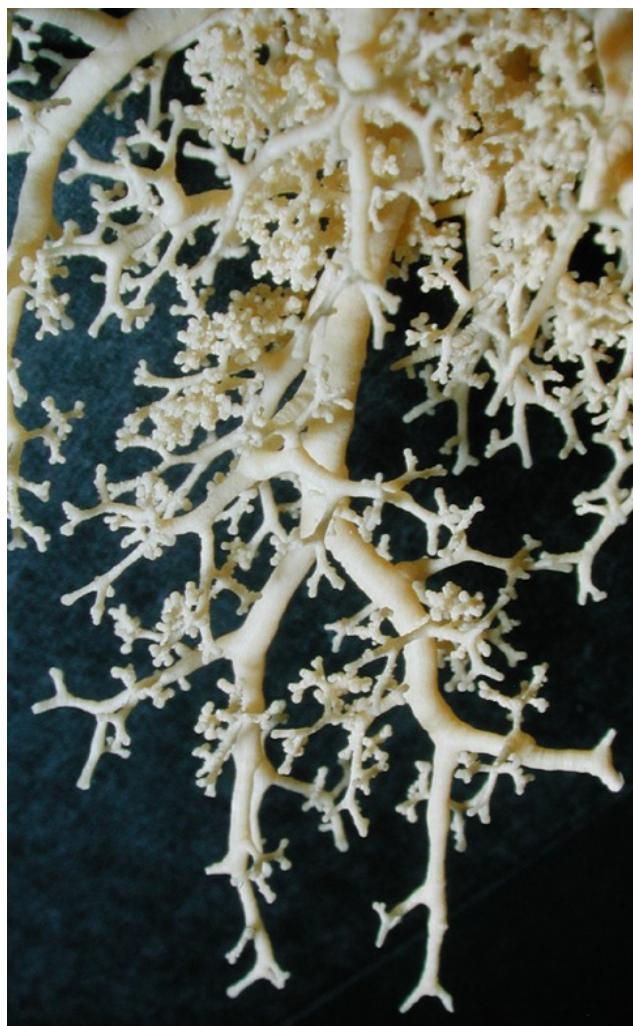
# Flux total d'oxygène en fonction de la taille des acini



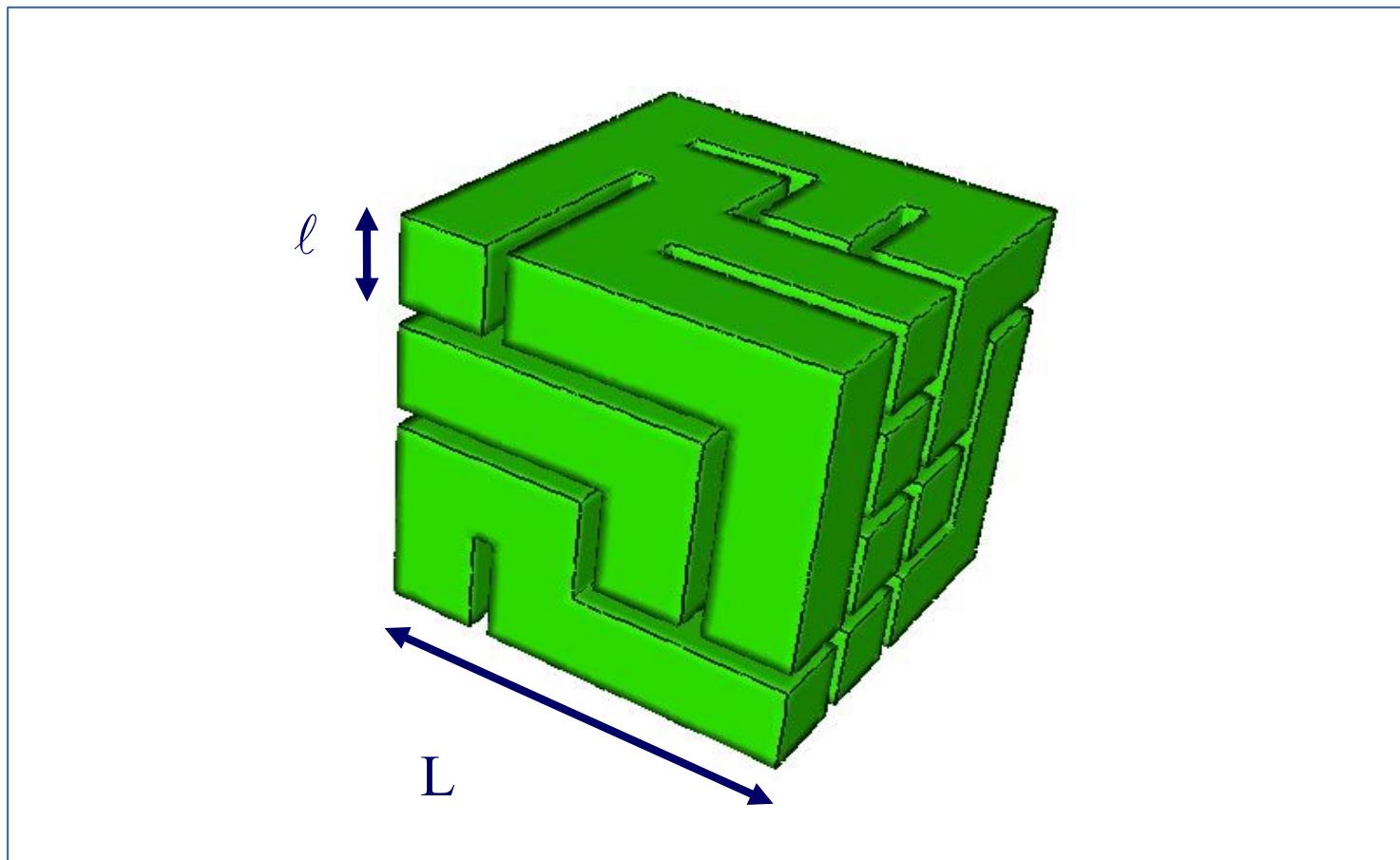
**Le poumon doit être constitué d'un grand nombre d'acini de taille réduite.**

**C'est pourquoi le poumon doit posséder une structure arborescente.**

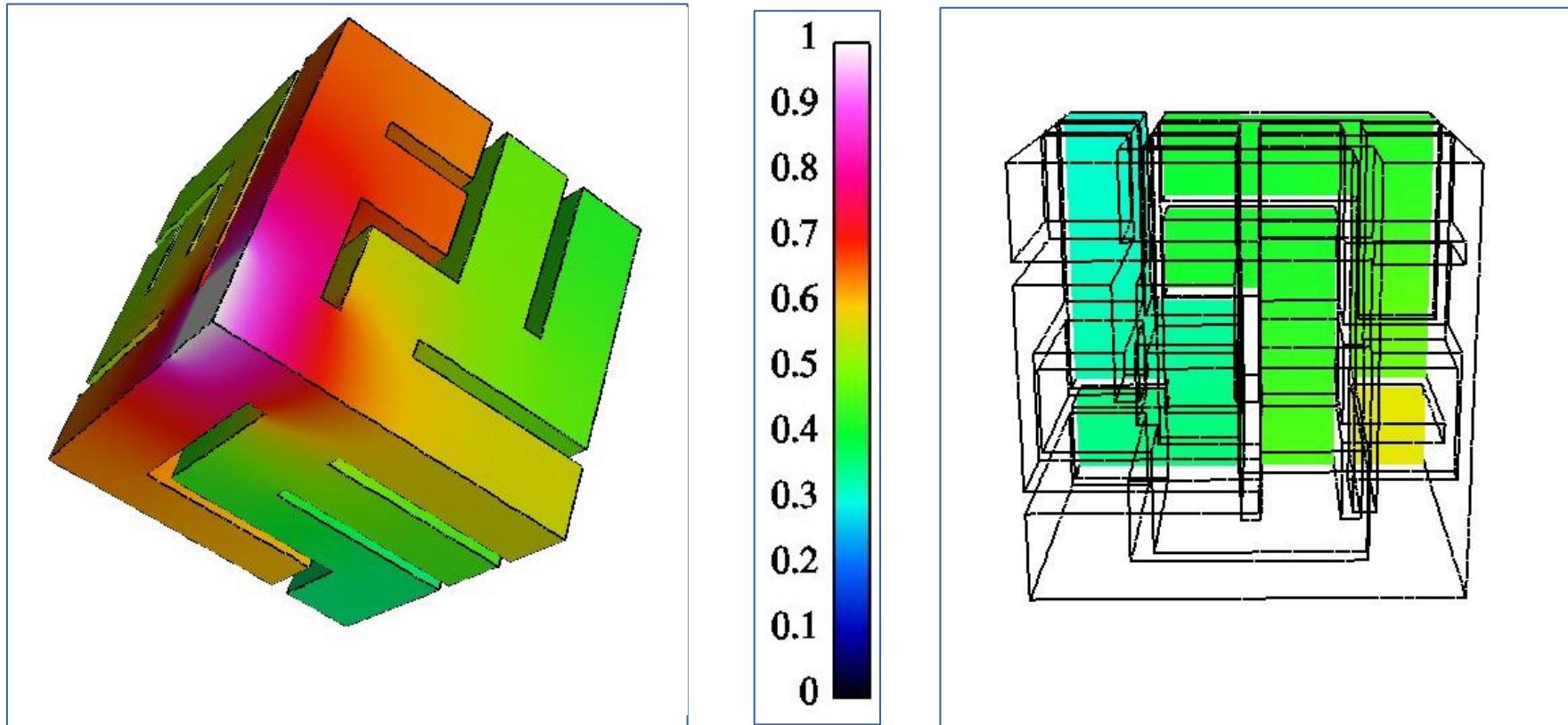
# Modèle numérique de l'acinus humain



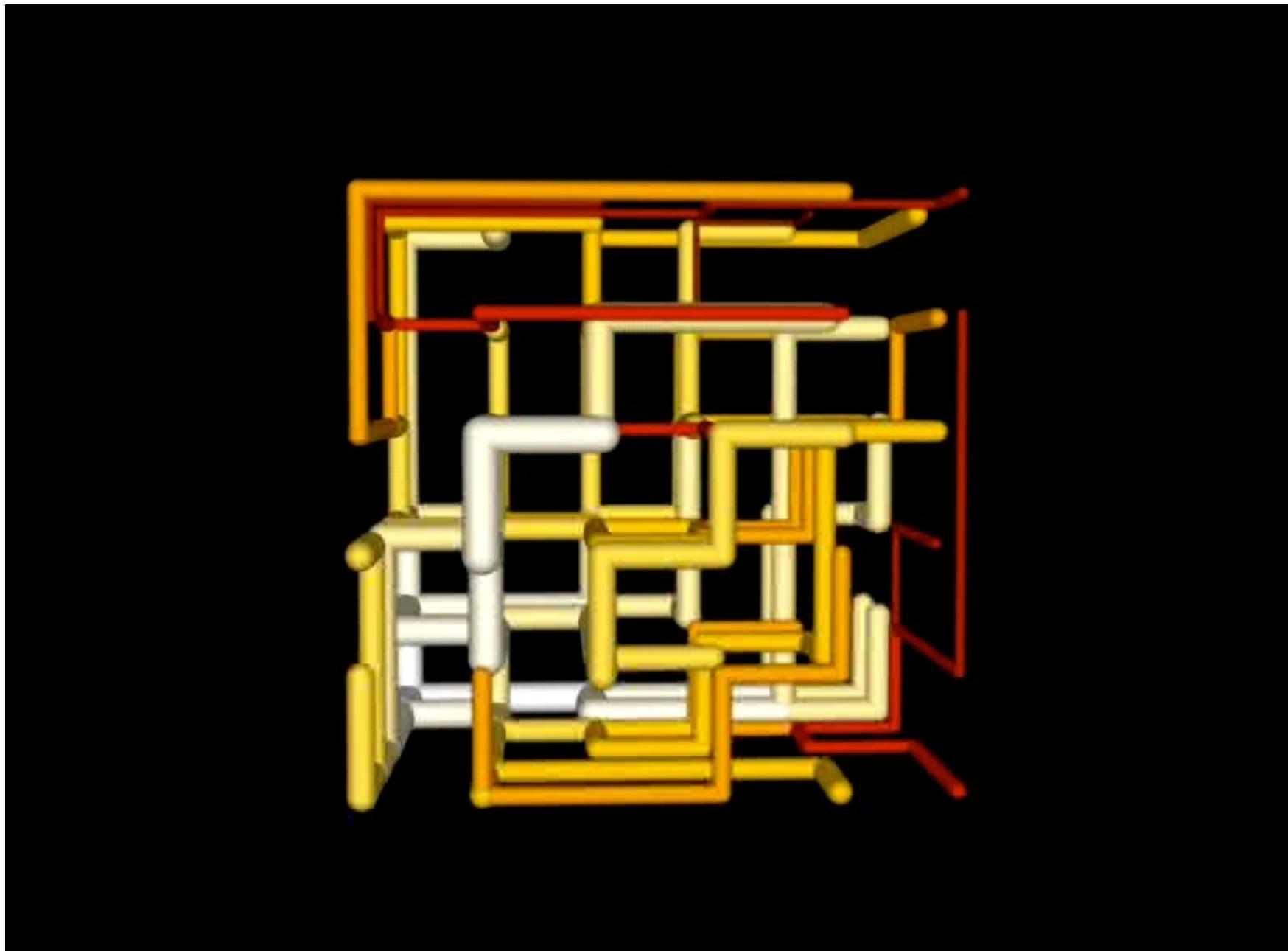
# Géométrie modèle 3D de Kitaoka







**maillage: 366 693 sommets, 1 990 172 tétraèdres.**

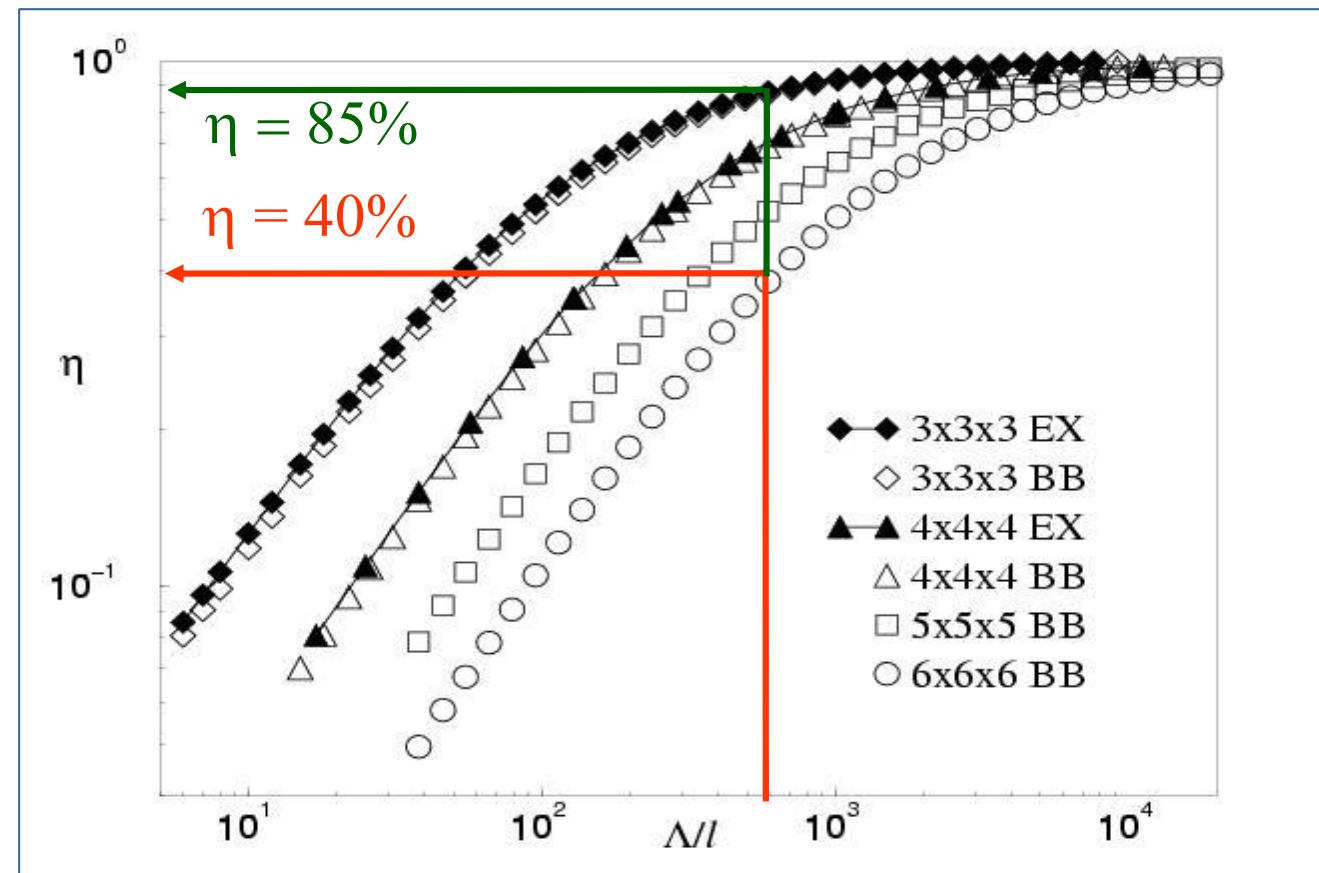


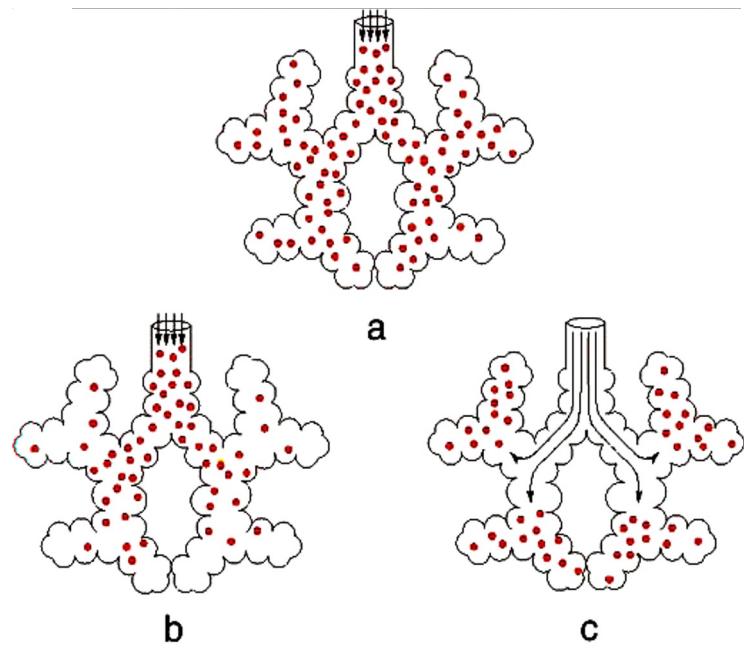
# Efficacité de l'acinus

Subacinus humain:  
 $L=6\ell$  ;  $\Lambda=600\ell$

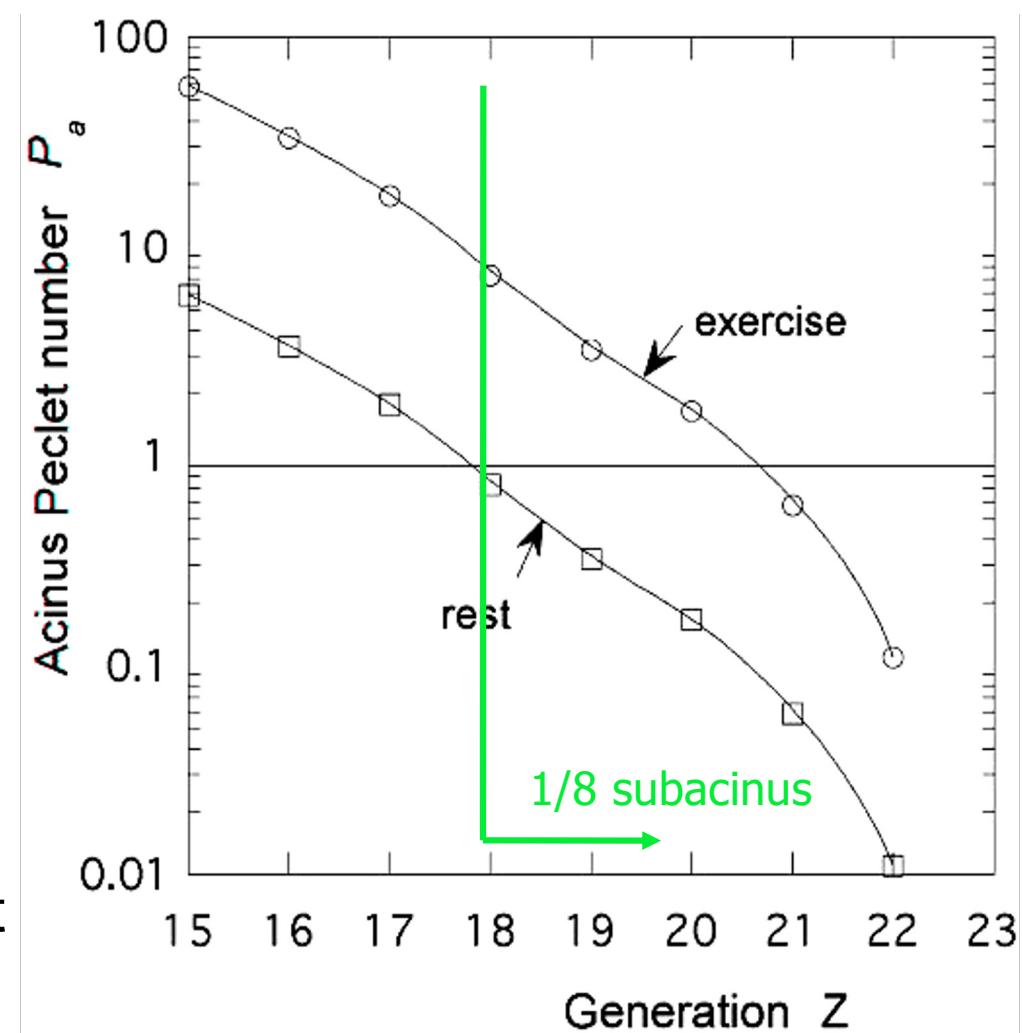


Au repos  
 $\eta = 40\%$   
En exercice  
 $\eta = 85\%$



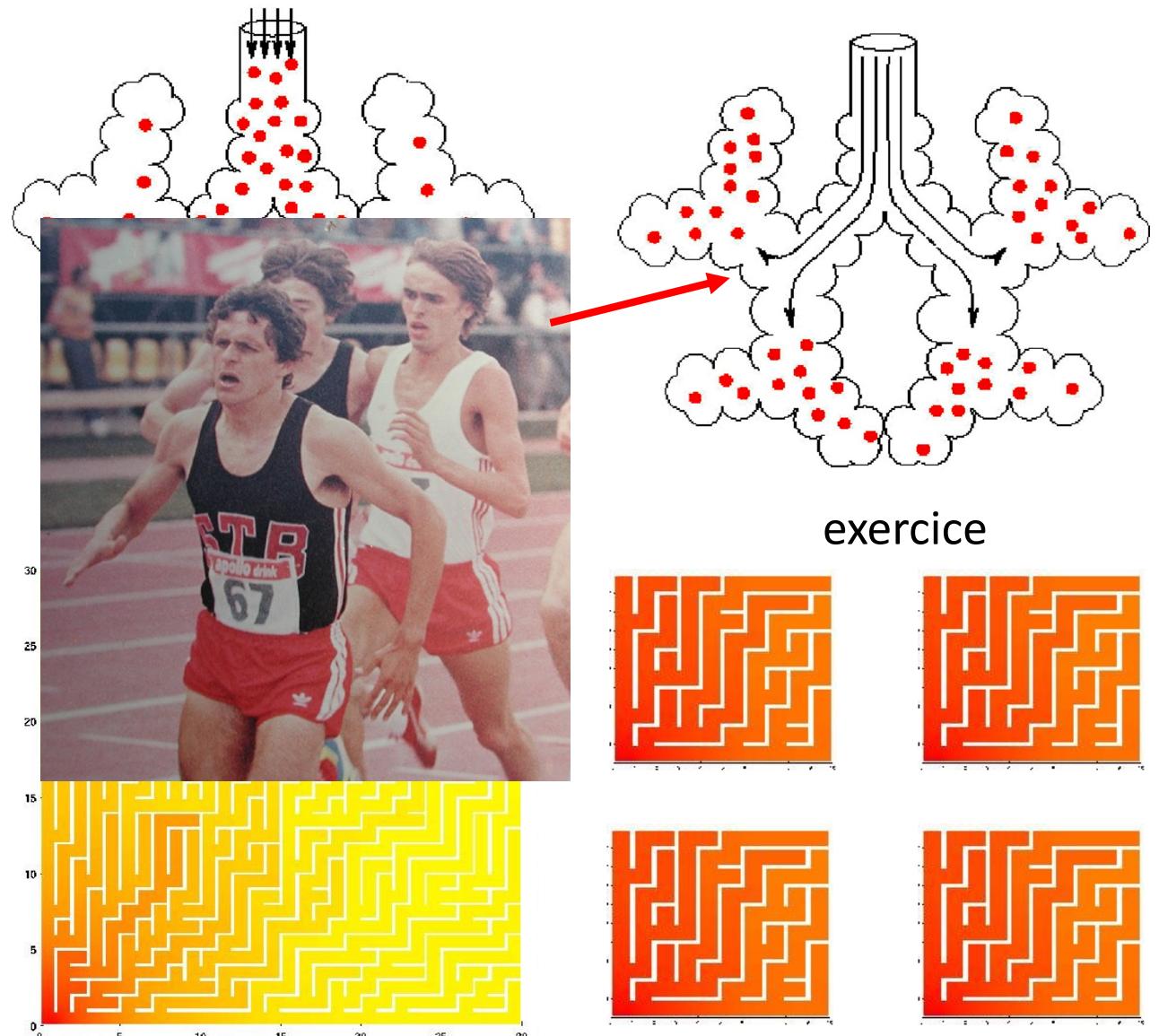


A l'exercice, le flux diffusif pénètre plus profondément dans le subacinus



L'échange gazeux est amélioré

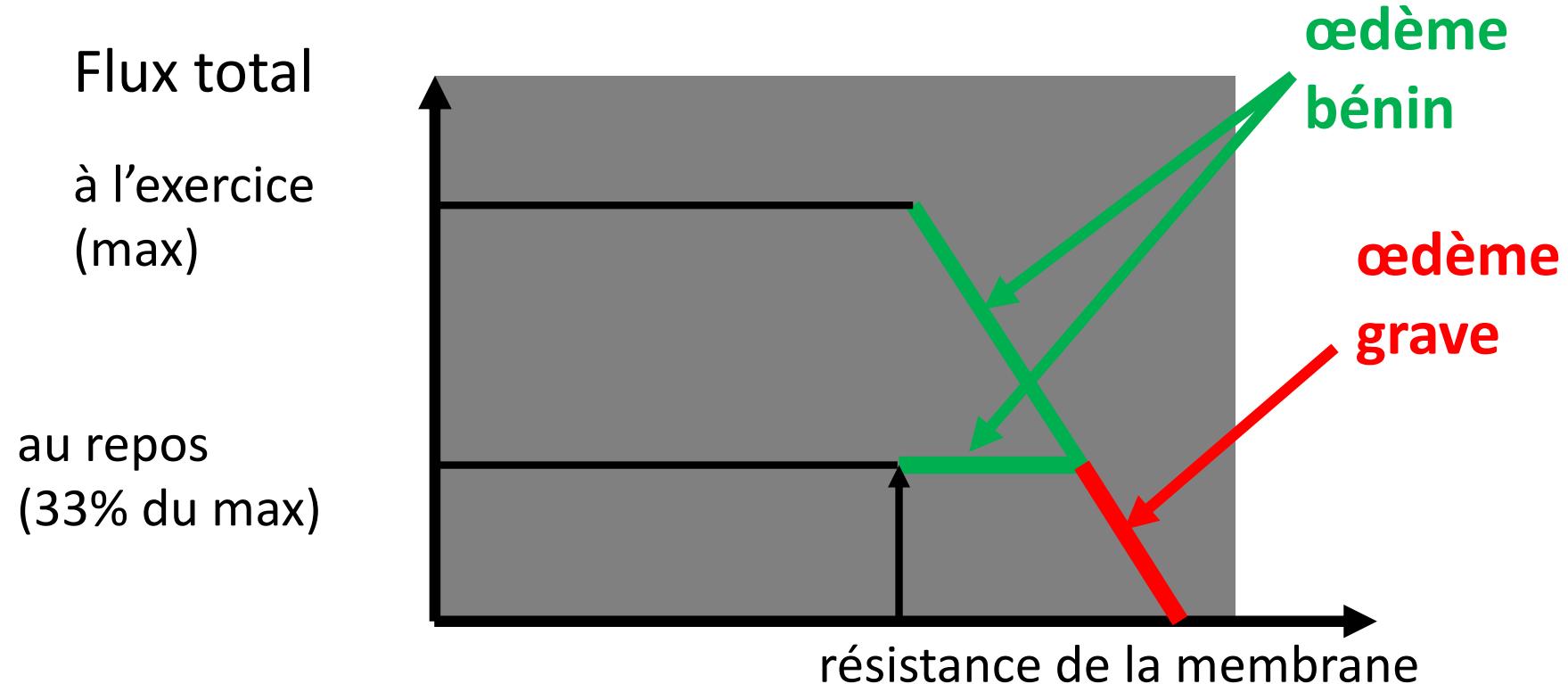
# Plus petit, plus efficace...



Marcel Filoche

# Pathologies de la membrane alvéolaire

## l'œdème pulmonaire



Le fonctionnement de l'acinus est robuste vis-à-vis de la détérioration de la membrane

# **Licence d'usage dans un contexte public, sans modification**

La licence confère à l'utilisateur un droit d'usage sur le document consulté ou téléchargé, totalement ou en partie, dans les conditions définies ci-après et à l'exclusion expresse de toute utilisation commerciale.

Le droit d'usage défini par la licence autorise un usage à destination de tout public qui comprend :

- Le droit de reproduire tout ou partie du document sur support informatique ou papier,
- Le droit de diffuser tout ou partie du document au public sur support papier ou informatique, y compris par la mise à la disposition du public sur un réseau numérique.

Aucune modification du document dans son contenu, sa forme ou sa présentation n'est autorisée. Les mentions relatives à la source du document et/ou à son auteur doivent être conservées dans leur intégralité.

Le droit d'usage défini par la licence est personnel, non exclusif et non transmissible. Tout autre usage que ceux prévus par la licence est soumis à autorisation préalable et expresse de l'auteur.

