

L'uranium dans l'environnement

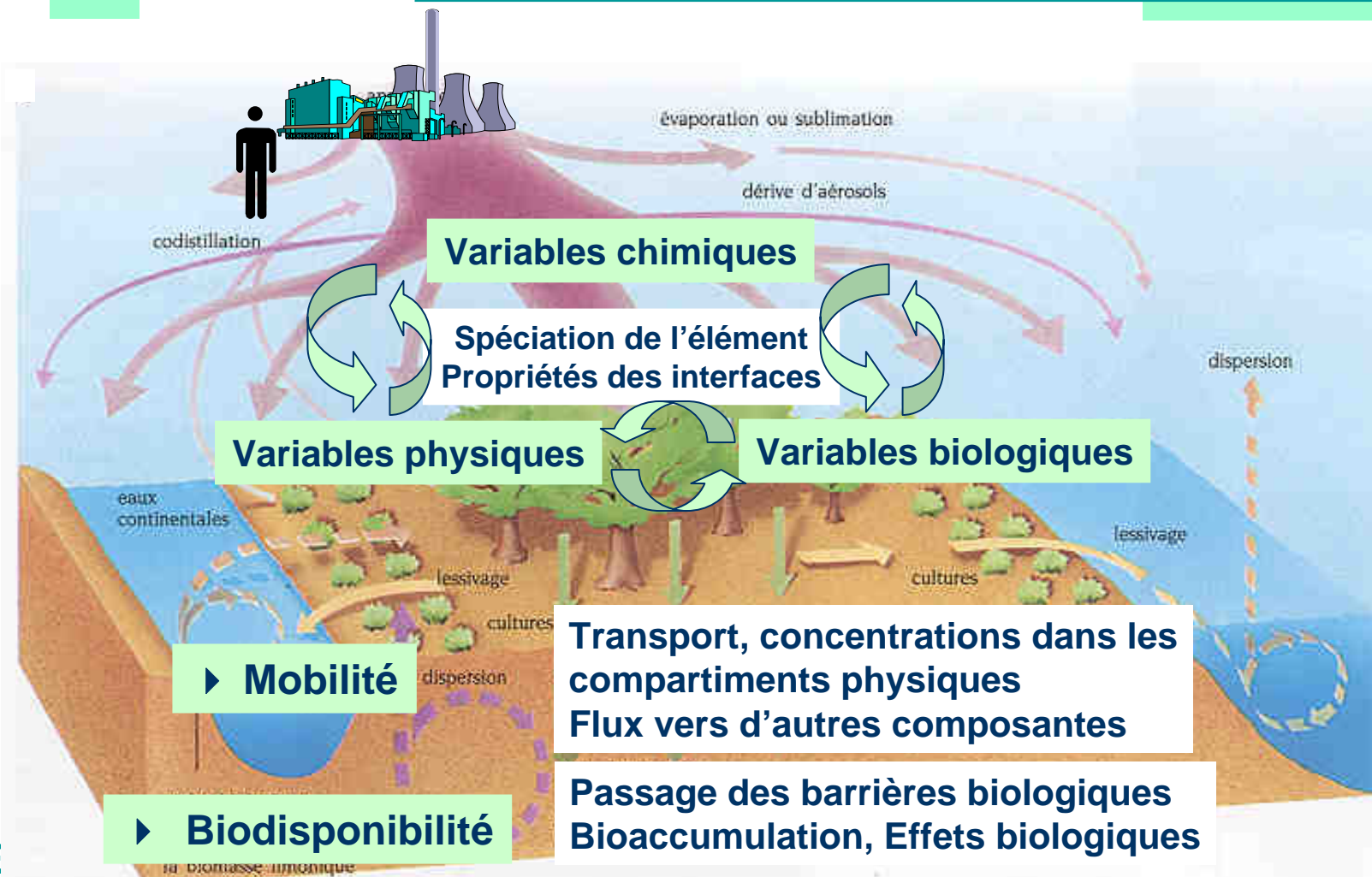
**Distribution, mobilité,
transferts aux organismes vivants
et effets biologiques**

J. Garnier-Laplace, C. Colle, P. Henner, S. Roussel-Debet, C. Adam, C. Fortin

Laboratoire de Radioécologie Expérimentale

IPSN, Cadarache

Devenir d'un élément dans la biosphère





« Fond géochimique » moyen en uranium dans la biosphère

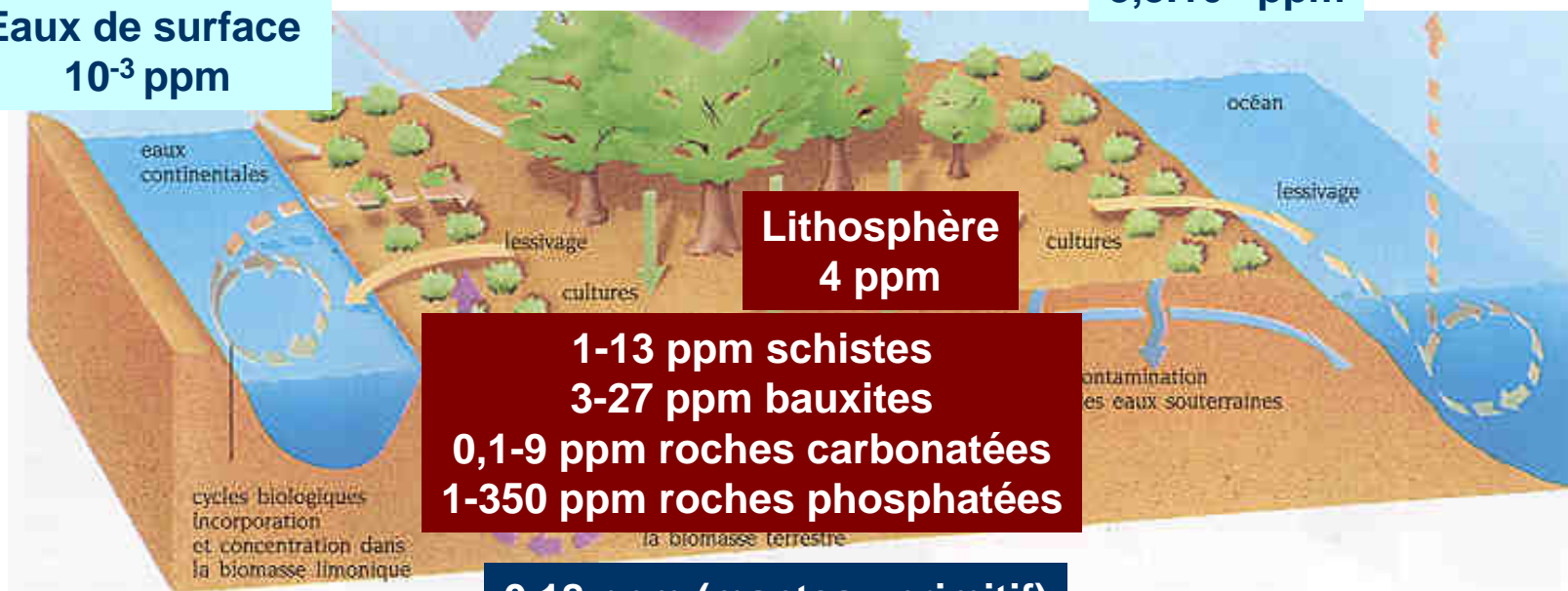
Teneur en l'absence de tout processus anthropique d'apport ou d'exportation

1 g d'U naturel : 99,274 % | U-238; 0,720% | U-235; 0,0055% | U-234
 1,2.10⁴ Bq | 580 Bq | 1,3.10⁴ Bq

Atmosphère
10⁻⁵ ppm

Océans
3,3.10⁻³ ppm

Eaux de surface
10⁻³ ppm



0,18 ppm (manteau primitif)

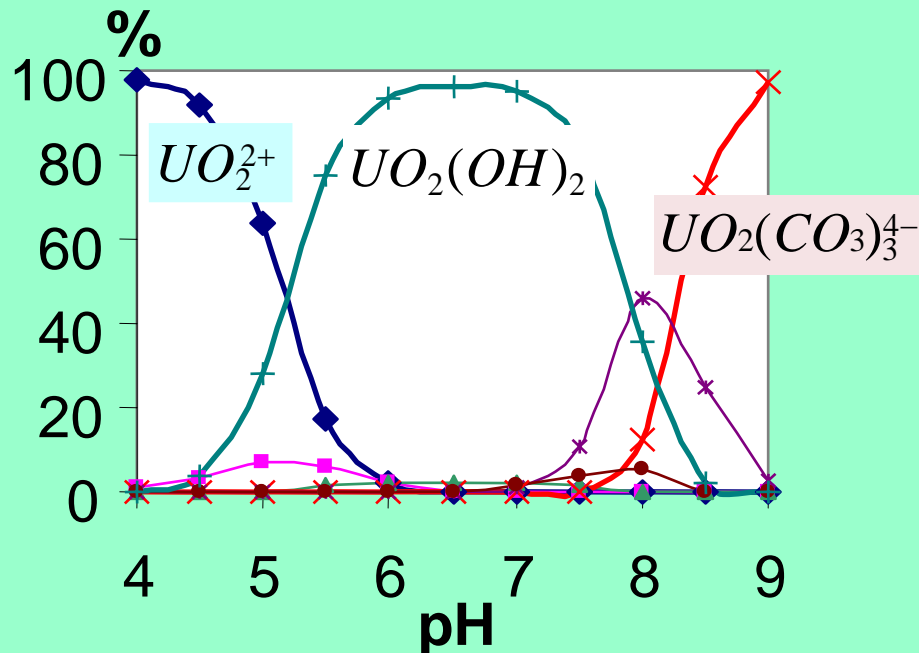
Redistribution de l'uranium dans les écosystèmes en liaison avec l'action anthropique

- **Origine exclusivement naturelle**
- **Enrichissement sols, sédiments, eaux de surface en liaison avec 4 usages principaux :**
 - **Cycle du combustible nucléaire (de la mine au stockage de déchets)**
 - **Utilisation militaire**
 - **Combustion du charbon**
 - **Usage agricole d'engrais phosphatés issus de phosphates naturels particulièrement riches en uranium**



États d'oxydation et spéciation en solution

- 2 valences principales: IV en milieu réducteur et VI en milieu oxydant
 U(VI) forme la plus soluble -> transport dans les zones à Eh élevé;
 dépôt par réduction et précipitation dans les zones à Eh faible
- Spéciation en solution: fonction (Eh-pH, [U], nature et concentration des ligands – complexation dominée par interaction avec les ligands oxygénés)



U(VI)
 H₂O en équilibre
 avec l'atmosphère
 $pCO_2 = 3,16 \cdot 10^{-4}$

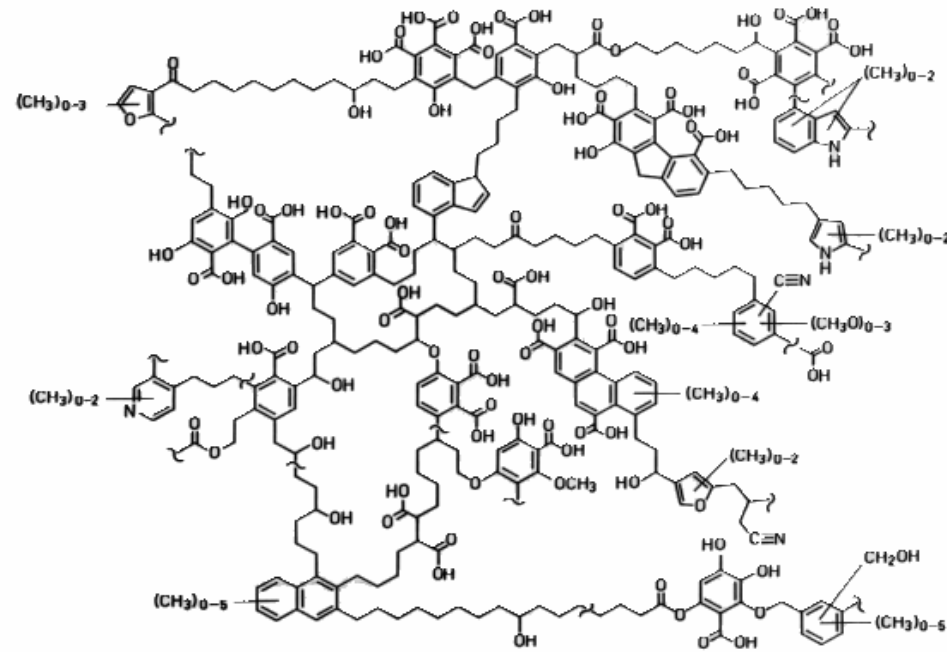


Spéciation et mobilité dans les sols (1/2)

- U(VI) sous forme d'ion UO_2^{2+} et ses complexes, est la forme la plus mobile
 U^{4+} est « chimiquement immobile »

- Principales phases porteuses (vecteurs de migration) :

- la matière organique (substances humiques – pH acide à neutre)
- les oxyhydroxydes de fer



Schulten & Schnitzer (1997)



Spéciation et mobilité dans les sols (2/2)

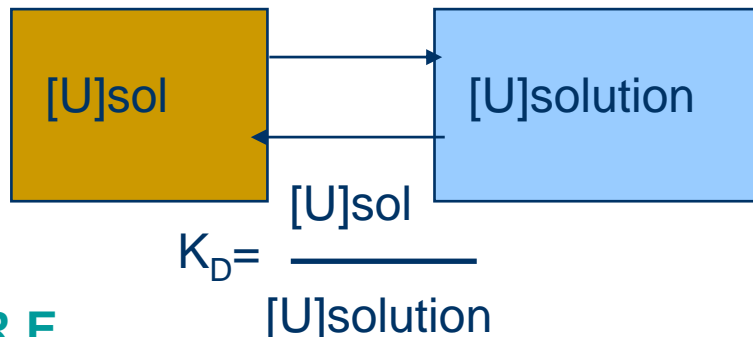
Dans les sols aérés

- peu organiques : pas de redistribution de l'uranium
- organiques : transport colloïdal (acidification du milieu)

Dans les sols saturés en eau et réducteurs

- accumulation dans les zones réduites organiques
- accumulation dans les zones oxydées de précipitation des oxyhydroxydes de fer

Coefficient de distribution à l'équilibre (l/kg sol sec)



- 33 - sols « sableux » (>70% sables)
- 400 - sols « organiques » (>30% MO)



Spéciation et mobilité dans les milieux aquatiques : colonne d'eau/sédiments

- **[U]_{total} contrôlée par la forme U(VI) dans les environnements oxydants**
mobilité liée à la fraction colloïdale (0,45µm>diamètre>3kDa).
- **>90% de l'uranium peut être associé à la fraction colloïdale en liaison :**
 - avec des colloïdes de fer
 - avec les acides humiques ou les humines
- **Diminution linéaire de cette fraction avec l'augmentation de la salinité** (en milieu estuarien, moins de 5% de [U]_{total} pour une salinité de l'ordre de 3‰).
- **Coefficient de distribution à l'équilibre (l/kg sédiment) : 20 à 1000**
- **U(IV) existe dans les aquifères confinés.**

Mécanismes microbiens influençant la mobilité de l'uranium dans les sols/sédiments

● Processus de solubilisation

- Oxydation de minerais sulfurés en milieu aérobie par des bactéries acidophiles et oxydantes du fer et du soufre
- Production d'acides et de composés complexants : dissolution de silicates, phosphates, carbonates, oxydes, sulfures

● Processus d'insolubilisation

- Réduction de U(VI) directe (bactéries) ou indirecte (Fe(III)->Fe(II)) en conditions anaérobies (bactéries ferri-réductrices et sulfato-réductrices)
- Co-précipitation avec le fer et le soufre
- Biosorption-Bioaccumulation

Spéciation, transfert et toxicité chez les plantes supérieures

● $[U]_{\text{plante}}$ fortement
corrélé à $[U]_{\text{sol}}$
0,05 $\mu\text{g/g}$ frais

● Toxicité aiguë

Zones très uranifères
(25 g/kg sol sableux) :

Chez certaines espèces
pigmentation,
croissance, biomasse

Plantes agronomiques :
germination non affectée 1g/kg



Transfert par la voie foliaire
(dépôt et/ou resuspension)

aucune donnée

Transfert par la voie racinaire

$F_{t_{\text{sol-plante}}} : 10^{-3} - 10^{-2}$ (poids sec)
Max pour les légumes racines

Racine > Tige-feuille > Graines-fruits

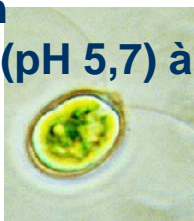
Prélèvement et translocation
préférentielle à pH 5
Acide citrique : X1000 pour diverses
espèces en raison de la diminution
du pH

AIEA, 1994; Colle *et al.*, 2001

Spéciation, transfert et toxicité chez les organismes d'eau douce

- **Données de toxicité aiguë** (nitrate d'uranyle)
f(espèce,pH, alcalinité,MOD,paramètre testé)

EC50 à 72h
de 78 µg/l (pH 5,7) à 44 µg/l (pH 6,5)



CL50 à 48 h
0,4 à 74 mg/l



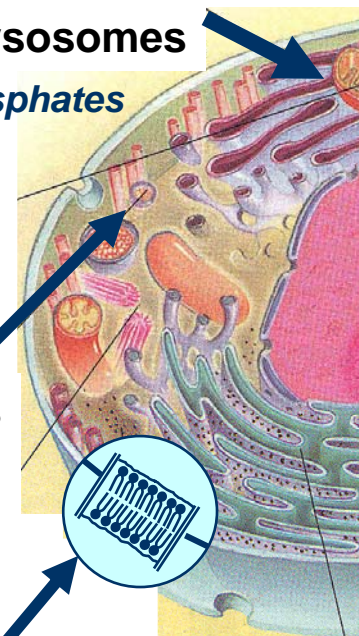
CL50 à 96 h
2 à 133 mg/l



- **Localisation et effets au niveau cellulaire**

Production de lysosomes
granules de phosphates

Altérations des membranes
induisant un relargage
d'enzymes protéolytiques

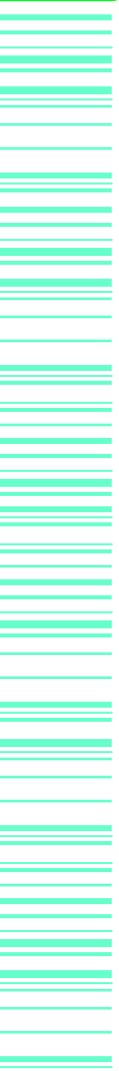
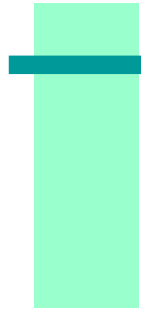


Stress oxydant
Péroxydation lipidique



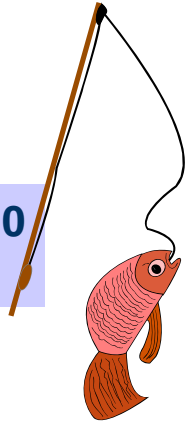
Quelles questions restent posées ?

- **Impact sur les organismes vivants pour des expositions chroniques**
 - **devenir à long terme dans les écosystèmes -**
 - **Quelle fraction de l'U est susceptible de migrer dans les sols et les systèmes aquatiques ? Avec quelle cinétique ?**
 - **Quelles formes de l'uranium sont susceptibles d'être incorporées dans les chaînes trophiques ?**
 - **Quels sont les liens entre l'U bioaccumulé et les effets biologiques ? (comportement, aptitude à la reproduction, croissance...)**
 - **Quelle est l'influence de la présence simultanée d'autres catégories de polluants (toxiques chimiques)?**



Chaîne alimentaire

FCpoisson = 2 à 20
l/kg frais

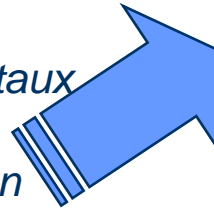


Inhalation : 1 ng/j
Ingestion : 2 µg/j



Transformations agro-alimentaires = ??

*Produits végétaux
et animaux >>
eau de boisson*



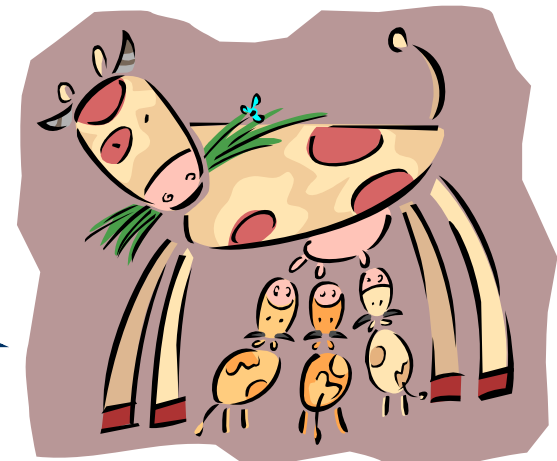
FTfoliaire = ??



FTracinaire
0,001 - 0,01
(herbe, légumes racines)
kg sol sec/kg végétal frais



*Végétaux
Eau
sol*

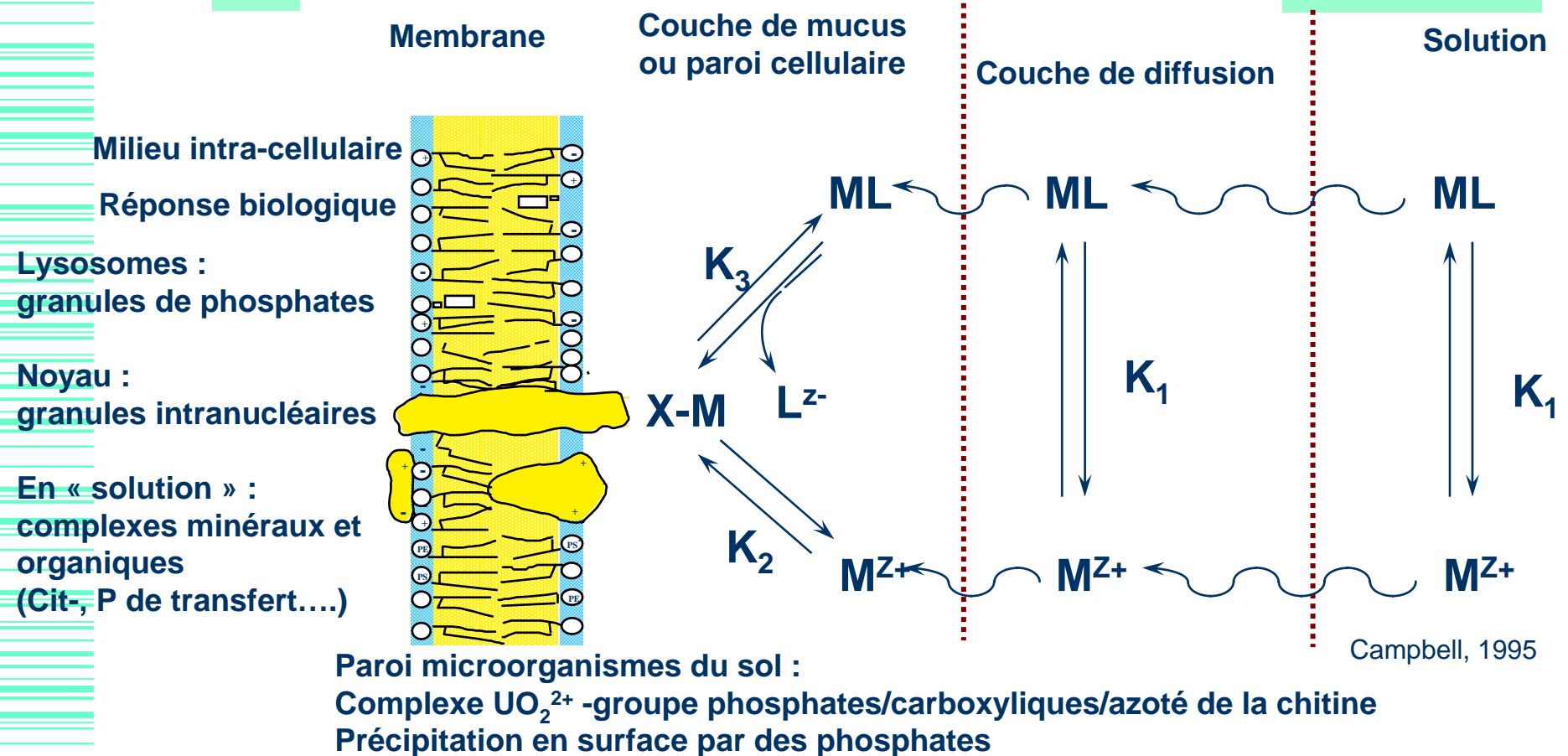


Kd
12 – 400
limoneux, organiques
l/kg sec

Ft
Lait de vache : 0,0004 j/l
Viande bovins : 0,0004 j/kg
Volaille : 1 j/kg



Spéciation et transfert aux organismes vivants : interactions métal-organisme



La réponse biologique est proportionnelle à la concentration de l'ion libre en solution