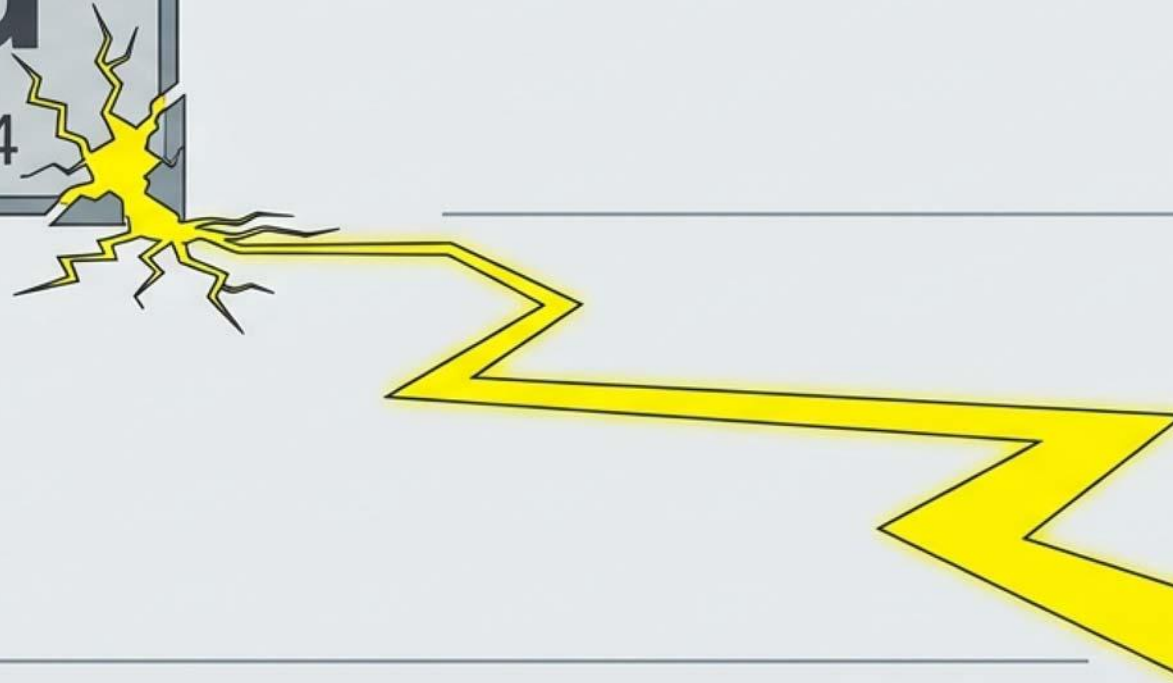
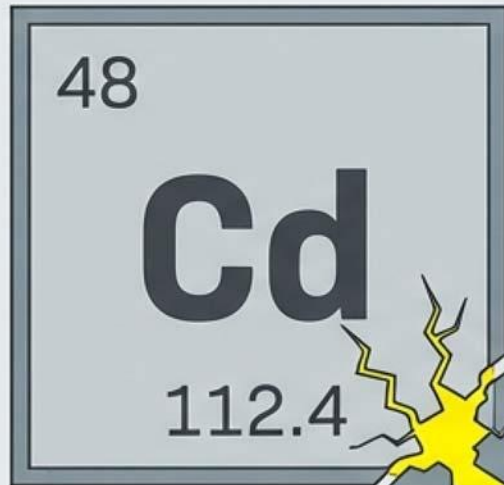


# Dossier Cadmium : De l'Industrie à la Cellule

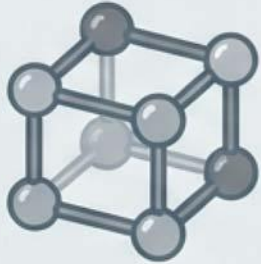
Audit environnemental et sanitaire d'un métal lourd : Cycle biogéochimique, vecteurs d'exposition et solutions d'atténuation.



# PROFIL D'UN CONTAMINANT PERSISTANT

Le cadmium (Cd) est un métal de transition blanc-bleuâtre, sous-produit industriel de l'extraction du zinc. Ses propriétés physico-chimiques, proches de celles du calcium, lui confèrent une capacité redoutable : traverser aisément les barrières biologiques.

## PROPRIÉTÉS PHYSIQUES



Métal mou, malléable, résistant à la corrosion (grâce à sa couche d'oxyde).

## SPÉCIATION



Existe sous forme dissoute, colloïdale et particulaire.

## DANGÉROSITÉ



**Classé cancérogène certain (Groupe 1)** par le CIRC.

Aucun rôle biologique naturel.

# LES RACINES INDUSTRIELLES DU CADMIUM

La quasi-totalité du cadmium extrait est disséminée dans l'environnement à travers ses applications industrielles. Seulement moins de 5 % est recyclé.



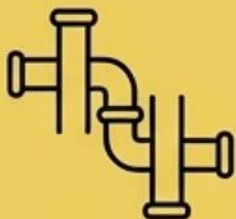
## Traitements de surface (35 %)

Électroplacage anticorrosion  
(aéronautique, automobile)



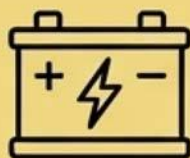
## Pigments (25 %)

Colorants jaunes, rouges et bruns  
pour plastiques, céramiques  
et peintures



## Stabilisants (15 %)

Agents de longévité  
pour le PVC



## Accumulateurs (15 %)

Piles rechargeables  
Nickel-Cadmium (Ni-Cd)

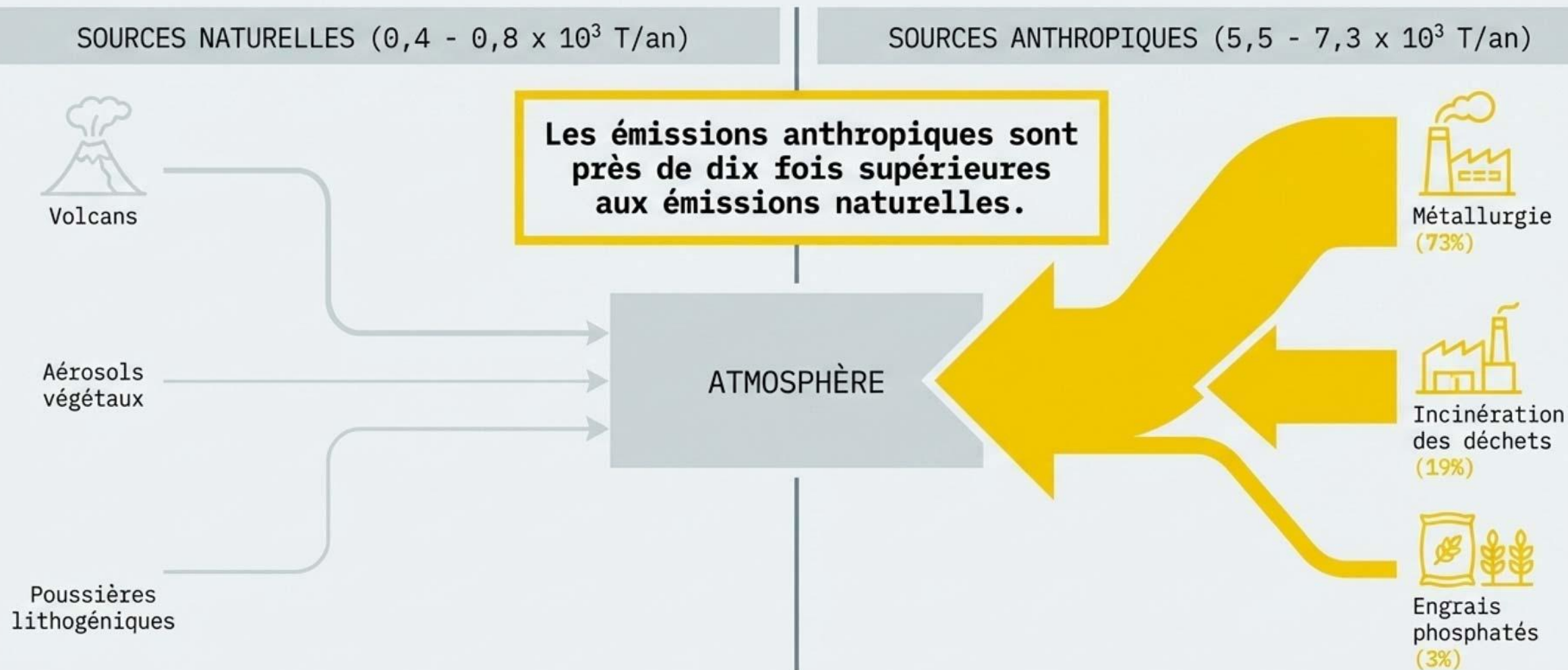


## Divers (10 %)

Alliages, industrie nucléaire  
(absorbeur de neutrons),  
cellules photovoltaïques

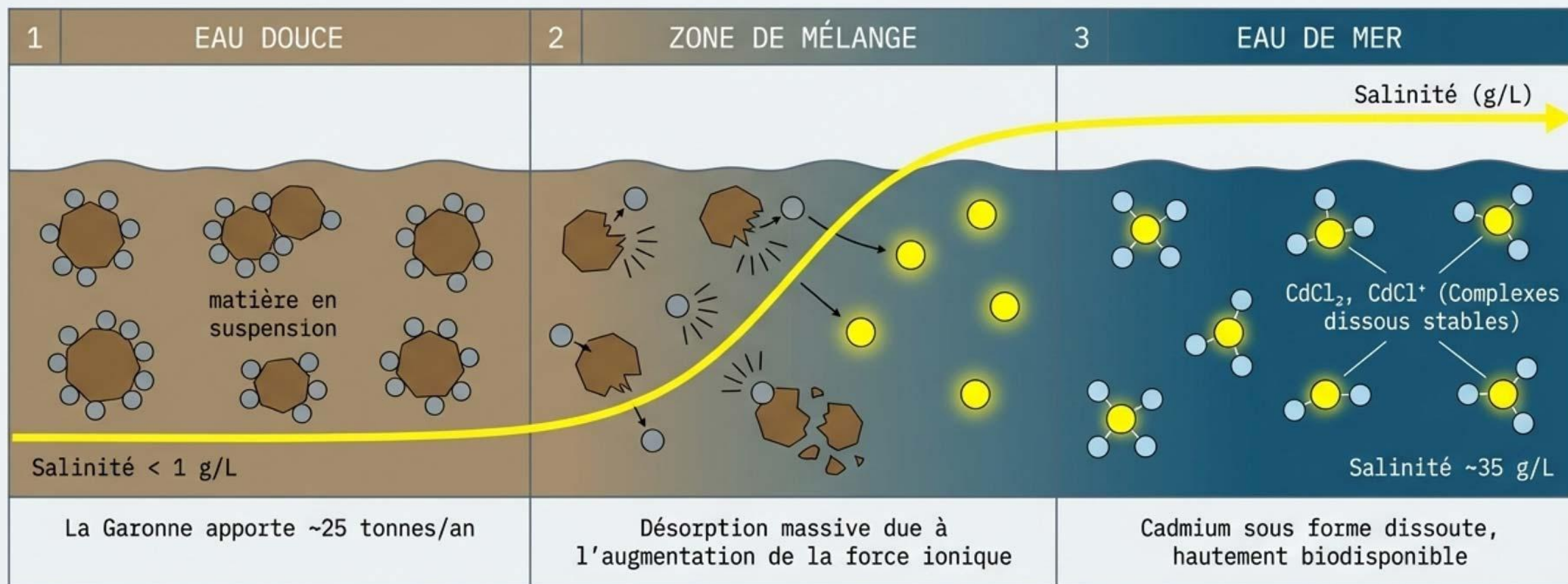
# LE DÉSÉQUILIBRE GÉOCHIMIQUE GLOBAL

L'activité humaine a profondément modifié le cycle biogéochimique du cadmium. Les émissions anthropiques vers la troposphère supplantent massivement les sources naturelles.



# L'INTERFACE ESTUARIENNE : LE CHOC SALIN

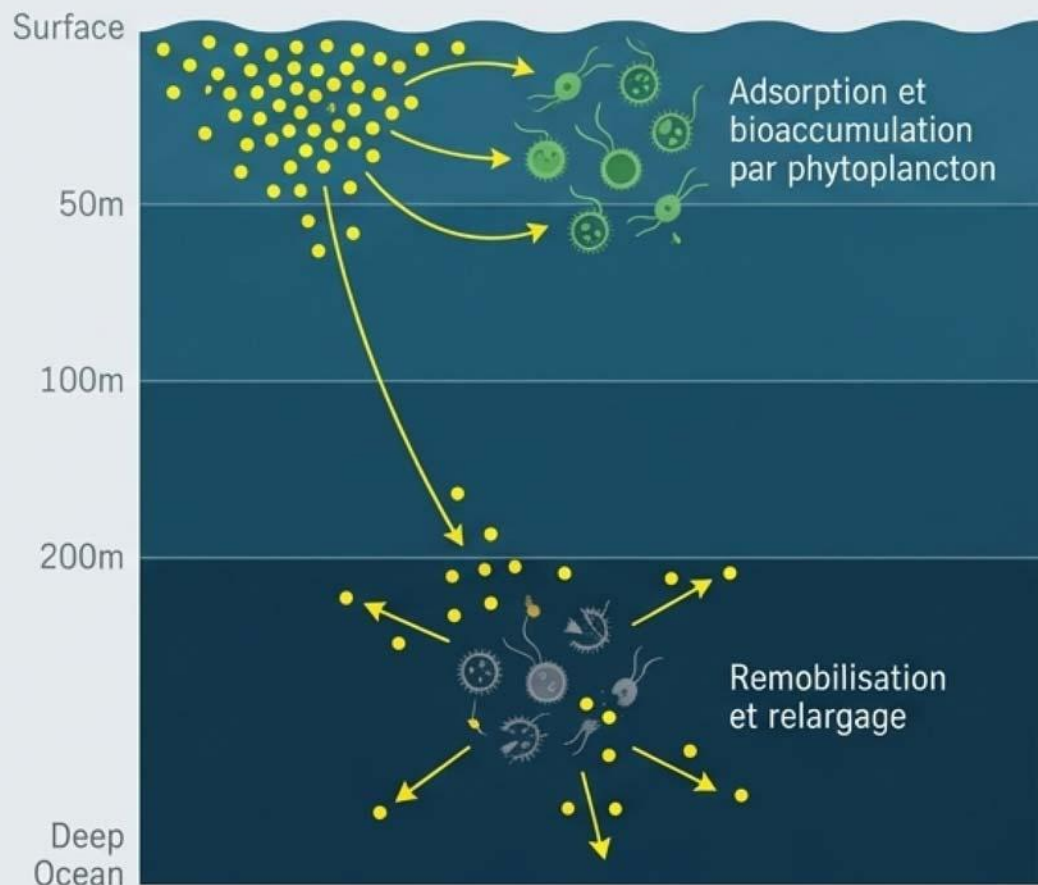
À la rencontre des eaux douces et de l'océan, les forts gradients physicochimiques provoquent une désorption massive. Le cadmium lié aux particules en suspension est relâché sous forme dissoute, hautement toxique.



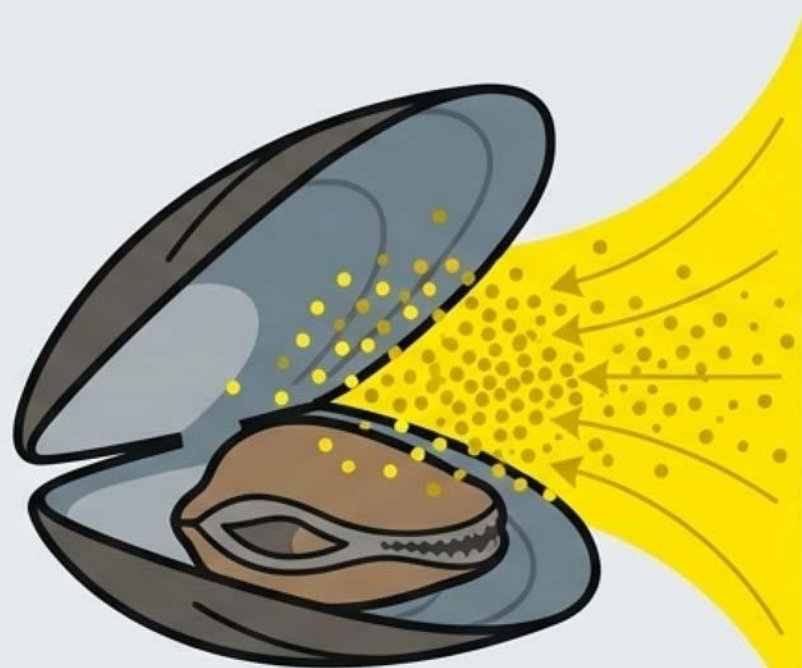
# L'OCÉAN ET LES SENTINELLES BIOLOGIQUES

En milieu marin, le cadmium est rapidement adsorbé par le phytoplancton. Il s'accumule de manière spectaculaire chez certains organismes, faisant des mollusques d'excellents bio-indicateurs de la pollution littorale.

## LA COLONNE D'EAU



## LE FACTEUR DE BIOCONCENTRATION



*Mytilus edulis*

Facteur de concentration :

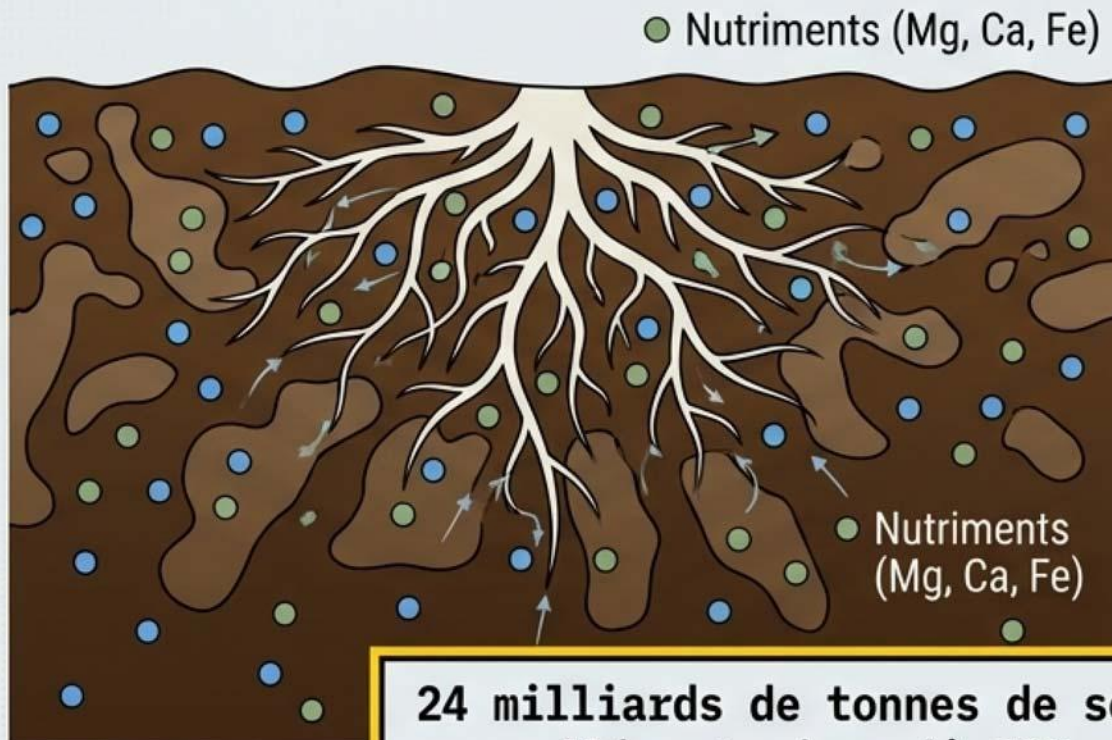
**100 à  
100 000**

Concentrations maximales atteignant **2,6 µg/g** sur les côtes polluées.

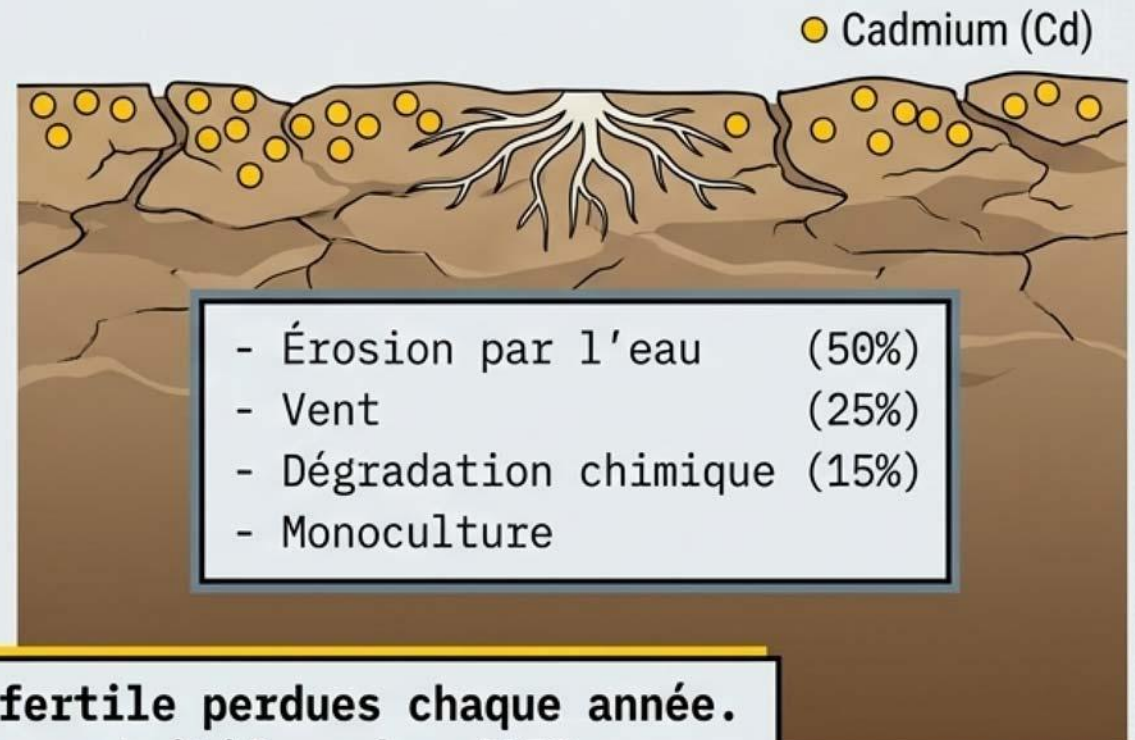
# LA DÉGRADATION DES SOLS : L'ÉPONGE ASSÉCHÉE

Un sol sain fonctionne comme une éponge retenant l'eau et les nutriments. Aujourd'hui, plus d'un quart des sols mondiaux sont dégradés, perdant leur capacité à nourrir les plantes et à filtrer les contaminants.

## SOL SAIN (L'ÉPONGE INTACTE)



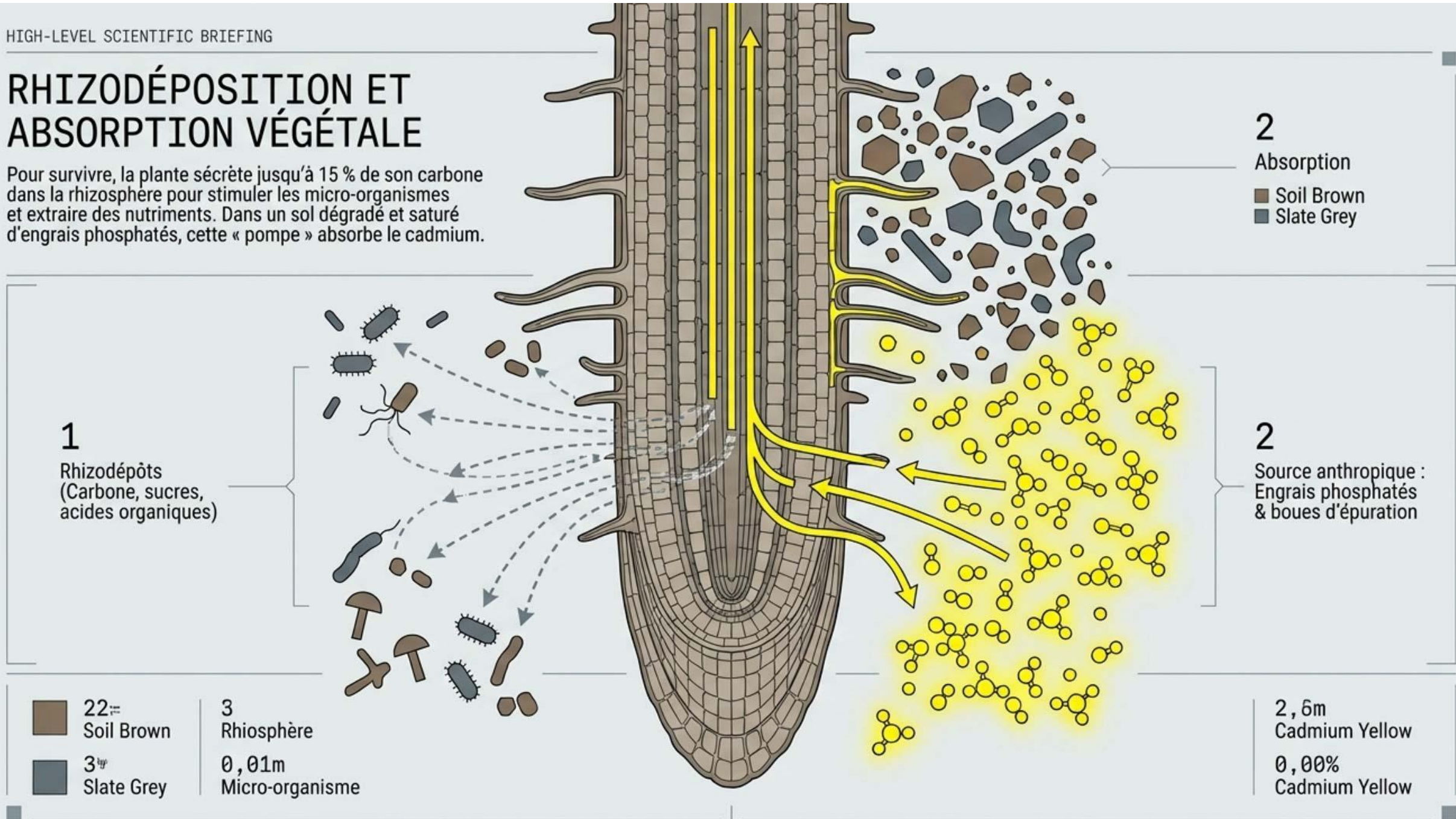
## SOL DÉGRADÉ (L'ÉPONGE PRESSÉE)



**24 milliards de tonnes de sol fertile perdues chaque année.  
Aliments jusqu'à 38% moins nutritifs qu'en 1950.**

# RHIZODÉPOSITION ET ABSORPTION VÉGÉTALE

Pour survivre, la plante sécrète jusqu'à 15 % de son carbone dans la rhizosphère pour stimuler les micro-organismes et extraire des nutriments. Dans un sol dégradé et saturé d'engrais phosphatés, cette « pompe » absorbe le cadmium.



# L'ASSIETTE CONTAMINÉE : VECTEUR PRINCIPAL

L'ingestion d'aliments contaminés constitue la voie d'exposition majoritaire au cadmium pour la population générale non-fumeuse.

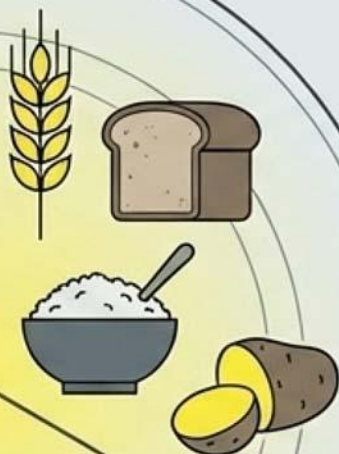
## VÉGÉTAUX À FEUILLAGE VERT

Cd avg: 0.05 mg/kg



## CÉRÉALES & FÉCULENTS

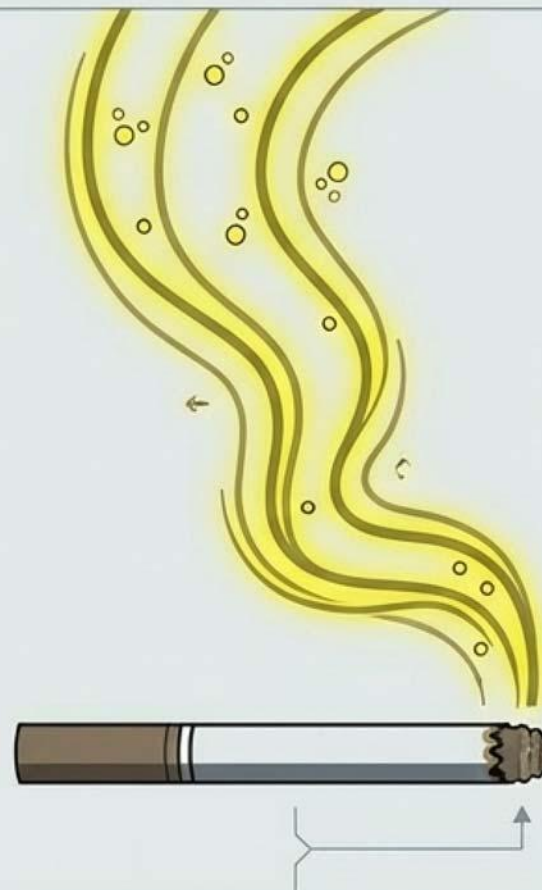
Cd avg: 0.03 mg/kg



## PRODUITS DE LA MER

(Liés à la bioconcentration estuarienne)

Cd avg: 0.50 mg/kg





**TABAC** : Le tabagisme double l'exposition.

1 cigarette = ~2 µg de cadmium inhalé directement dans les alvéoles.

# MATRICE DIAGNOSTIQUE : LES VOIES D'EXPOSITION

Les mécanismes physiologiques et les risques pathologiques diffèrent radicalement selon le milieu d'exposition.

 POPULATION GÉNÉRALE		 MILIEU PROFESSIONNEL	
VOIE PRINCIPALE	Ingestion (Alimentation, Eau)	VOIE PRINCIPALE	Inhalation
SOURCE	Engrais phosphatés, retombées atmosphériques sur les cultures.	SOURCE	Fumées, poussières d'usines (Métallurgie, Pigments, Accumulateurs).
RISQUES ASSOCIÉS	Cancers hormonodépendants (Sein, Prostate, Endomètre), atteinte rénale, fragilité osseuse.	RISQUES ASSOCIÉS	Cancer des voies respiratoires (Poumons). Reconnu comme maladie professionnelle.

# SYNTHÈSE : LE CYCLE DE CONTAMINATION

De l'usine à la cellule : comment l'altération des systèmes terrestres et marins concentre la toxicité industrielle au sommet de la chaîne alimentaire.

## 1. EXTRACTION & INDUSTRIE



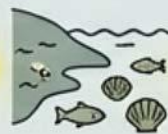
Émissions de poussières (Air)  
et d'effluents (Eau).

Air

Eau

## 2. DISPERSION ENVIRONNEMENTALE

Mer



Fleuves → Estuaires (Désorption) → Moules/Crustacés.

Terre



Engrais phosphatés → Sols dégradés → Rhizodéposition → Cultures.

## 4. TOXICITÉ HUMAINE



Accumulation tissulaire (Reins, Os)  
et Mutagenèse cellulaire (Cancers).

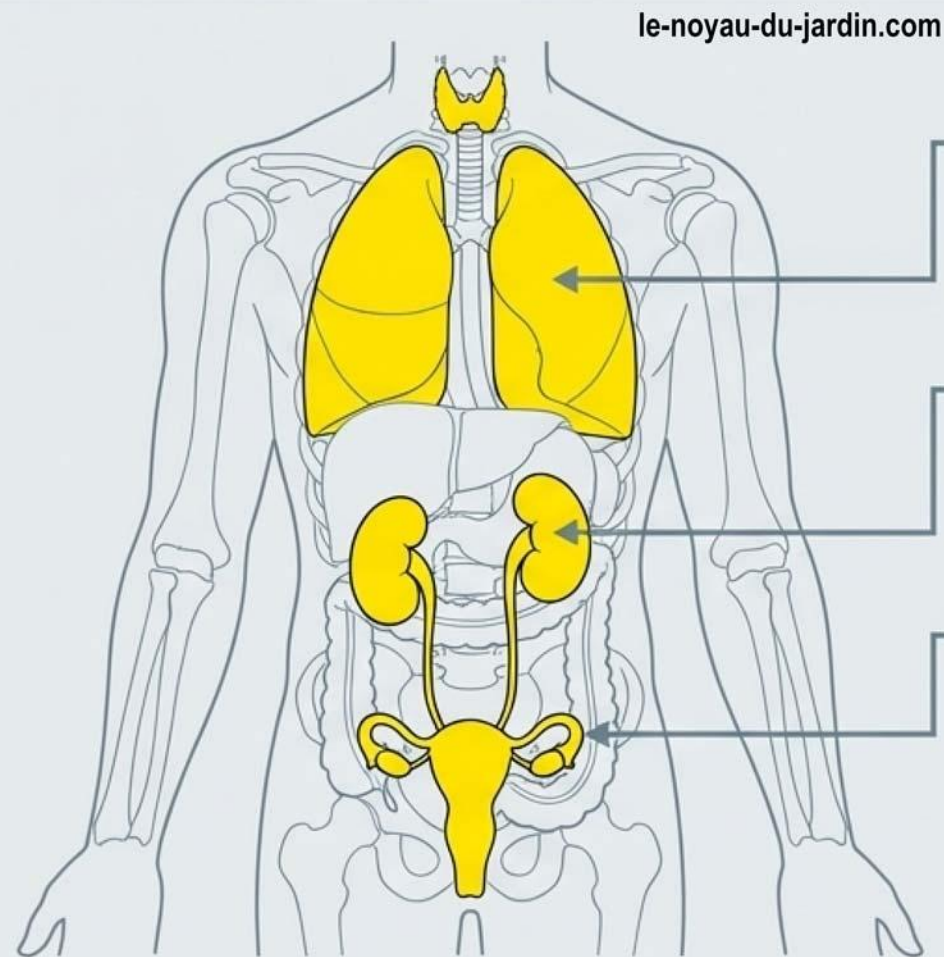
## 3. BIO-INTÉGRATION



L'Assiette (Alimentation) + Le Tabac.

# TOXICITÉ CELLULAIRE ET ONCOLOGIE

Le cadmium est un perturbateur systémique sévère. Ses propriétés chimiques lui permettent de s'accumuler dans les tissus humains de manière prolongée, provoquant des dommages irréversibles.



## APPAREIL RESPIRATOIRE (POUMONS)

Classé Cancérogène Groupe 1 (CIRC).  
Lien direct avec l'inhalation en milieu professionnel.

## SYSTÈME RÉNAL & OSSEUX

Atteinte rénale chronique et fragilisation de la structure osseuse (le cadmium imite le calcium et prend sa place).

## SYSTÈME ENDOCRINIEN

Cancers hormonodépendants suspectés ou avérés par exposition orale (Prostate, Sein, Endomètre, Thyroïde).

**DOSE HEBDOMADAIRE TOLÉRABLE (EFSA) :**  
**2,5 µg/kg DE POIDS CORPOREL.**

# LES BOUCLERS RÉGLEMENTAIRES

Face à la toxicité systémique du cadmium, les autorités sanitaires (OMS, Europe, France) ont établi des seuils de tolérance stricts pour freiner sa dispersion.

## L'EAU POTABLE



Maximum limit redline :

**3 à 5  $\mu\text{g/L}$**

Limite stricte pour l'eau destinée à la consommation.

## L'AIR (SANTÉ PUBLIQUE)



Maximum limit redline :

**0,003  $\text{mg/L}$**

Valeur guide établie par l'OMS.

## MILIEU PROFESSIONNEL (VLEP)



Maximum limit redline :

**0,05  $\text{mg/m}^3$**

Pour une exposition chronique de 8h/jour (Poussières et fumées).

## REJETS INDUSTRIELS (FRANCE)

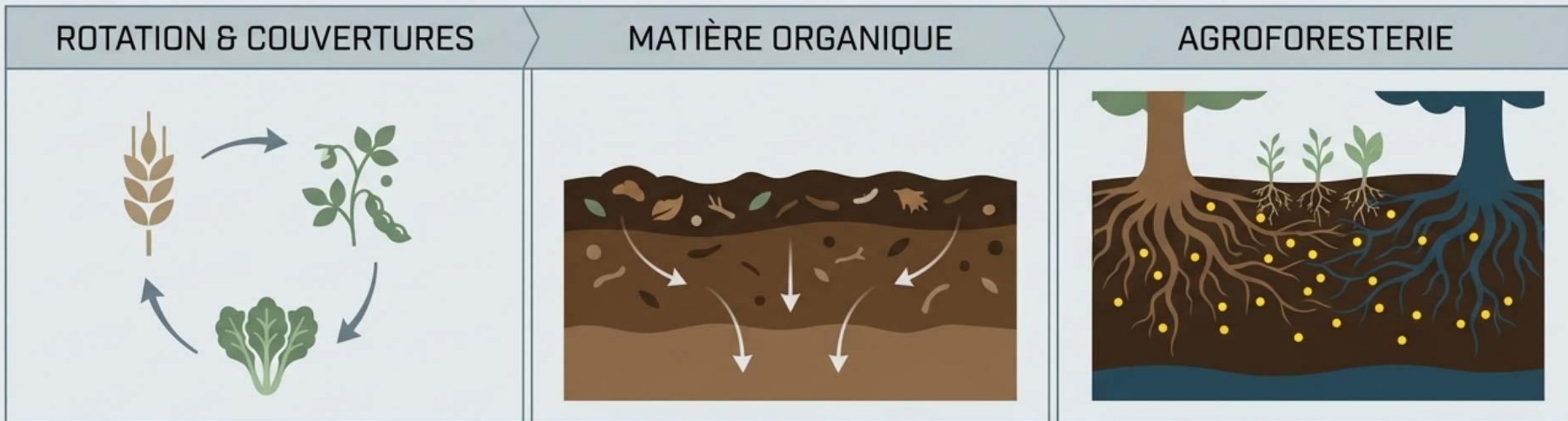


**-50% à -85%**

Objectifs de réduction drastique inscrits dans le Plan National Santé Environnement.

# LA RÉGÉNÉRATION COMME SOLUTION SYSTÉMIQUE

Sauver notre alimentation exige de réparer nos sols. L'agriculture régénératrice recrée l'effet « éponge », réduisant l'érosion et limitant l'absorption des métaux lourds par les cultures.



Apportent une alimentation équilibrée au sol, limitant l'érosion et l'épuisement.

Augmente le carbone organique de 78% en 6 ans, revitalisant l'écosystème bactérien.

Les arbres retiennent l'humidité et créent un filtre naturel qui dilue les contaminants.

**RESTAURER LA SANTÉ DU SOL, C'EST BLOQUER LE VECTEUR PRINCIPAL DU CADMIUM VERS LA POPULATION.**