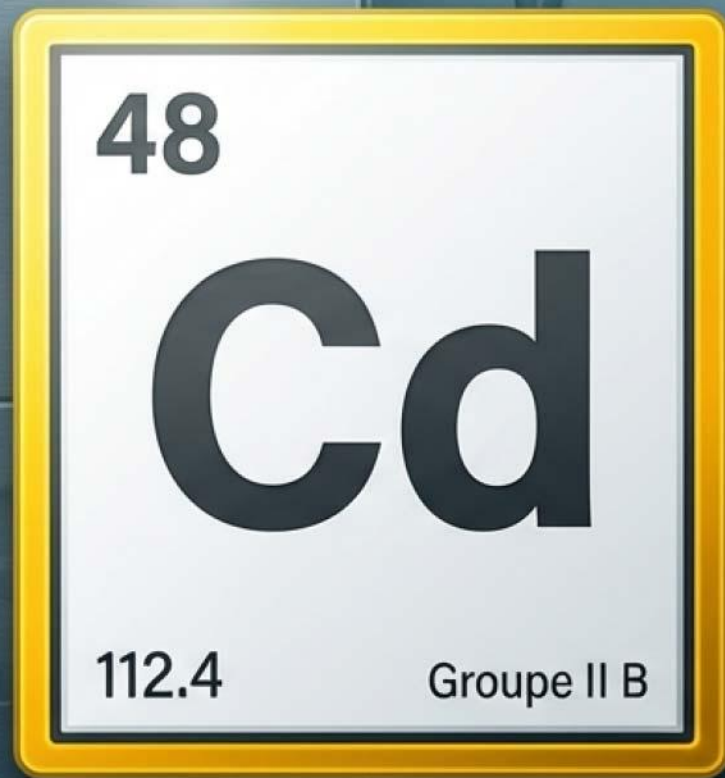




Cadmium : De l'Industrie à l'Organisme

Biogéochimie, écotoxicologie et impacts sur la santé humaine.

Un voyage visuel à travers le cycle d'un toxique environnemental.



Le Paradoxe du Cadmium

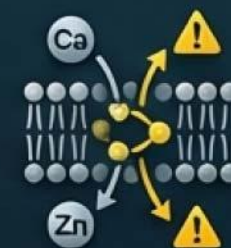
L'Atout Industriel



Métal blanchâtre, mou, ductile. Forme une couche d'oxyde protectrice hautement résistante à la corrosion.

Le Fardeau Biologique

Ne forme aucune liaison stable avec le carbone. Ses propriétés chimiques, proches de celles du zinc et du calcium, lui permettent de tromper et de traverser les barrières biologiques.



L'Empreinte Industrielle

Traitements de surface (35%)

Placage anti-corrosion (aéronautique, automobile)



Pigments (25%)

Plastiques, céramiques, peintures (Jaune d'or au brun)



Le Défaut de Boucle :
Moins de 5 % du cadmium consommé est recyclé. En conséquence, 95 % du cadmium extrait est inéluctablement destiné à être disséminé dans l'environnement.

Accumulateurs (15%)

Piles rechargeables Ni-Cd



Stabilisants PVC (15%)

Agent de longévité et de plasticité



Un Cycle Naturel Bouleversé

Émissions Naturelles
0.4 à 0.8 x 10³ Tonnes/an
Principalement issues du
volcanisme et de l'érosion
lithosphérique.



Émissions Anthropiques
3.1 à 12.0 x 10⁵ Tonnes/an
Métallurgie (73%), incinération des
déchets (19%), engrais (3%).

L'activité humaine émet jusqu'à **10 fois plus de cadmium** dans la troposphère que toutes les sources naturelles combinées, créant un déséquilibre mondial massif.

Les Vecteurs de Dispersion



Voie Atmosphérique

Rejets industriels sous forme de très fines particules d'aérosol.
(Ex: 10 à 85 Tonnes/an en France).
Retombées directes sur les sols et l'océan.

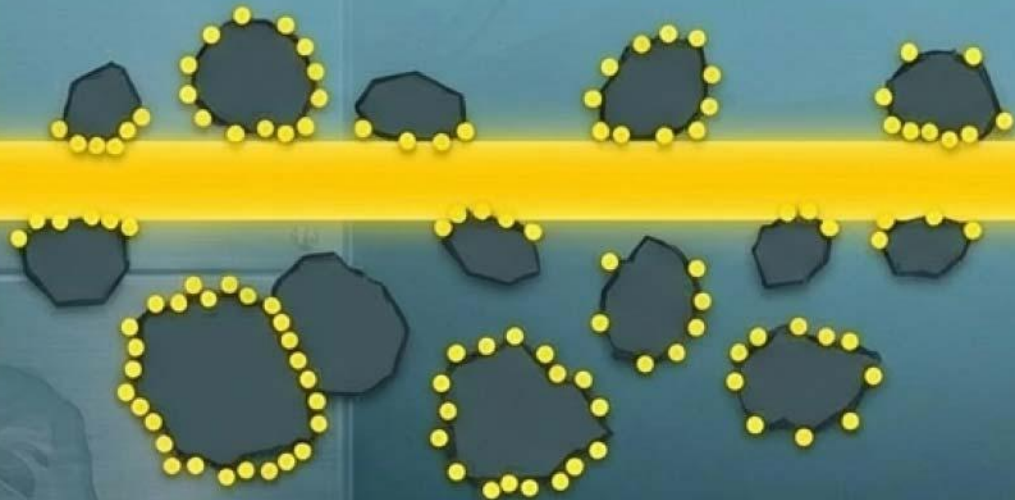
Voie Fluviale

Lessivage des terres agricoles contaminées par les engrais phosphatés et rejets industriels (phosphogypses).

Chiffre Clé : Les fleuves français drainent environ 50 Tonnes de cadmium par an vers l'océan (la Garonne seule en apporte près de la moitié).

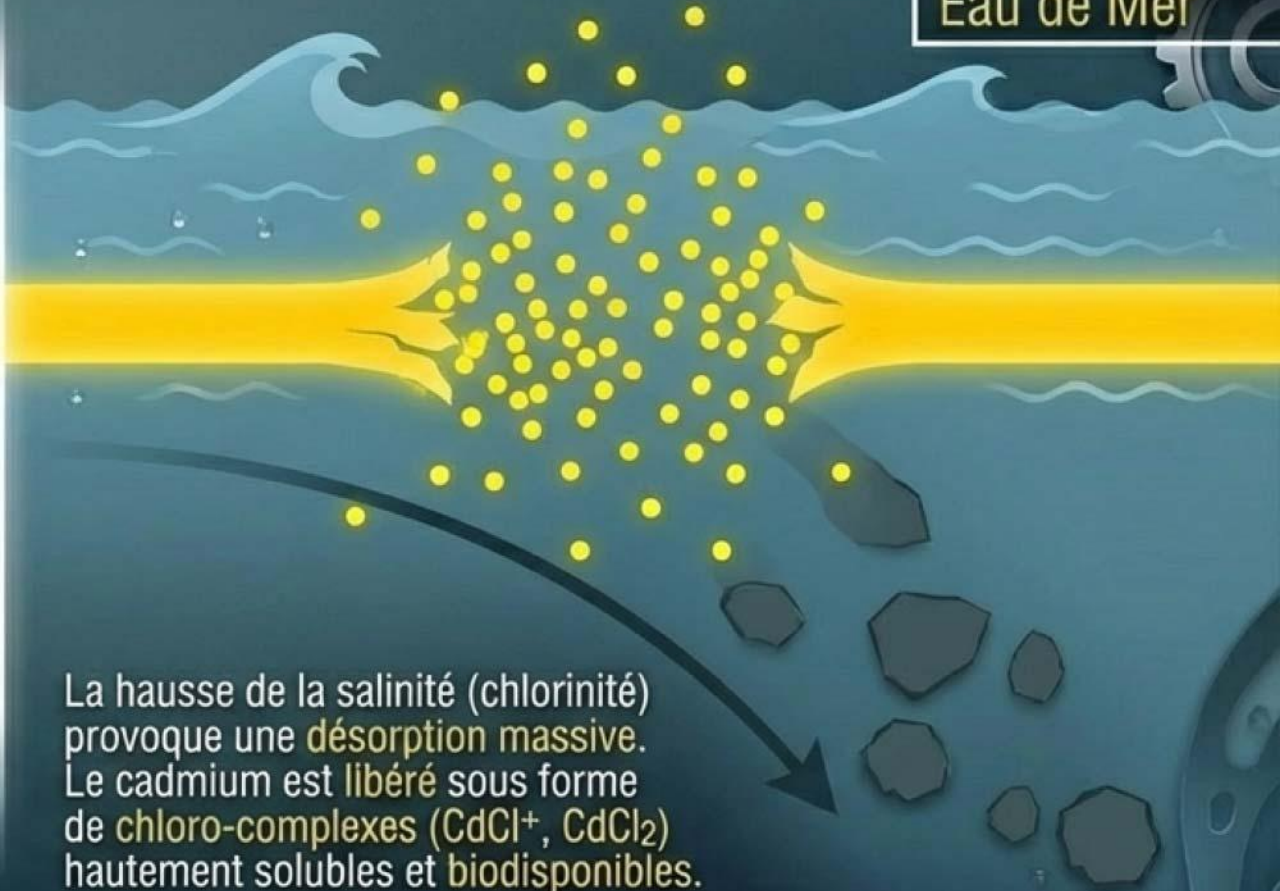
Le Choc Estuarien : Un Changement de Phase

Eau Douce



Le cadmium est **adsorbé** sur des particules et des colloïdes (matières humiques, argiles). Il est physiquement lié et **inerte**.

Eau de Mer



La hausse de la salinité (chlorinité) provoque une **désorption massive**. Le cadmium est **libéré** sous forme de **chloro-complexes** (CdCl^+ , CdCl_2) hautement solubles et biodisponibles.

Takeaway : Les estuaires (Gironde, Baie de Seine) agissent comme des réacteurs chimiques, transformant des boues en **zones toxiques** hautement réactives.

L'Océan comme Réceptacle

Surface (Zone Euphotique)

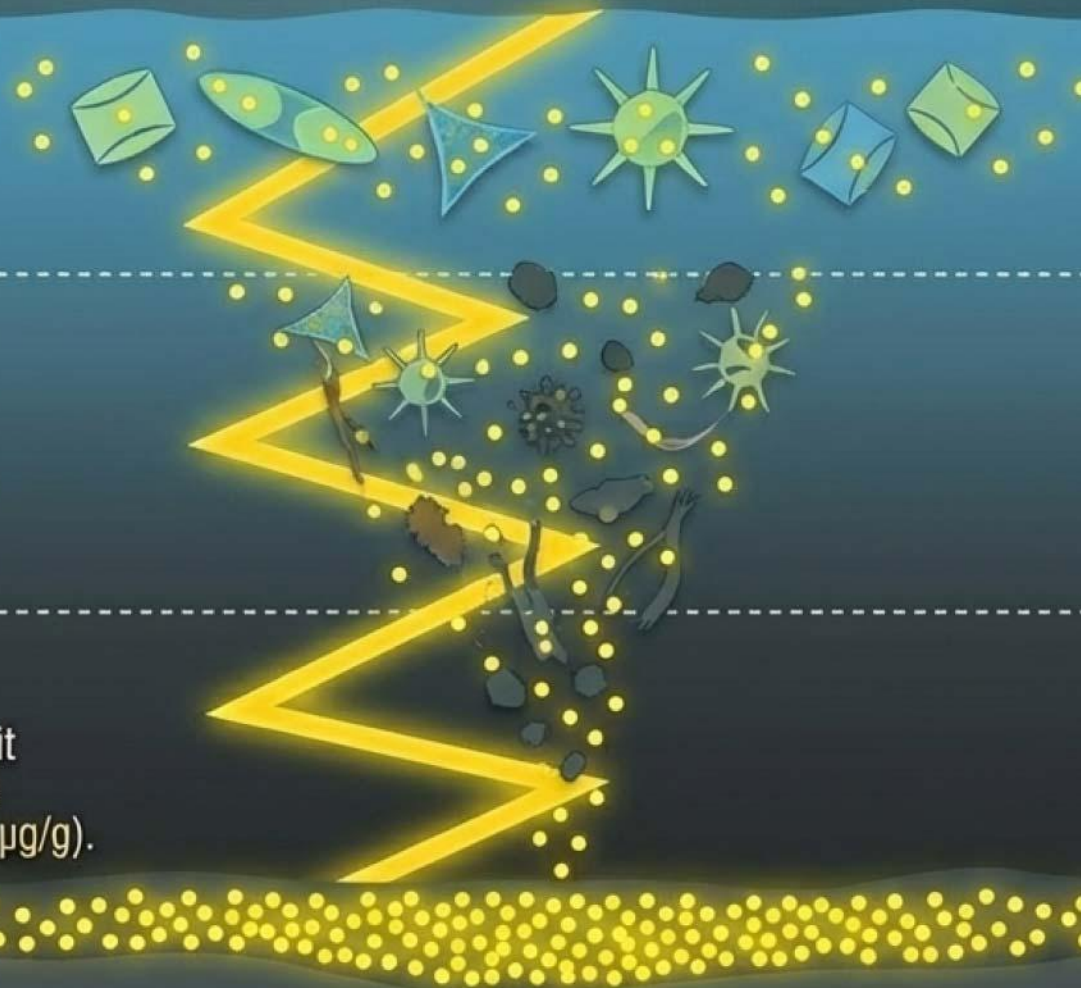
Le phytoplancton absorbe le cadmium dissous, le confondant parfois avec des nutriments essentiels.

La Colonne d'Eau

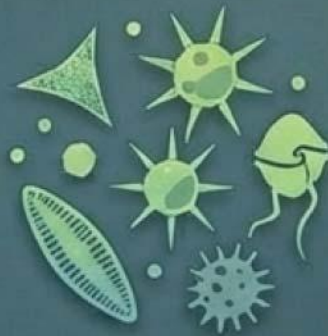
À la mort des organismes, la matière organique se dégrade, entraînant le cadmium vers les fonds marins (neige marine).

Le Sédiment (Mémoire Toxique)

La diagenèse précoce à l'interface eau-sédiment enfouit le métal. Les sédiments marins conservent l'empreinte historique de l'ère industrielle (teneur moyenne de $0.2 \mu\text{g/g}$).



Bioconcentration Marine



x100 000



Mécanisme

Contrairement à d'autres métaux, le cadmium ne subit pas de biomagnification systématique le long de la chaîne alimentaire supérieure.

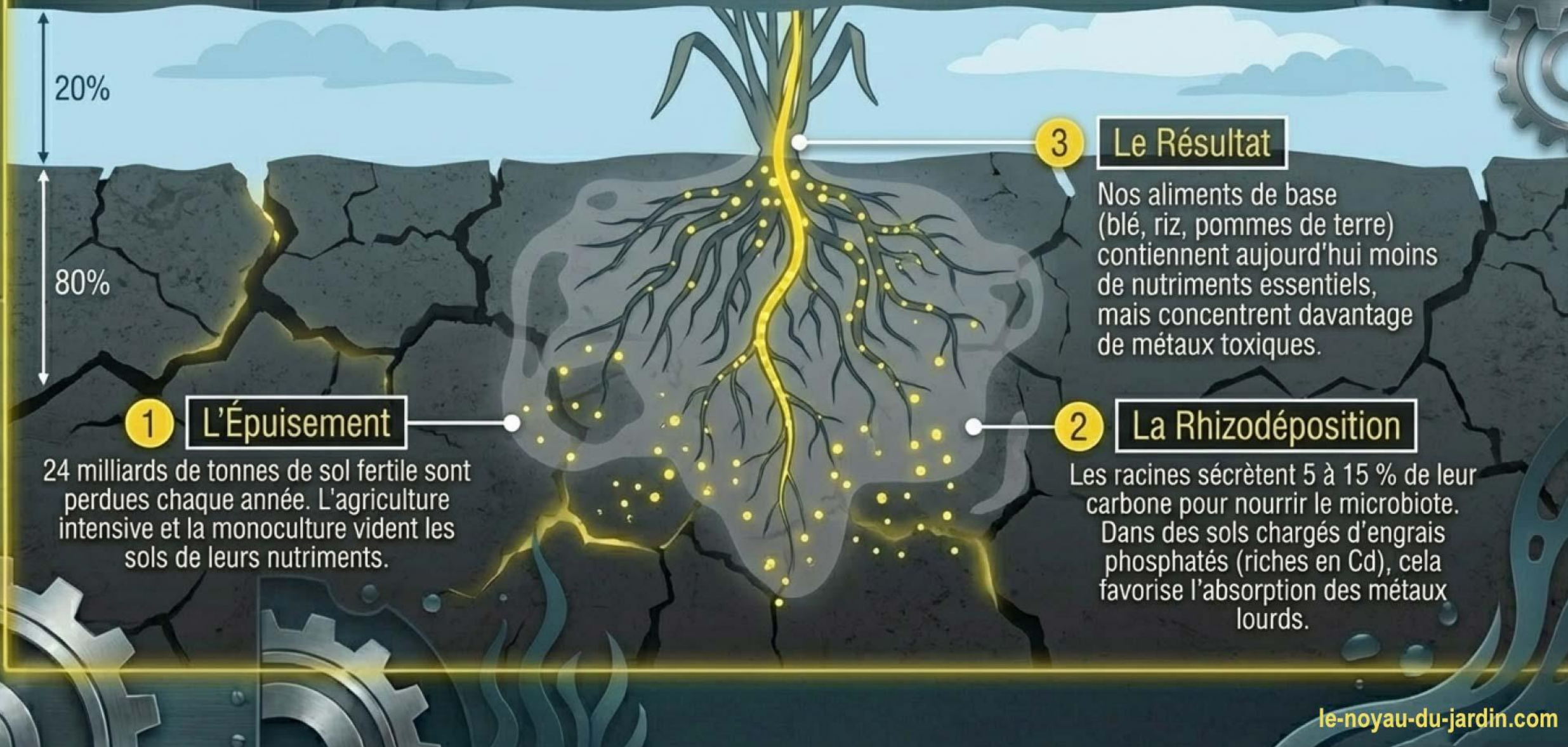
Le Danger à la Base

Il s'accumule massivement au premier échelon. Le facteur de concentration de l'eau vers les mollusques et le phytoplancton peut atteindre 100 000 à 1.

Bio-indicateurs

Les moules (*Mytilus edulis*) sont de tels aspirateurs à cadmium qu'elles servent d'outil de mesure officiel (0.5 à 2.6 $\mu\text{g/g}$ de poids sec sur les côtes européennes).

La Dégradation des Sols et l'Assiette

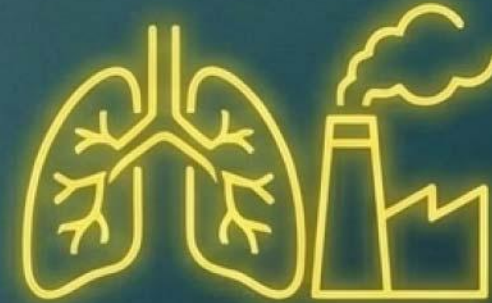


Matrice d'Exposition Humaine



Voie Orale (Population Générale)

- **Source** : Aliments (pains, pommes de terre, mollusques, salades) et eau de boisson.
- **Mécanisme** : Ingestion continue à faibles doses.
- **Seuil de Tolérance (EFSA)** : 2.5 μg par kilo de poids corporel par semaine.



Voie Respiratoire (Professionnels & Fumeurs)

- **Source** : Poussières industrielles (métallurgie, batteries), fumée de tabac.
- **Mécanisme** : Pénétration directe et dépôt profond dans les alvéoles pulmonaires.
- **Charge Toxique** : Une seule cigarette contient environ 2 μg de cadmium.

Cartographie de la Toxicité (Cancérogène Groupe 1)

Poumons

Cancer bronchique provoqué par l'inhalation (maladie professionnelle reconnue).

Reins

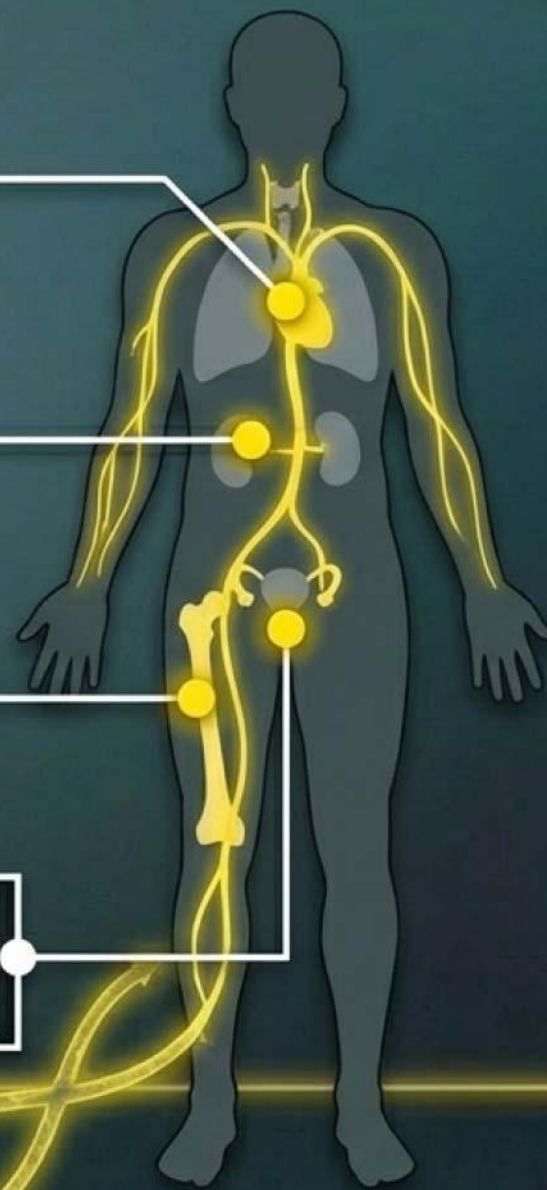
Atteinte rénale sévère, le métal s'y accumulant à long terme, provoquant des insuffisances.

Os

Fragilité osseuse (les propriétés du Cd concurrençant celles du calcium).

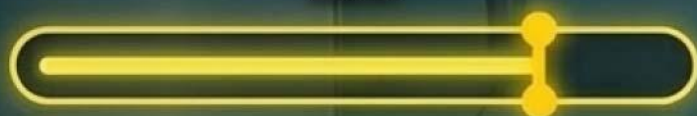
Système Hormonal

Suspecté d'induire des cancers hormono-dépendants via l'alimentation (Prostate, Sein, Endomètre, Thyroïde).



Synthèse et Cadre Réglementaire

Eau



3 à 5 µg/L
(Norme européenne/OMS).

Air (Professionnel)



VLEP de **0.05 mg/m³**
sur 8 heures.

Alimentaire



Surveillance stricte des teneurs
maximales dans les denrées
(Règlement CE).



Conclusion Systémique

Le cadmium illustre l'impossibilité de séparer la biologie humaine de l'écologie globale. Protéger la santé humaine exige impérativement la restauration de nos sols agricoles et la préservation de nos écosystèmes marins.