

## Chapitre 03 : Métaux lourds et normes Algériennes :

### Introduction :

Les éléments chimiques présents dans la nature jouent des rôles vitaux dans les processus biologiques, mais peuvent devenir toxiques lorsque leur concentration est trop élevée. Certains de ces éléments sont essentiels à la vie, tandis que d'autres peuvent être bénéfiques à faibles concentrations, mais toxiques à des niveaux plus élevés. Bien que les oligo-éléments (Al, P, N ....etc) sont essentiels en étant présents en petites quantités dans l'organisme. Ils soutiennent des processus vitaux comme la formation des cellules sanguines, le métabolisme, la fonction du système nerveux et la protection contre le stress oxydatif. Leur carence peut entraîner des troubles variés, soulignant l'importance de maintenir un équilibre nutritionnel adéquat. Les métaux lourds (Pb, Hg, Cd ....etc) sont des éléments chimiques qui ont une densité relativement élevée et peuvent être toxiques, voire mortels, pour les organismes vivants même à faible concentration.

### 1-Définition des métaux lourds :

Un métal est considéré comme « lourd » s'il a une densité élevée, généralement supérieure à 5 g/cm<sup>3</sup>. Cette définition purement physique englobe des éléments métalliques comme le fer, le cuivre ou le zinc, bien que certains ne soient pas toxiques. D'un point de vue toxicologique, on parle de métaux lourds pour désigner des éléments ayant une toxicité élevée même à faible dose et une tendance à s'accumuler dans les organismes vivants (bioaccumulation).

Bloc S												Bloc p										
H		<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></div> <b>Métaux lourds de densité &gt; 5</b> </div>																				He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne					
Na	Mg	Bloc d										Al	Si	P	S	Cl	Ar					
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
Fr	Ra	Ac	Bloc f																			
Lanthanides		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
Transuraniens		Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Cf	Bk	Es	Fm	Md	No	Lr							

**Figure 01.** Tableau périodique (Métaux lourds)

Les éléments métalliques sont, sous différentes formes, toujours présents dans l'environnement. A l'état de traces, ils sont nécessaires aux êtres vivants. A concentration élevée, en revanche, ils présentent une toxicité plus ou moins forte La présence de métaux lourds dans l'environnement résulte de causes naturelles et des

activités humaines. Elle pose un problème écologique par leur accumulation, car ils ne sont pas biodégradables dans l'environnement.

**Tableau 01.** Principaux métaux lourds selon leur toxicité

Nom	Symbole	Famille	Densité (g/cm <sup>3</sup> )	Toxicité	Origine
<b>Plomb</b>	<b>Pb</b>	Métal pauvre	<b>11,34</b>	Très toxique	Naturelle et industrielle
<b>Mercure</b>	<b>Hg</b>	Métal de transition	<b>13,53</b>	Très toxique	Naturelle et industrielle
<b>Cadmium</b>	<b>Cd</b>	Métal de transition	<b>8,65</b>	Très toxique	Naturelle et industrielle
<b>Arsenic</b>	<b>As</b>	Métalloïde	<b>5,72</b>	Très toxique	Naturelle et industrielle
<b>Chrome</b>	<b>Cr</b>	Métal de transition	<b>7,19</b>	Toxique	Naturelle et industrielle
<b>Nickel</b>	<b>Ni</b>	Métal de transition	<b>8,91</b>	Toxique	Naturelle et industrielle
<b>Cuivre</b>	<b>Cu</b>	Métal de transition	<b>8,96</b>	Moyenne	Naturelle et industrielle
<b>Zinc</b>	<b>Zn</b>	Métal de transition	<b>7,14</b>	Faible	Naturelle et industrielle
<b>Cobalt</b>	<b>Co</b>	Métal de transition	<b>8,90</b>	Moyenne	Naturelle et industrielle
<b>Antimoine</b>	<b>Sb</b>	Métalloïde	<b>6,68</b>	Toxique	Naturelle et industrielle
<b>Bismuth</b>	<b>Bi</b>	Métal pauvre	<b>9,78</b>	Faible	Naturelle
<b>Uranium</b>	<b>U</b>	Actinide	<b>18,95</b>	Radioactif	Naturelle et industrielle
<b>Thorium</b>	<b>Th</b>	Actinide	<b>11,7</b>	Radioactif	Naturelle
<b>Plutonium</b>	<b>Pu</b>	Actinide	<b>19,84</b>	Radioactif	Industrielle
<b>Argent</b>	<b>Ag</b>	Métal noble	<b>10,49</b>	Faible	Naturelle
<b>Or</b>	<b>Au</b>	Métal noble	<b>19,30</b>	Faible	Naturelle
<b>Platine</b>	<b>Pt</b>	Métal noble	<b>21,45</b>	Faible	Naturelle
<b>Palladium</b>	<b>Pd</b>	Métal noble	<b>12,02</b>	Faible	Naturelle et industrielle
<b>Thallium</b>	<b>Tl</b>	Métal pauvre	<b>11,85</b>	Très toxique	Naturelle et industrielle

## 2. Origines des métaux lourds dans la nature :

### 2.1. Sources naturelles :

Les métaux lourds existent naturellement dans la croûte terrestre et peuvent être libérés par :

- **Erosion des roches** : Contenant du plomb, du cadmium, du mercure, etc.
- **Eruptions volcaniques** : Qui rejettent du mercure et de l'arsenic dans l'atmosphère.
- **Dissolution des minéraux dans l'eau** : Enrichissant certains cours d'eau en arsenic ou en plomb.

## 2.2. Sources anthropiques (humaines) :

Les activités humaines ont considérablement augmenté la dispersion des métaux lourds dans l'environnement, et cela à travers :

- **L'industrie minière et métallurgique** : Extraction, raffinage et traitement des métaux libèrent du plomb, du cadmium, du mercure, etc.
- **L'émissions industrielles et automobiles** : Combustion de charbon, incinération de déchets, rejets d'usines chimiques.
- **L'utilisation de pesticides et engrais** : L'arsenic et le cadmium se retrouvent dans les sols agricoles.
- **Les déchets électroniques et plastiques** : rejets de mercure, plomb, chrome dans les décharges non contrôlées.

## 3. Impact des métaux lourds :

La présence des métaux lourds en concentration importante peut engendrer beaucoup d'impacts négatifs :

### a) Sur les écosystèmes

- ✚ Contamination des sols : Appauvrissement des terres agricoles, toxicité pour la faune et la flore.
- ✚ Pollution des cours d'eau et nappes phréatiques : Risque pour l'eau potable et les écosystèmes aquatiques.
- ✚ Déséquilibre des chaînes alimentaires : Effets toxiques sur les poissons, oiseaux et mammifères exposés.

### b) Sur la santé humaine :

- ✚ Troubles neurologiques et cognitifs (plomb, mercure).
- ✚ Maladies rénales, hépatiques et pulmonaires (cadmium, arsenic).
- ✚ Cancers et perturbations hormonales (chrome VI, nickel).
- ✚ Effets génotoxiques entraînant des mutations et malformations.

## 4-Passage des contaminants dans les organismes vivants :

### 4.1. Bioconcentration :

Phénomène par lequel un organisme va concentrer un contaminant (oligoélément, polluant, radioisotope .....etc) en concentration supérieure à celle du milieu aquatique, aérien ou terrestre, uniquement via la respiration et la diffusion cutanée (passage à travers la peau). Exemple : concentration du mercure par les poissons.

### 4.2. Bioaccumulation :

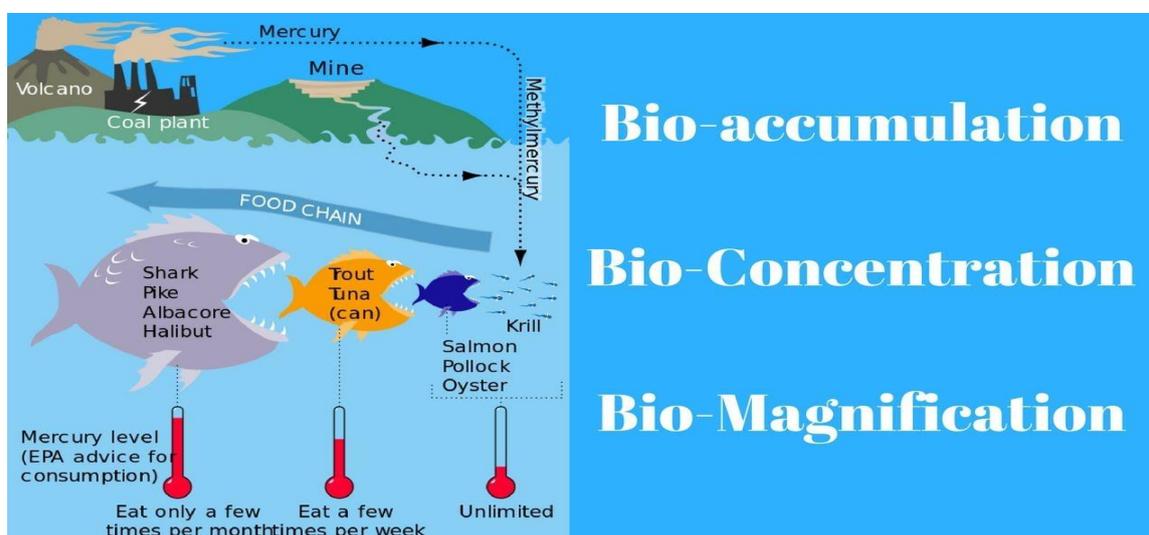
Phénomène par lequel un organisme va concentrer une substance en concentration supérieure à celle du

milieu via toutes les voies d'exposition y compris l'alimentation. Chez un même organisme, cette capacité peut fortement varier selon l'âge et l'état de santé, ou selon des facteurs externes (saison, teneur du milieu en nutriments, pH....etc). La capacité de bioaccumulation chez les organismes vivant qui captent et stockent ces polluants (éléments traces, pesticides.....etc), est indiquée par un facteur de concentration (FBC) :

$$\text{FBC} = \frac{\text{Concentration d'un composé dans l'être vivant}}{\text{Concentration du même composé dans un milieu environnant}}$$

### 4.3. Bioamplification (ou biomagnification) :

Phénomène par lequel un contaminant se retrouve en concentration plus importante dans un organisme que dans son alimentation. Il désigne l'augmentation cumulative, à mesure qu'on progresse dans la chaîne alimentaire (chaîne trophique), des concentrations d'une substance persistante d'un niveau à un autre



**Figure 01.** Processus de Bioaccumulation ; Bioconcentration et Biomagnification dans la nature

## 5-Bioaccumulation et bioconcentration des métaux lourds

### 5-1- Bioaccumulation des métaux lourds dans la nature :

La bioaccumulation des métaux lourds dans la nature est un processus par lequel ces substances toxiques s'accumulent progressivement dans les organismes vivants, dans les sols, les sédiments ou les eaux, augmentant leur concentration le long de la chaîne alimentaire et posant des risques majeurs pour les écosystèmes et la santé humaine. Ils peuvent s'accumuler dans les êtres vivants selon plusieurs voies :

#### a) Dans les sols et les sédiments :

- Absorbés par les particules fines et la matière organique
- Peuvent rester stockés longtemps (forte stabilité chimique)

**b) Dans les plantes** (phytoremédiation possible) :

- Certaines plantes accumulent les métaux dans leurs racines ou feuilles

**c) Dans les organismes aquatiques :**

- Absorption par les branchies, la peau, ou via les proies contaminées

**d) Chez les animaux et les humains :**

- Stockés dans les os, le foie, les reins ou le cerveau
- S'accumulent au fil du temps (bioaccumulation)

**5-1- 1-Mécanismes de bioaccumulation des métaux lourds :**

La bioaccumulation des métaux lourds se réalise à travers plusieurs processus :

- **Absorption directe** : À travers les branchies (poissons), les racines (plantes) ou la peau.
- **Ingestion alimentaire** : Les prédateurs accumulent davantage de métaux en consommant des proies contaminées (**biomagnification**).
- **Rétention dans les tissus** : Certains métaux se lient aux protéines ou s'accumulent dans les graisses

**5-1-2- Impact de la bioaccumulation des métaux lourds :**

La bioaccumulation des métaux lourds peut avoir de nombreux effets négatifs sur la nature des vivants :

**a) Sur les écosystèmes**

- **Toxicité pour la faune** : Perturbation de la reproduction, malformations, mortalité.
- **Déséquilibre des chaînes alimentaires** : Les prédateurs supérieurs (oiseaux, mammifères, humains) sont les plus touchés.
- **Contamination des sols et eaux** : Persistance des métaux dans l'environnement.

**b) Sur la santé humaine**

- **Consommation d'aliments contaminés** (poissons, crustacés, légumes).
- **Effets chroniques** : Troubles neurologiques (Pb, Hg), cancers (Cd, As), atteintes rénales.
- **Populations vulnérables** : Enfants, femmes enceintes, communautés dépendantes de la pêche

**5-2- Bioconcentration des métaux lourds dans la nature :**

La bioconcentration des métaux lourds est un processus spécifique par lequel ces polluants s'accumulent dans les organismes vivants à partir de leur environnement (eau, sol, air), sans considération de l'alimentation. Elle

se manifeste quand la concentration du métal dans un organisme est supérieure à celle du milieu environnant. Exemples : Le mercure absorbé à travers les branchies des poissons, atteignant des concentrations 10 000 fois supérieures à celle du milieu. Les plantes hyperaccumulatrices (*Arabidopsis halleri*) absorbent le zinc à travers les racines et le concentrent dans ses tissus pour atteindre des concentrations plus élevées que celles du sol.

### 5-2-1-Facteurs influençant la bioconcentration :

Plus la concentration du métal dans l'eau, le sol ou l'air est élevée, plus la bioconcentration est importante (relation dose-réponse). Ce mécanisme est influencé par plusieurs facteurs :

#### a) Facteurs du milieu

- **pH** : Un pH acide favorise la solubilité des métaux, tandis qu'un pH neutre ou alcalin peut précipiter les métaux.
- **Température** : Une température élevée accélère le métabolisme des organismes, augmentant l'absorption.
- **Salinité** : En milieu marin, les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  peuvent réduire la bioconcentration des métaux.
- **Texture du sol** : Les argiles retiennent mieux les métaux que les sables.

#### b) Facteurs liés aux organismes

- Certains organismes (moules, huîtres) accumulent fortement les métaux par filtration de l'eau.
- Absorption via les branchies des poissons varie selon les espèces.
- Les organismes à métabolisme rapide (ex : microalgues) bioconcentrent plus vite.
- L'exposition chronique entraîne une accumulation plus importante qu'une exposition aiguë.
- Certains organismes produisent des métallothionéines liant ou excrétaient les métaux (ex : via les feuilles chez les plantes)

### 5-3- Normes Algériennes pour les métaux lourds :

En Algérie, la réglementation concernant les métaux lourds fait partie d'un cadre législatif et normatif visant à protéger l'environnement et la santé publique. Les métaux lourds, tels que le plomb, le mercure, le cadmium, le chrome, et l'arsenic, sont des polluants potentiels dans l'air, l'eau, et les sols. Les normes algériennes, telles que celles définies par l'Agence Nationale de la Conservation de la Nature (ANCN), ainsi que d'autres textes législatifs et réglementaires, imposent des limites strictes sur la concentration de ces substances dans divers produits et environnements. La réglementation algérienne en matière de métaux lourds repose sur plusieurs dispositifs, comme :

**Loi n° 83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux :** Qui définit les normes de rejet des effluents industriels, y compris ceux contenant des métaux lourds, pour prévenir la pollution des eaux.

**Décret exécutif n° 05-12 du 28 avril 2005 relatif à la prévention et à la gestion des déchets dangereux :** Qui fixe les conditions de gestion des déchets dangereux, et définit les procédures de traitement, de stockage et d'élimination de ces déchets pour minimiser leur impact environnemental.

**Décret exécutif n° 09-209 du 11 juin 2009 :** Fixant les limites maximales de concentration des métaux lourds dans les rejets industriels. Ce décret vise à contrôler et à réduire la pollution métallique dans l'environnement.

**Arrêté interministériel du 24 janvier 2021 :** Qui définit les seuils limites des métaux lourds tolérés dans le sucre destiné à la consommation humaine.

**La norme ISO 17025 :** Pour les laboratoires d'analyse environnementale, et les normes spécifiques sur la qualité de l'eau potable, de l'air, et des sols.

**La norme NF ISO 11885 :** Qui définit les méthodes de mesure des métaux lourds dans les eaux et les boues,

**La norme EN ISO 11212-1 NA 19385 :** Spécifie la méthode de détermination de la teneur en arsenic par spectrométrie d'absorption atomique.

**Tableau 2.** Normes Algériennes pour les métaux lourds en milieu aquatique

Élément	Symbole	Valeur Max (mg/l)	Sources Industrielles
Cyanure	CN	0,1	Métallurgie, traitement de l'or, plastiques
Cadmium	Cd	0,2	Batteries, pigments, galvanoplastie
Chrome III	Cr+3	3,0	Tanneries, textiles, traitements métaux
Chrome VI	Cr+6	0,1	Peintures, anticorrosifs, électroplacage
Manganèse	Mn	1,0	Alliages, batteries, engrais
Mercure	Hg	0,01	Électronique, thermomètres, chlor-alkali
Nickel	Ni	5,0	Aciers inoxydables, batteries
Plomb	Pb	1,0	Peintures, batteries,
Cuivre	Cu	3,0	Câbles électriques, pesticides, mines
Zinc	Zn	5,0	Galvanisation, alliages, peintures