

# Cycle des métaux

Cet article décrit le **cycle des métaux**, en particulier le cycle du mercure et le cycle du fer.

## 1 Le cycle du mercure

Voir **cycle du mercure**.

Le **mercure** est un élément trace indispensable aux cellules, mais qui, à de fortes concentrations, peut devenir toxique. Les sources naturelles de mercure sont constituées par le volcanisme et certaines roches ignées. On estime à environ 25 000 t/an la quantité de mercure introduit dans l'atmosphère par le volcanisme. De plus, l'érosion hydrique des roches superficielles entraîne dans les cours d'eau puis les océans, une fraction du mercure contenu dans les roches superficielles.

Le cycle biogéochimique du mercure est caractérisé par un passage alternatif de l'état inorganique à l'état organique, et des formes oxydées à des formes réduites. Ce cycle s'effectue entre les trois compartiments de la **biosphère** : atmosphère, hydrosphère, et couche superficielle de la lithosphère.

On retrouve le mercure dans la plupart des environnements naturels, à une concentration d'environ 1 ng/L. Cependant, l'essentiel du mercure terrestre se situe dans les sédiments.

Dans l'atmosphère, on le trouve principalement sous sa forme élémentaire, HgO qui est volatile. En effet, ce métal s'évapore à basse température et passe facilement dans l'air sous forme de vapeur. Par photochimie, le mercure métallique, HgO, peut être oxydé en ion mercurique, Hg<sup>2+</sup>. Cet ion peut ensuite être méthylé en méthylmercure, CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup> par activité microbienne (Desulfovibrio). Le méthylmercure est soluble et peut alors être assimilé par les poissons, dans un tel cas il est stocké dans leur tissu. Il peut également être méthylé en diméthylmercure, CH<sub>3</sub>Hg<sup>+</sup>CH<sub>3</sub>, composé volatil qui passe dans l'atmosphère, et va ensuite être ramené dans les eaux et les sols par les précipitations. Mais il peut aussi être absorbé dans les eaux par le phytoplancton ou les **macrophytes** et passer ensuite dans divers réseaux trophiques aquatiques ou terrestres.

Certaines bactéries sulfato-réductrices sont capables de produire du HgS à partir d'ion mercurique et de H<sub>2</sub>S. Le HgS est peu soluble, donc se trouve essentiellement dans les sédiments anoxiques où se déroule la sulfato-réduction. Mais en cas d'aération, les thiobacilles vont permettre l'oxydation du HgS pour donner de l'ion mer-

rique et un ion sulfate. De même, certaines bactéries méthanogènes vont produire du méthane, CH<sub>4</sub>, et du mercure métallique, à partir de méthylmercure.

## 2 Le cycle du fer

Le **fer**, de symbole Fe, est l'un des éléments les plus abondants de la **croûte terrestre**.

Il existe à l'état naturel sous deux formes :

- le fer ferreux noté Fe<sup>2+</sup>, qui est la forme soluble
- le fer ferrique noté Fe<sup>3+</sup> qui est la forme complexée

On peut aussi le trouver sous forme Fe<sup>0</sup> qui est le résultat d'un fer transformé par les activités humaines, tout particulièrement de la fonte des **minerais de fer**. Le fer ne constitue pas un réel danger pour notre santé ou l'environnement, cependant il peut occasionner quelques désagréments d'ordre esthétique ou organoleptique (rouille, corrosion, goût métallique...).

L'oxydation du fer ferreux en fer ferrique : Fe<sup>2+</sup> ⇒ Fe<sup>3+</sup>

Cette oxydation se fait dans des conditions aérobiques. Dans les eaux bien aérées, c'est le potentiel redox qui est responsable de l'oxydation du fer ferreux en fer ferrique, qui précipite ensuite sous forme d'hydroxyde de fer (Fe(OH)<sub>3</sub>), ce qui permet une élimination naturelle du fer dissout.

Fe<sup>2+</sup> =oxydation⇒Fe<sup>3+</sup> =précipitation⇒ Fe(OH)<sub>3</sub>

L'oxydation est permise car le **potentiel redox** augmente. Ceci est réalisable par simple aération du milieu, c'est-à-dire qu'il y a contact avec du **dioxygène**. L'O<sub>2</sub> constitue un remarquable accepteur d'électron pour l'oxydation spontanée du fer ferreux. En effet, c'est le seul à pouvoir réaliser cette oxydation spontanément. L'oxydation bactérienne du Fe<sup>2+</sup>, la plus importante, est réalisée à pH acide (pH<7) car dans de telles conditions, le fer ferreux est stable et donc pas oxydé spontanément. Très peu d'énergie est générée par cette oxydation et les bactéries impliquées dans cette réaction doivent oxyder de grandes quantités de fer pour leur croissance. C'est pourquoi, même un petit nombre de cellule peut être responsable de la précipitation d'une grande quantité de fer.

La réduction du fer ferrique en fer ferreux : Fe<sup>3+</sup> ⇒ Fe<sup>2+</sup>

De nombreux organismes peuvent utiliser le fer ferrique comme accepteur d'électrons. Et étant donné que cet ion

est abondant dans la nature, sa **réduction** constitue une forme importante de respiration anaérobie. Le fer ferrique peut former des complexes avec de nombreux composés organiques, ce qui lui permet par la suite de devenir soluble et à nouveau disponible comme accepteur d'électron pour les bactéries réductrices de fer ferrique. Dans les marais, les sols gorgés d'eau et les sédiments des lacs anoxiques, la réduction du fer ferrique est fréquente. C'est l'hydroxyde ferrique nouvellement précipité peut lui interagir avec d'autres substances non biologiques, comme des substances humiques, pour réduire le fer ferrique en fer ferreux.

### 3 Les effets des métaux lourds sur les microorganismes et les vertébrés

À côté de métaux comme le fer et le **manganèse**, qui ne sont pas toxiques, il y a une série de métaux qui ont divers effets toxiques sur les micro-organismes et les animaux **homéothermes** (organismes dont le milieu intérieur conserve une température constante indépendamment du milieu extérieur). Les micro-organismes jouent des rôles importants en modifiant la toxicité de ces métaux. Il y a trois grandes catégories de métaux :

- les métaux dits « nobles » qui ne peuvent pas traverser la barrière hémato-encéphalique des vertébrés et qui ne sont donc pas toxiques
- les métaux que les micro-organismes peuvent méthyler pour former des produits plus mobiles appelés « organométaux » qui eux peuvent traverser la barrière hémato-encéphalique pouvant alors affecter le **système nerveux des vertébrés**.

Le cycle du mercure présente un intérêt particulier et illustre nombre des caractéristiques de ces métaux qui peuvent être méthylés. Ainsi, dans le sud ouest du Japon se développa une maladie qui créa de sévères désordres neurologiques. En effet, dans la baie de Minamata le mercure inorganique accumulé dans les sédiments boueux fut méthylé par des bactéries anaérobies du genre *Desulfovibrio*. Ces formes méthylées de mercure étant plus volatiles et solubles les concentrations en mercure augmentèrent dans la chaîne alimentaires et furent alors ingérées par la population humaine par l'intermédiaire du poisson.

- les métaux constitués de formes ioniques directement toxiques pour les micro-organismes ou les organismes plus complexes. En doses élevées ces métaux ont des effets létaux et à plus faibles doses beaucoup d'entre eux sont utilisés comme oligo-éléments.

Cependant, certains micro-organismes utilisés dans les cycles des métaux peuvent être toxiques pour les êtres vivants comme par exemple *Pseudomonas aeruginosa* qui dégrade le mercure et peut qui peut causer :

- des infections systémiques
- des infections urinaires
- la pneumonie associée à la mucoviscidose.

## 4 Bibliographie

- *Biologie des micro-organismes*, Mickael Madigan et John Matinko, 11<sup>e</sup> édition, 2007, pp 664-665, Brock.
- *Microbiologie*, Prescott, Harley, Klein, 2<sup>e</sup> édition française, 2003, p. 619, DeBoeck.
- *Eléments d'écologie- écologie appliquée*, François Ramade 6<sup>e</sup> édition, 2005, pp 307 à 309, Dunod.

## 5 Notes et références

-  Portail de la microbiologie

## 6 Sources, contributeurs et licences du texte et de l'image

### 6.1 Texte

- **Cycle des métaux** *Source* : [http://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle\\_des\\_m%C3%A9taux?oldid=104808263](http://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_des_m%C3%A9taux?oldid=104808263) *Contributeurs* : Fylip22, Gzen92, Loveless, Macassar, VonTasha, Speculos, Hatonjan, HerculeBot, ZetudBot, UPVD-BioEcoL3-2010 et Anonyme : 2

### 6.2 Images

- **Fichier:Salmobandeau.jpg** *Source* : <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ec/Salmobandeau.jpg> *Licence* : Public domain *Contributeurs* : Transferred from fr.wikipedia ; transferred to Commons by User:Korrigan using CommonsHelper. *Artiste d'origine* : Original uploader was Elapied at fr.wikipedia

### 6.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0