

Cycle du phosphore

Le **cycle du phosphore** est un cycle biogéochimique mettant en jeu le phosphore.

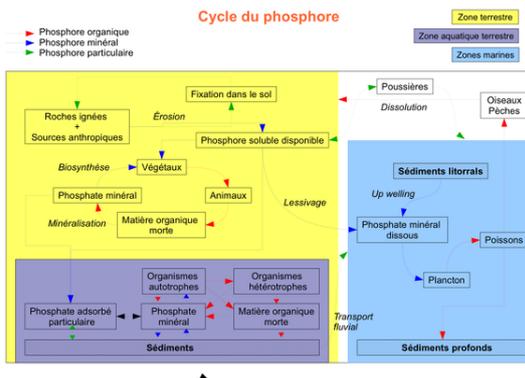


Schéma du cycle du phosphore

1 Généralités

Le **cycle du phosphore** est unique parmi les cycles biogéochimiques majeurs car il ne possède pas de composante gazeuse. Par conséquent, il n'affecte pratiquement pas l'atmosphère. En milieu terrestre, le phosphore est, le plus souvent, sous forme de phosphate c'est-à-dire un atome de phosphore entouré de quatre atomes d'oxygène (PO_4). Il est présent sous cette forme notamment comme composant du squelette des êtres vivants mais aussi des dents des vertébrés. Plus généralement, il est essentiel à la fabrication de nombreuses molécules, comme les protéines et les acides nucléiques : **ARN** et **ADN**.

En milieu terrestre, le phosphore est dérivé de l'altération des phosphates de calcium des roches de la surface de la lithosphère, de type volcanique comme l'apatite. Le phosphore est donc un **élément limitant** dans plusieurs écosystèmes terrestres, à cause de l'absence de réservoir atmosphérique et sa disponibilité est directement liée à l'altération superficielle des roches. Il se distingue aussi des autres cycles par le fait que le transfert du phosphore d'un réservoir à un autre n'est pas contrôlé par des réactions microbiennes, comme c'est le cas dans d'autres cycles biogéochimiques, car les bactéries « phosphorisantes » sont rares^{[1],[2]}. Le phosphore circule dans les différents **compartiments lithosphériques**, en milieu aquatique et terrestre. De plus, l'effet limitant du phosphore est perturbé par des apports anthropiques, ce qui peut causer des problèmes environnementaux d'eutrophisation.

2 Cycle terrestre

Le **phosphore** minéral contenu dans les roches ignées du sol se trouve à l'état insoluble (phosphate de calcium, de fer, d'aluminium par exemple) à des pH inférieurs à 6 ou supérieurs à 7. Dans les sols, sa spéciation est plus complexe puisque le phosphore est adsorbé par les minéraux (oxydes Fe, Al, argiles), immobilisé sous des formes minérales (secondaires et primaires, par exemple l'apatite) et organiques (phytates). Sous cette forme, le phosphore est inexploitable par les consommateurs primaires telles que les plantes en milieu terrestre. Pour que cela soit faisable, il doit être sous la forme d'ions phosphates en solution tel le PO_4^{3-} qui peut se présenter sous différentes formes conjuguées comme l'ion hydrogénophosphate : HPO_4^{2-} pouvant lui-même se conjuguer pour donner l'ion dihydrogénophosphate : H_2PO_4^- . Le phosphore doit être désorbé des phases minérales du sol, libéré par la dissolution des minéraux phosphatés, ou bien le phosphore organique doit être dégradé par des enzymes spécifiques (phosphatases) pour que les ions phosphates soient à disposition des plantes. C'est ainsi que le phosphore fait son entrée dans le **cycle terrestre**.

De là, les eaux contenant le phosphore dissous peuvent soit s'écouler dans les océans et rejoindre de cycle marin du phosphore, soit se restreindre à un cycle exclusivement terrestre (du moins jusqu'à un retour à l'état insoluble dans le sol).

Dans ce dernier cas, les écoulements continentaux observent un cycle annuel, dans lequel le phosphore sous forme dissoute atteint son maximum au printemps, moment où la **biocénose** en est la plus demandeuse. Cette concentration des ions phosphate dans les eaux printanières vient de l'accumulation des alluvions et vases en milieu lacustre à la suite de la stratification hivernale, lorsque l'inversion printanière produit l'homogénéisation thermique de la masse d'eau concernée.

Une fois les ions phosphates absorbés par les plantes autotrophes, le phosphore est intégré dans les différents niveaux de réseaux trophiques, allant des consommateurs jusqu'aux décomposeurs, et devient donc du phosphate organique. Le retour à la terre de ce phosphate organique se fait par sédimentation de la matière organique morte et des excréments des animaux, grâce à l'action combinée des organismes **saprophages** et des micro-organismes décomposeurs. On obtient alors du phosphore sous forme **d'orthophosphates minéraux**.

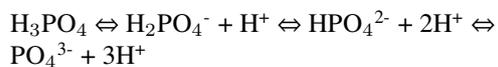
Dans le cas où le phosphore a rejoint le milieu marin, le

retour à la terre se fera de deux manières différentes :

- La sédimentation de la matière organique phosphatée dans les fonds océaniques permet le passage du phosphore de la biosphère aux roches phosphatées fossilisées. Celles-ci rejoignent ensuite les sols continentaux par le biais de la tectonique des plaques, notamment par le phénomène de l'orogénèse.
- La consommation du phosphore par la faune marine (cf. cycle du phosphore en milieu marin) rend cette dernière riche en l'élément phosphore. Les activités de pêche ainsi que les dépôts de guano par les oiseaux marins (grands consommateurs d'organismes marins) permettent ainsi le retour du phosphore en milieu terrestre.

3 Cycle marin

Le phosphore est un élément peu abondant dans la lithosphère et n'a pas de réservoir atmosphérique. Aux pH des eaux superficielles, le phosphore minéral est sous forme d'ions H_2PO_4^- et HPO_4^{2-} , on dose en général la somme de 2 formes exprimée en orthophosphates : PO_4^{3-} . La dissociation s'effectue à partir de l'acide phosphorique selon la formule suivante :



Le phosphore se trouve originellement dans les roches qui composent le globe terrestre. Il arrive dans le milieu marin de plusieurs façons :

- Phosphore issus des sols, résultant de l'érosion éolienne et hydrique des roches contenant les minéraux primaires phosphatés tels la fluorapatite.
- Phosphore provenant du lessivage de sols cultivés, qui s'y trouve sous forme adsorbé, minéral (de type apatite), et organique ou d'engrais excédentaire.
- Phosphore qui est contenu dans les effluents domestiques (en majorité détergents phosphatés, urines et selles).
- Remontées sources marines chaudes et volcanisme marin

Le passage du phosphore organique à inorganique est assuré par les bactéries (eubacillus et bacillus) ou des champignons (saccharomyces et penicillium).

Les sédiments marins sont un piège à phosphore. Ils reçoivent le phosphore particulaire et peuvent adsorber celui qui est dissous. La concentration du phosphate dans le sédiment est de l'ordre de 0,02 à 0,1 mg/cm³. Le

phosphore dans le sédiment se fossilise pour devenir de l'apatite : diagenèse.

La couche superficielle des sédiments fins est bien oxydée (bioturbation) et va constituer une barrière efficace s'opposant au transfert du phosphore des sédiments vers l'eau. Le fer contenu dans la zone oxydée se trouve à l'état d'hydroxyde ferrique, qui fixe très fortement le phosphore par adsorption ou complexation, et l'empêche de traverser cette couche. On a petit à petit enfouissement du phosphore. Par contre, si le dioxygène vient à manquer à l'interface eau-sédiment, les hydroxydes ferriques sont réduits et la barrière se dissipe, le phosphore est diffusé librement dans l'eau. Les hydroxydes de manganèse étant réduits avant les hydroxydes ferriques, l'apparition de manganèse dans l'hypolimnion est un signe précurseur de l'apparition du fer et du phosphore. Au mélange total, l'apport d'O₂ reconstitue la couche oxydée et capturé à nouveau par les hydroxydes ferriques, le phosphore de l'hypolimnion est précipité et immobilisé.

L'inertage puis enfouissement du phosphore dans les sédiments représente une *perte* pour les écosystèmes. Les animaux fouisseurs du sédiment peuvent cependant en réintroduire une partie dans le cycle (ex : certains chironomidae et tubifex en eau douce, ou de nombreux Polychètes dans les sédiments marins). On parle de **cycle ouvert**, puisque ce phosphore est perdu pour les cycles biologiques. D'un point de vue purement géologique, ce phosphore pourra redevenir disponible pour les organismes vivants au bout d'un certain temps. C'est donc un **cycle fermé** du point de vue d'un temps géologique, mais c'est un cycle ouvert du point de vue d'un temps biologique.

Le cycle biologique du phosphore est lié à la chaîne alimentaire et commence avec le plancton. Par des phénomènes de remontées d'eau (« upwellings ») et à partir du phosphore terrigène apporté par le ruissellement, une partie du phosphore est assimilée par le phytoplancton. Ce phytoplancton est ensuite assimilé par le zooplancton, les poissons ou des mollusques. Ces mêmes poissons peuvent être mangés par des oiseaux marins qui permettent au phosphore de revenir en partie sur la terre ferme à travers leurs excréments et leurs cadavres. La faune joue de manière générale un rôle important et longtemps sous-estimé^[3] dans le cycle du phosphore. De même la remontée des saumons (qui meurent après la ponte dans le haut des bassins versants) permet de ramener de petites quantités de phosphore à la terre, en quantités faibles à l'échelle des continents mais localement très significatives. La pêche contribue aussi à réintroduire du phosphore à terre.

4 Apport anthropique et eutrophisation

Le principal problème causé par le phosphore est l'eutrophisation des milieux aquatiques, notamment des

lacs.

Un excès d'azote, de phosphore et de carbone rejoint le lac via un cours d'eau ou via son bassin versant. Ce phosphore minéral peut avoir des origines multiples : il peut provenir des amendements, issus de l'agriculture intensive, qui sont ajoutés aux sols pour améliorer la croissance des cultures. Le phosphore de ces amendements est originaire de l'exploitation des gisements de craie phosphatée. Il peut être issu des effluents de STEP (station d'épuration), qui ne subissent pas de déphosphatation. Ce phosphore-là provient notamment des lessives et des rejets humains.

Ces apports en excès de phosphore conduisent à une hyperfertilisation du milieu, qui augmente la production primaire. En effet, on assiste à un bloom phytoplanctonique conduisant à un bloom zooplanctonique. Lors de leur mort, ces organismes tombent et sont minéralisés par les bactéries minéralisatrices. Plus le bloom est important, plus ces bactéries vont se développer, et plus la demande en O_2 sera importante pour les phénomènes de respiration et de minéralisation. De plus, des macrophytes (des lentilles d'eau par exemple) se développent en surface et jouent le rôle de barrière à la lumière pour les cyanobactéries et le phytoplancton. La consommation d' O_2 devient supérieure à la production d' O_2 . Ceci entraîne donc une raréfaction d' O_2 dans les fonds, et à moyen terme l'anoxie du milieu. À cela s'ajoute la libération de phosphore par les sédiments. En effet, pour les lacs oligotrophes ou mésotrophes, le phosphore dissous se complexe avec le fer oxydé et est stocké dans les sédiments. Or, en absence d' O_2 , ce fer est réduit et ne peut, d'une part, plus se complexer avec le phosphore présent, mais d'autre part, libère celui qui était initialement stocké. Le lac reçoit alors un apport supplémentaire en phosphore dissous qui ne fait qu'alimenter le phénomène d'eutrophisation. L'absence d' O_2 engendre la mort de nombreux êtres vivants qui utilisent l' O_2 pour respirer, ainsi que l'apparition de composés réducteurs et de gaz toxiques pour la vie aquatique tels que le méthane et les thiols.

Dans les océans, la faune marine et la pêche ne remontent plus le phosphore des zones mortes vers le milieu terrestre. La remontée du phosphore vers le milieu terrestre se fait alors essentiellement par orogénèse. Celle-ci étant extrêmement lente, elle ne compense pas les pertes de phosphore du milieu terrestre. Les activités humaines favorisent ainsi l'ouverture du cycle du phosphore^[4].

Pour pallier le phénomène d'eutrophisation, plusieurs solutions existent. En tout premier lieu, les apports en amont peuvent être réduits, notamment les amendements dont l'utilisation pourrait être raisonnée. Certaines pratiques agricoles, comme la culture sans labour, limitent l'érosion des sols. De même, les effluents de STEP qui peuvent subir une déphosphatation lors de leur traitement. Des méthodes physiques sont aussi efficaces comme l'aération des fonds et le dragage des sédiments^{[5],[6],[7],[8]}.

5 Références

- [1] (fr) « Le cycle du phosphore » (consulté le 21 février 2010)
- [2] (en) « Phosphorus Cycle - Phosphorus Functions And Recycling », sur *Sciences* (consulté le 21 février 2010)
- [3] *The influence of animals on phosphorus cycling in lake ecosystems*] (résumé, et bibliographie)
- [4] Vaccari D, *Phosphore : une crise imminente*, Pour la Science, janvier 2010, p36-41
- [5] Technique de réhabilitation des plans d'eau eutrophisés, M.Lafforgue. TSM numéro 12, décembre 1998, 93^e année p.27-40
- [6] (fr) « L'eutrophisation », sur *Chez Alise* (consulté le 21 février 2010)
- [7] (fr) « L'eutrophisation », sur *Polmar* (consulté le 21 février 2010)
- [8] (fr) « Les principaux effets de l'eutrophisation », sur *Lenn-tech* (consulté le 21 février 2010)

-  Portail de la chimie
-  Portail de l'écologie

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

6.1 Texte

- **Cycle du phosphore** *Source* : http://fr.wikipedia.org/wiki/Cycle_du_phosphore?oldid=110191864 *Contributeurs* : Phe-bot, Ollamh, K !roman, Chris93, RobotQuistnix, YurikBot, Poppy, Davidb211, Julianedm, Cehagenmerak, Akiry, Pautard, Dosto, Pierre cb, Lamiot, Rhadamante, Escarbot, VincentPalmieri, BOT-Superzerocool, MirgolthBot, VonTasha, TXiKiBoT, VolkovBot, Dhatier, DumZiBoT, HerculeBot, ZetudBot, GrouchoBot, Nakor, AttoBot, Archimëa, Penjo, UPVD-BioEcoL3-2009, Frederic Gerard, UPVD-BioEco-STEL3-2011, Rene1596, Addbot et Anonyme : 10

6.2 Images

- **Fichier:Fairytale_konqueror.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/68/Fairytale_konqueror.png *Licence* : LGPL *Contributeurs* : ? *Artiste d'origine* : ?
- **Fichier:Nuvola_apps_edu_science.svg** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/59/Nuvola_apps_edu_science.svg *Licence* : LGPL *Contributeurs* : <http://ftp.gnome.org/pub/GNOME/sources/gnome-themes-extras/0.9/gnome-themes-extras-0.9.0.tar.gz> *Artiste d'origine* : David Vignoni / ICON KING
- **Fichier:Schema_cycle_du_phosphore.png** *Source* : http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/d/d1/Schema_cycle_du_phosphore.png *Licence* : CC BY-SA 3.0 *Contributeurs* : Travail personnel *Artiste d'origine* : UPVD-BioEcoL3-2009

6.3 Licence du contenu

- Creative Commons Attribution-Share Alike 3.0