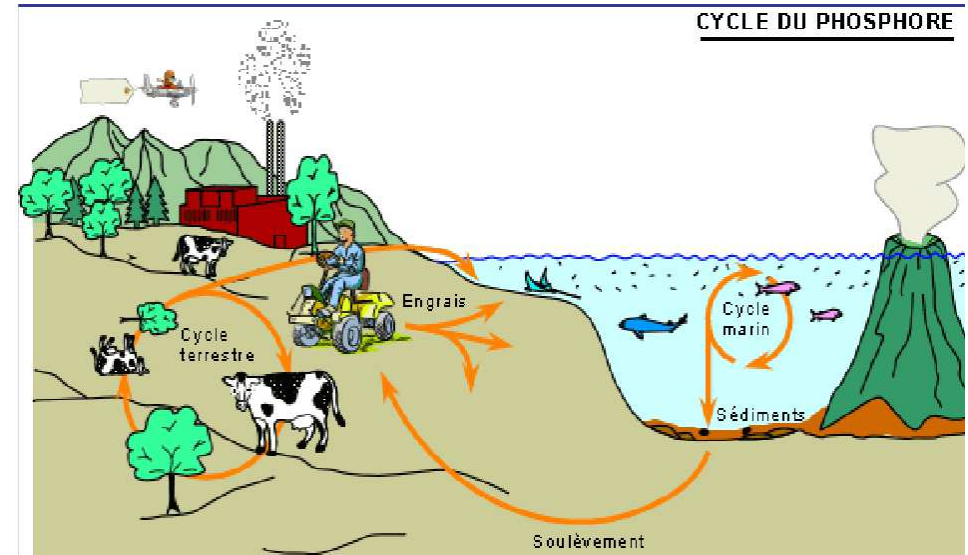


Le cycle du phosphore

Le phosphore

Le phosphore est un élément qui entre dans la composition de l'ADN, l'ARN et l'ATP, les phospholipides, les phosphoprotéines et à la base de processus vitaux

Le phosphore est essentiellement présent dans l'eau sous forme d'ions phosphates



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.


Cycle terrestre du phosphore

- ▶ Phosphore organique
- ▶ Phosphore minéral
- ▶ Phosphore particulaire

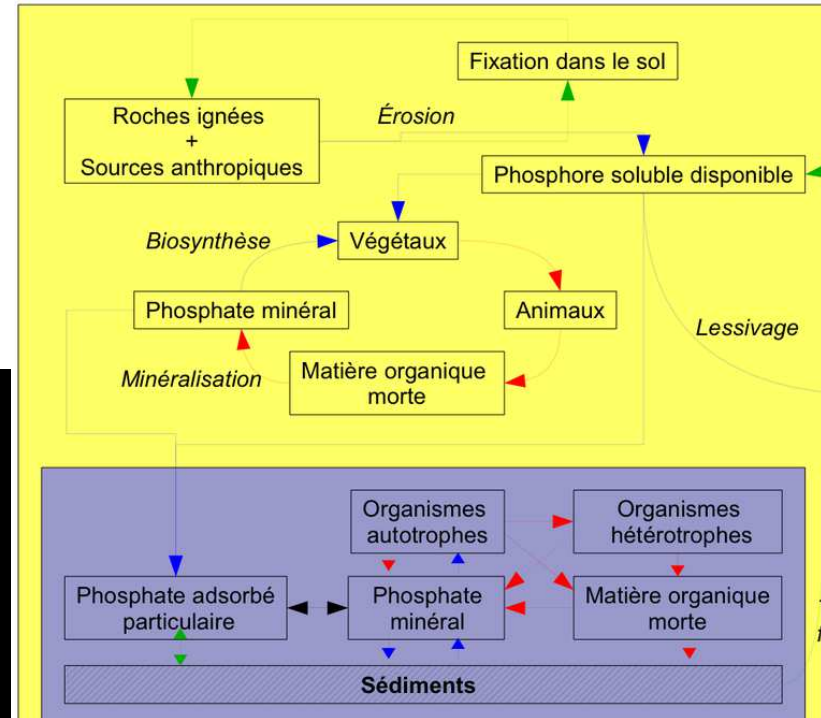
Origine naturelle des phosphates

Le phosphore est dérivé de l'altération des phosphates de calcium des roches de surface, principalement de l'apatite.

Autre exemple: Guano riche en phosphate



© geology.com



Dans les sols, le phosphore est inexploitable par les consommateurs primaires telles que les plantes en milieu terrestre.

Formes assimilables du phosphore : l'ion phosphate PO_4^{3-} , l'ion hydrogénophosphate HPO_4^{2-} l'ion dihydrogénophosphate : $H_2PO_4^-$

- Désorption des phases minérales du sol
- Libération par la dissolution des minéraux phosphatés
- Dégradation du phosphore organique par des enzymes spécifiques (phosphatases).

Cycle marin du phosphore

Les formes du phosphore

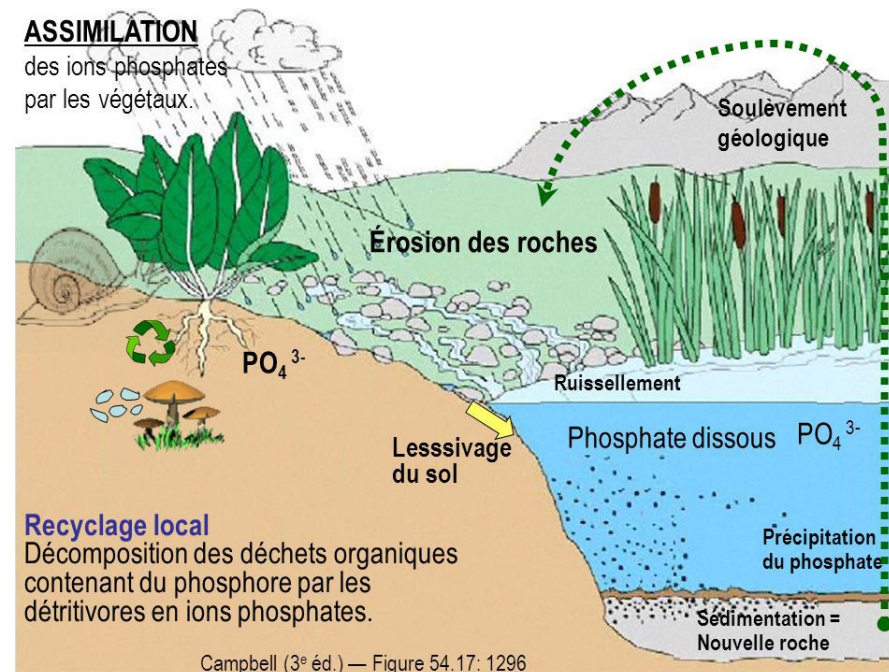


Son origine :

- Erosion éolienne et hydrique des roches
- Lessivage de sols cultivés
- Effluents domestiques (détergents phosphatés, urines et selles).
- Remontées sources marines chaudes et volcanisme marin

Son devenir :

- Le phosphore se fossilise (apatite)
- Assimilation par le phytoplancton, zooplancton, les poissons ou des mollusques
- Remontées sources marines chaudes et volcanisme marin



Les sédiments marins sont un piège à phosphore.

La concentration du phosphate dans le sédiment est 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 **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 capture 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-estimé³ 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 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.

Apport anthropique et eutrophisation

III. L'eutrophisation – Exemple de manifestation d'eutrophisation littorale

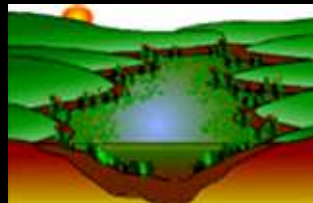
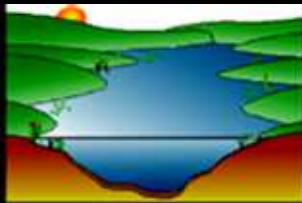
III. L'eutrophisation - Principe

Processus d'enrichissement des eaux en sels nutritifs (N,P) et en matière organique

Eutrophisation

Dystrophisation

EVOLUTION NATURELLE
plusieurs milliers d'années

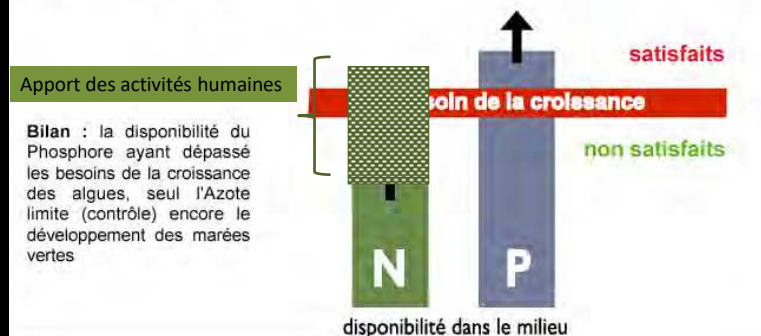


D'après <http://www.memphremagog.org>

EVOLUTION ARTIFICIELLE
Quelques dizaines d'années

Notion de facteur limitant

Situation actuelle de la disponibilité de l'azote et du phosphore par rapport aux besoins des algues vertes



CEVA, 2009

Apports en excès de phosphore : hyperfertilisation du milieu, production primaire augmentée.

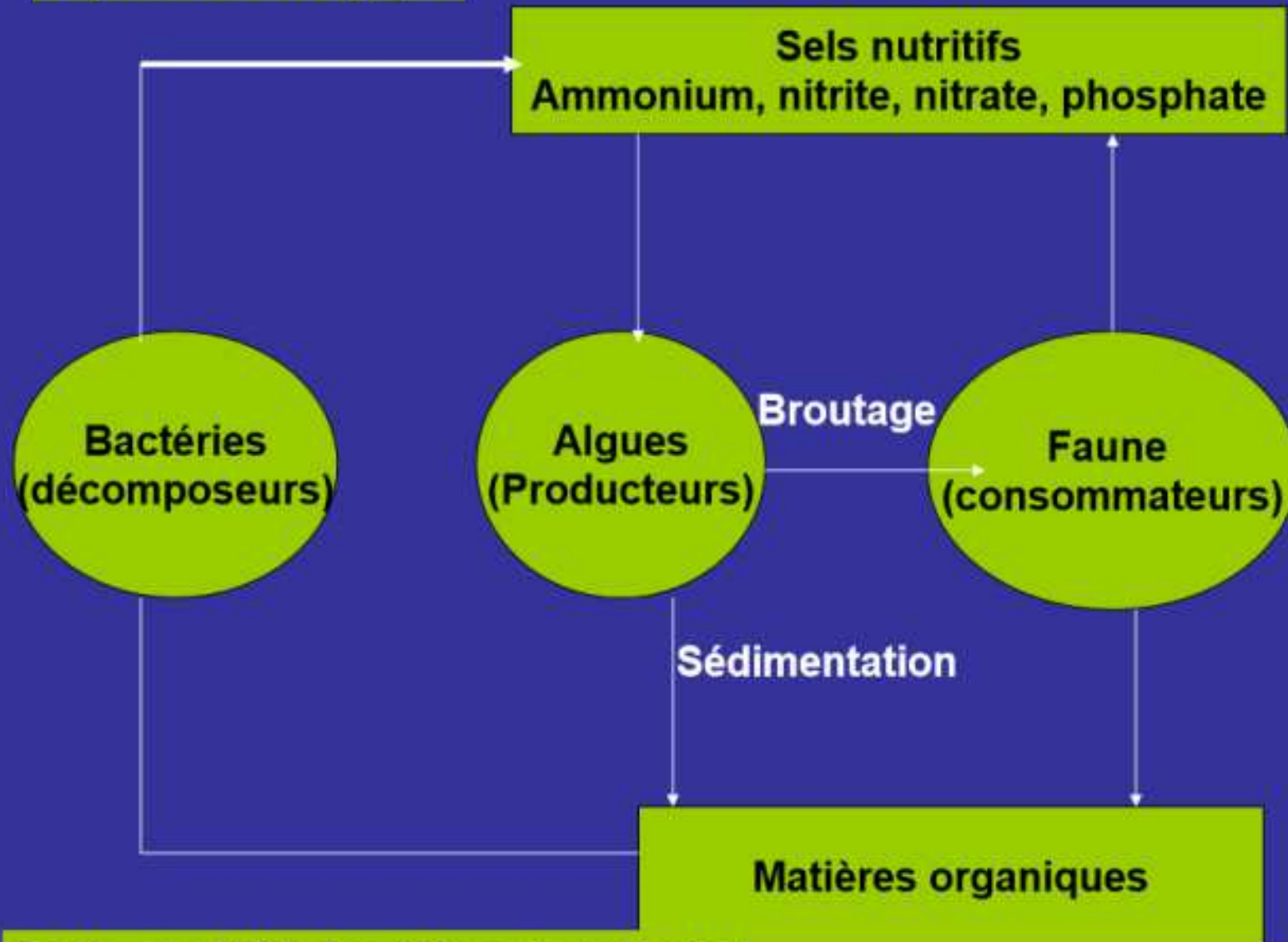
Bloom phytoplanctonique et zooplanctonique.

Développement de macrophytes (des lentilles d'eau) en surface, barrière à la lumière pour les cyanobactéries et le phytoplancton.

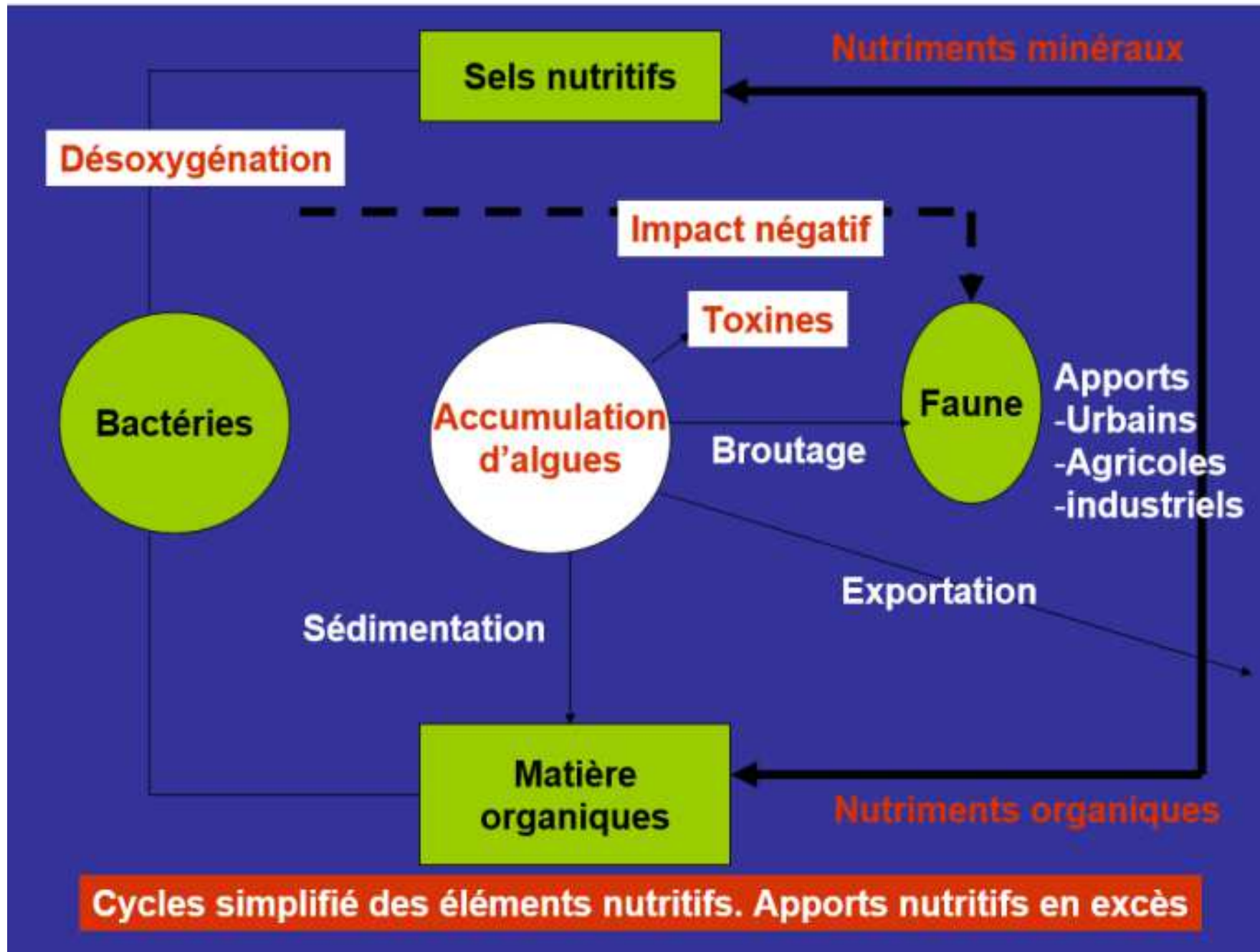
Raréfaction d'O₂ dans les fonds, anoxie du milieu, libération de phosphore par les sédiments.

Dans les océans, la faune marine et la pêche ne remontent plus le phosphore des zones mortes vers le milieu terrestre. Ouverture du cycle du phosphore par les activités humaines.

Equilibre écologique



Cycle simplifié des éléments nutritifs

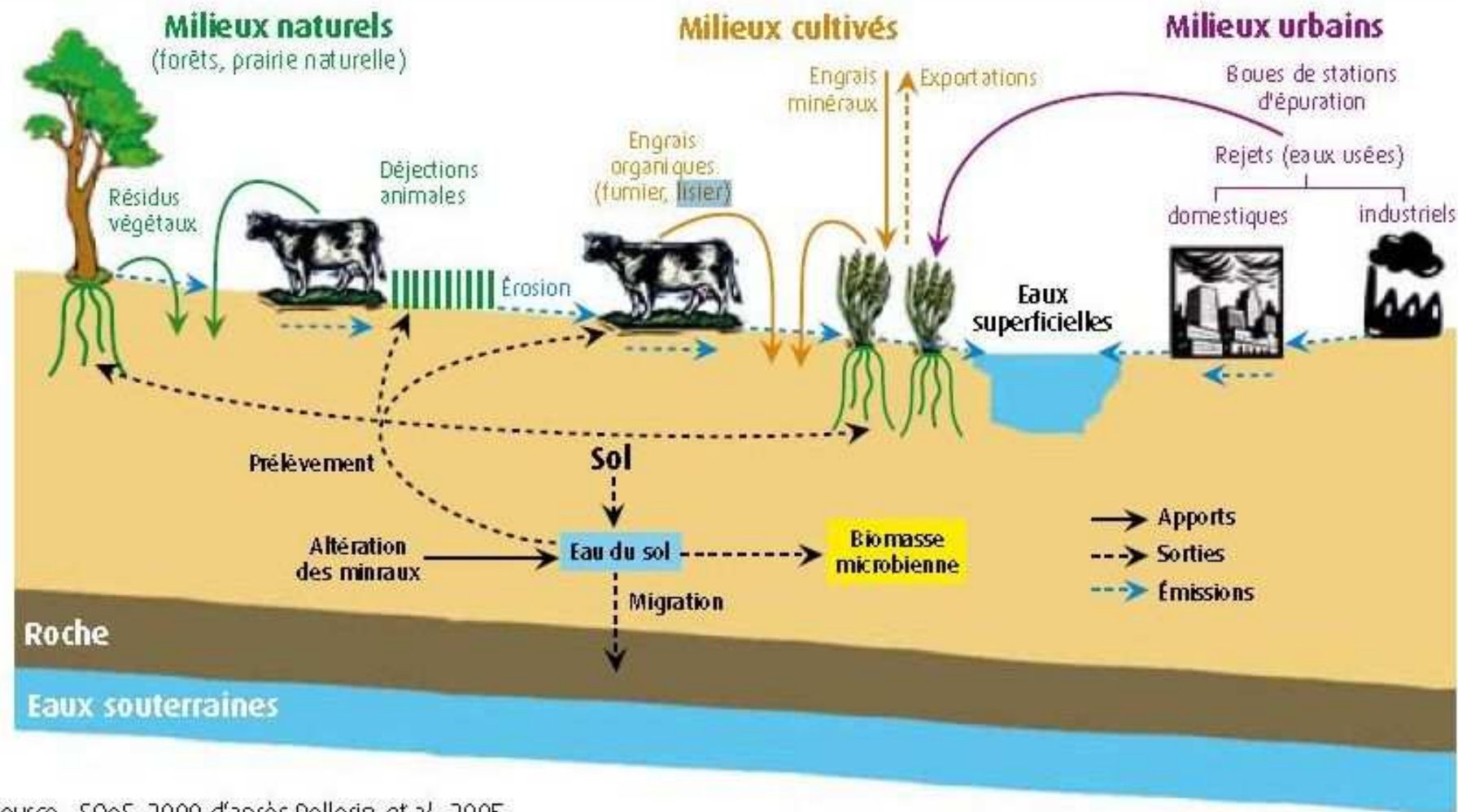


En effet, pour les lacs oligotrophes ou mésotrophes, le phosphore dissous se complexe avec le fer oxydé et est stocké dans les sédiments. Or, en absence d'O₂, ce fer est réduit et ne peut, d'une part, plus se complexer avec le phosphore présent, mais d'autre part, libère celui qui était initialement stocké. Le lac reçoit alors un apport supplémentaire en phosphore dissous qui ne fait qu'alimenter le phénomène d'eutrophisation. L'absence d'O₂ engendre la mort de nombreux êtres vivants qui utilisent l'O₂ 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 phosphore⁴.

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}.

Cycle du phosphore préservé dans les milieux naturels, modifié dans les milieux anthropisés



Source : SOeS, 2009 d'après Pellerin et al., 2005.