

Chapitre 2 : Géochimie et bio géochimie

2.1. Définition des cycles biogéochimiques

2.1.1. Nature et constitution :

En principe, un cycle évoque un circuit fermé, l'élément considéré devant revenir à l'état initial après avoir suivi un parcours constitué par les différentes étapes de son histoire.

Dans le cas qui nous préoccupe ici, cela à un sens si l'on envisage le fonctionnement global du système terre, donc si l'on s'intéresse au bilan, aux transferts et aux stocks d'éléments à *toutes* les échelles de temps et d'espace ; c'est ce que l'on désigne alors par le terme *cycle global*. En réalité, dès lors que l'on prend en compte de petites échelles de temps et des espaces territoriaux plus restreints, les cycles étudiés sont toujours partiellement ouverts en sorte qu'on ne boucle pratiquement jamais. Il est clair en effet que certains éléments peuvent être soustraits, car stockés à long terme, et échapper de la sorte pendant fort longtemps au cycle complet les caractérisant. Aussi, ce qu'on étudie souvent, ce sont des parties de cycle de nature et de durée variées (sous-cycle ; para cycle ; phase. . .), plus ou moins autonomes qui, à certains moments de l'évolution, peuvent être reliées entre elles au sein du système géochimique général.

– Le sous-cycle géochimique, qui correspond à l'ouverture des cycles précédents

D'un côté vers l'atmosphère avec les rejets atmosphériques et la fixation symbiotique ou non de l'azote, et de l'autre vers les eaux de surface et les nappes phréatiques par suite des pertes par drainage au-delà de la zone racinaire.

Le plus actif des trois est le sous-cycle biologique. En bio géochimie, et notamment en agrochimie, on le désigne aussi quelquefois sous le nom de **cycle interne**, car il correspond à la circulation en permanence des éléments minéraux (En provenance des sols et des roches) vers les êtres vivants (micro-organismes et végétaux notamment), puis après la mort de ces derniers au sein des matières organiques inertes qui s'accumulent à la surface des sols (litières rhizosphère) avant d'être minéralisées à leur tour (on parle quelquefois de *reminéralisations*) et de constituer des lors des nutriments pour les êtres vivants. dans ce cas, la notion de **recyclage** prend tout son sens (*turn-over*), celui-ci pouvant se faire – de manière continue ou discontinue – à des vitesses très variées suivant les milieux, mais qui correspondent généralement à des pas de temps relativement courts, donc se situant à l'échelle humaine. Et c'est dans ce cadre qu'il semble nécessaire de se pencher brièvement sur le problème des relations entre cycles biogéochimiques et anthropisation.

Les Cycles biogéochimiques et anthropisation

Les cycles biogéochimiques des différents éléments fonctionnent dans la nature à leur manière suivant les caractéristiques chimiques propres à chaque élément et selon le rôle que ceux-ci jouent au cours du développement de la biosphère.

Il en a été ainsi jusqu'à l'apparition de l'homme qui, du fait de son activité dans les terres émergées (agriculture, industrie, urbanisme, voies de communication), a contribué à perturber – souvent sans s'en rendre compte dans les premières phases – les écosystèmes et les cycles ; ceci, de façon de plus en plus marquée avec le temps, surtout depuis les années 1850, jusqu'à aboutir à des nuisances majeures (certaines étant à dimension planétaire), toujours inquiétantes et quelquefois même irréversibles. Ces changements environnementaux résultent d'un côté de l'augmentation de ses capacités technologiques (développement industriel et urbain, fabrication de nouveaux composés, intensification de la production végétale, concentration de l'élevage dans certaines régions, . . .)

Et d'un autre côté de la nécessité de leur mise en œuvre du fait de l'accroissement sans précédent de la pression démographique qui impose au monde d'assurer une production de biomasse de plus en plus élevée. C'est ainsi, entre autres, que l'homme a été amené :

- A remettre en circuit du carbone provenant des combustibles fossiles (qui était jusque-là soustrait) et à libérer de grandes quantités de CO₂ ne provenant pas de la biomasse ; sans oublier le carbone émis dans l'atmosphère à la suite des opérations de déboisement, puis du labourage répétitif des terres à des fins agricoles, et ce depuis le néolithique ;
- A perturbé le cycle de l'azote en fabriquant, puis en utilisant des engrais azotés et en accentuant dans les régions tempérées et tropicales de la planète, les problèmes d'acidification des terres ;
- A contribuer à la salinisation des sols dans les régions arides sous l'influence d'une irrigation régulière des cultures ;
- A modifier la redistribution de divers éléments (phosphore, potassium, chlore) ou composés que l'on a introduit dans le circuit agronomique pour compenser les exportations par les récoltes ;
- A provoquer la dissémination de nombreux métaux en relation avec le développement de la métallurgie et de l'agronomie (cuivre, zinc, nickel, Étain, plomb, mercure) ou encore des molécules biocides de synthèse utilisées dans les traitements phytosanitaires ;
- A mettre en circulation des radionucléides à longue durée de vie en rapport avec l'utilisation de l'énergie nucléaire ;
- A produire de grandes quantités de déchets (industriels, agricoles et urbains) qu'il s'agit maintenant de résorber. . .

Il s'en suit l'émergence de problèmes en relation avec la modification des systèmes écologiques et la détérioration des cycles biogéochimiques, tels l'effet de serres (additionnelles), l'eutrophisation des eaux, l'acidification ou la salinisation des sols, les dépérissements forestiers (pluies acides), les phénomènes de pollution . . ., avec des conséquences qui sont loin d'être négligeables pour les sociétés au plan de l'avenir de l'humanité, dans les domaines de l'alimentation et de la santé notamment. Ceci étant, la solution à notre époque n'est pas de bloquer toute nouvelle activité humaine en raison de l'intense pression démographique actuelle, mais de relever le défi majeur que constituent, de nos jours, la préservation du capital naturel et la qualité de la vie sur la planète. Et c'est là qu'entrent en jeu, notamment, les cycles biogéochimiques qui permettent de **raisonner** les

interventions humaines, afin que ces dernières soient les plus profitables possible tout en étant les moins néfastes, suivant la conception que l'on a de ce qu'on appelle à l'heure actuelle:

le développement durable qui fait appel, notamment, aux mécanismes biologiques impliqués dans les systèmes agricoles (culture et élevage).

Deux exemples pris en zone terrestre peuvent illustrer brièvement l'intérêt d'une bonne connaissance des cycles biogéochimiques des milieux affectés par l'activité anthropique ; ils seront d'ailleurs repris ultérieurement sous une autre forme dans le corps du rapport :

- le premier a trait à la fertilisation des terres de culture, et notamment à la fertilisation azotée ;
- le second concerne le dépérissement récent des forêts, du au phénomène connu sous le nom de « *Pluies acides* ».

2.1.2 Changements de la structure et du fonctionnement des écosystèmes

En 2000, les systèmes de cultures couvrent 25% de la surface terrestre

En couleur marron, les territoires où 30% des espaces sont cultivées : cultures et aquaculture terrestres

- 20% des récifs coralliens sont perdus ou dégradés durant les dernières décennies
- 35% des mangroves ont été perdus durant les dernières décennies
- La quantité d'eau des barrages a quadruplé depuis 1960
- Le retrait d'eau des rivières et des lacs a doublé depuis 1960
- L'écoulement continental retenu dans les réservoirs est 3-6 fois plus important que celui des rivières naturelles
- Les grands réservoirs totalisent ~65% du volume global.

a. Tendances schématiques des débits de rivières à l'embouchure

La diminution des débits de rivières diminue le flux de nutriments et de sédiments, ce qui entraîne d'énormes impacts non seulement sur la zone côtière locale (delta du Nil) mais s'étend sur l'hydrodynamique et la pêche en Méditerranée et même en Atlantique (Figure .2)

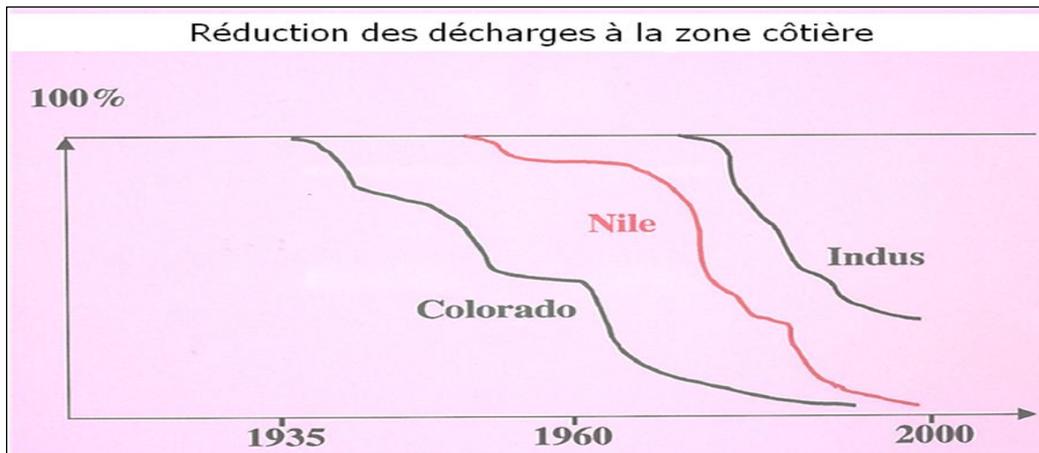


Figure 2 : Réduction des décharges à la zone côtière (diminution des débits naturels)

b. Tendence des flux d'eau (m^3/s) et de sédiment dans le fleuve Colorado (1910-1960) après La construction du barrage Hoover en 1936

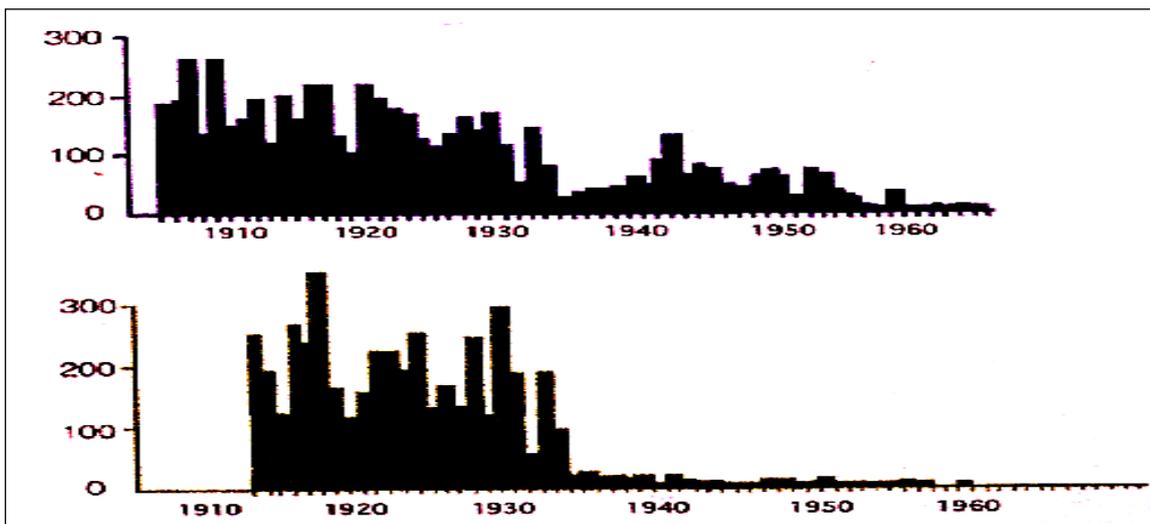


Figure 3 : flux annuel en eau et de sédiment (en haut : eau, en bas sédiment)

Le changement du Colorado après la rétention des eaux dans le barrage du Hoover est l'une des plus dramatiques modifications des systèmes de rivières.

2.1.3. Changements des cycles hydro-biogéochimiques

Depuis 1960 :

- Le flux d'azote bio disponible d'écosystèmes terrestres a doublé
- Le flux du phosphore a triplé
- Plus de 50% de l'azote synthétique fertilisant a été utilisé depuis 1985
- 60% de l'augmentation de $[CO_2]$ atmosphérique depuis 1750 s'est fait à partir de 1960

L'Homme produit des quantités d'azote bio disponible autant que toute source naturelle, ce qui conduit à une augmentation de 65% à l'horizon 2050 (voir Fig. 4)

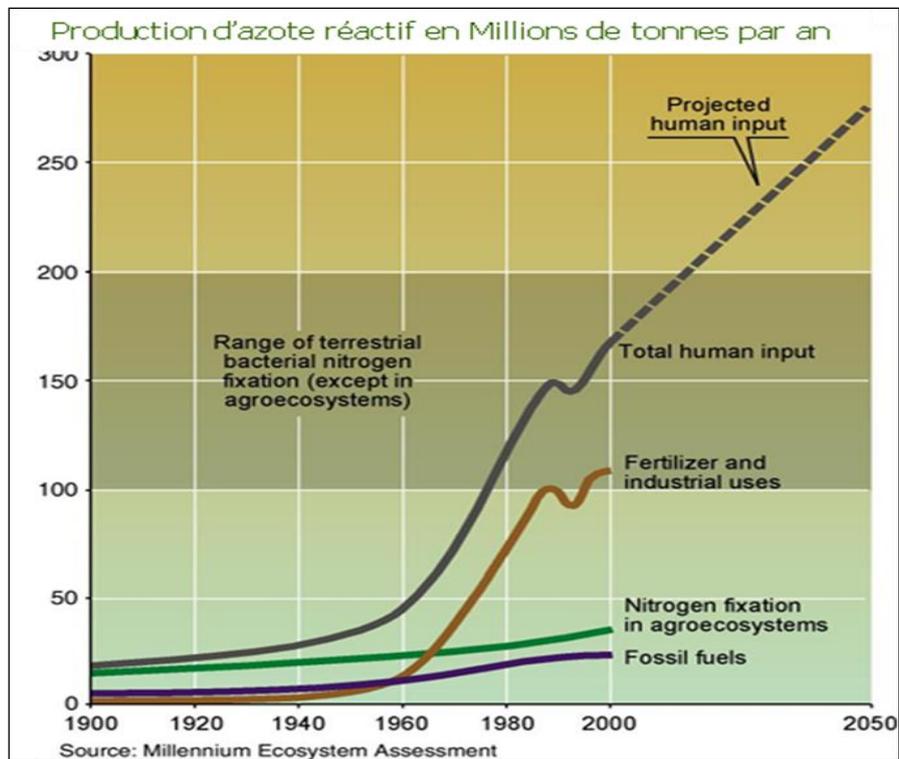


Figure 4 : Production mondiale d'azote par les activités anthropiques.

a. Flux global des rivières en azote d'après (Green et al, 2003)

- Le flux global de l'azote a plus que triplé (3 fois)
- Sur le plan régional, le flux a augmenté de 10 fois
- L'Agriculture & l'urbanisation sont les sources majeures d'azote

b. Flux en nutriments :

Dans la zone tempérée : (Amérique du Nord, Europe, Chine) Correspond à 27,5% en surface terrestre mais contribue à 52% au flux du $P-PO_4^{3-}$ et 6% au flux de l'azote inorganique aux océans
 Les régions arides+ les régions humides tropicales + le subarctique correspondent à 51% en surface terrestre mais contribue seulement à 30% du flux du $P-PO_4^{3-}$ et 21,3% au flux de l'azote inorganique aux océans
 Ordre des valeurs de flux

Les rivières les plus polluées représentant seulement 5% de décharge hydrique, contribuent cependant à un flux de :

- 32% pour les NO_3^-
- 48% l' NH_4^+
- 54% de PO_4^{3-}

c.Tendance des nitrates dans les principales rivières mondiales :

De 1960 à 1990 les nitrates ont au moins doublé dans la plupart des grandes rivières. Les teneurs maximales sont aussi observées dans les petits bassins versants exposées à l’usage de fertilisants agricoles (Fig.5) :

Exemple la Seybouse (Algérie) ≈ Seine (France)2002 : 4,5 mg N/l 2006 : 6,5 mg N/l

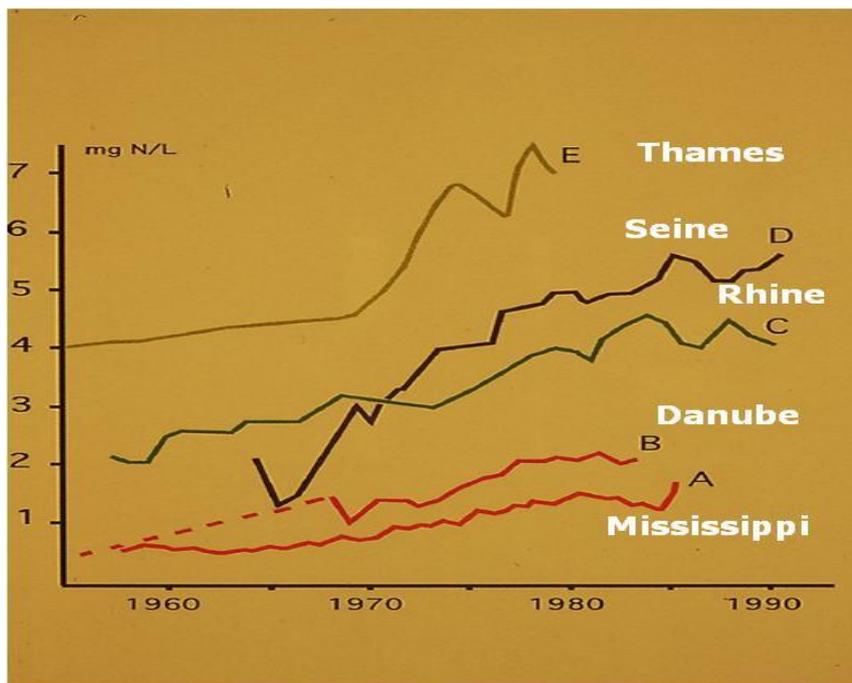


Figure 5 : Tendance d'azote nitrique dans les principales rivières mondiales.

2.2Irrigation, barrages & eutrophisation :

2.2.1 La rétention du silicium

L’irrigation consomme actuellement près de 4 000 km³/an (= 5% de l’écoulement mondial, Shiklomanov, 1998)

La rétention des nutriments par les barrages tels que le silicium combinée avec l’augmentation des flux en N et en P durant les 50 dernières années a généré des changements majeurs du rapport N : P : Si dans les eaux de rivières introduites au littoral.

Il s’ensuit des dystrophies comme pour les côtes adjacentes au Danube et au Mississippi (la Seybouse n’échappe pas à ce constat, comme on le verra plus ultérieurement au dernier chapitre)

	Mississippi		Seybouse
	1900	2000	2007
Si (g/g)	48	0.9	0.5