

B. L'histoire du dioxygène de l'atmosphère

Problème posé : comment le dioxygène est-il passé dans l'atmosphère et quels sont les indices géologiques qui le montrent ?

→ Activité 3 : répondez aux questions p 25

1. Présentez sous la forme d'un tableau les différents indices de la présence ou de l'absence de dioxygène dans l'eau ou l'air en indiquant les périodes correspondantes et, si possible, une valeur de sa teneur.

1 Des informations apportées par des formations géologiques variées



a Pyrite contenue dans des poudingues archéens.



b Red beds aux multiples nuances de rouge (Blyde River Canyon, Afrique du Sud).



d Meganeura, insecte géant des forêts du Carbonifère. ➤

◀ c Dickinsonia, fossile de la faune d'Ediacara.



De nombreuses roches se forment par dépôt sédimentaire à la surface de la Terre. Les conditions dans lesquelles elles prennent naissance et leur éventuel contenu fossilifère témoignent notamment de la quantité de dioxygène atmosphérique de l'époque.

Des poudingues* d'Afrique du Sud datés de l'Archéen (a), époque comprise entre - 4 à - 2,5 Ga, contiennent de la pyrite (FeS₂). Ce minéral est très instable en présence de dioxygène dans l'eau. Or, la formation de ces poudingues a nécessité un long transport par des cours d'eau. La pyrite est absente des roches sédimentaires à partir de - 2,2 Ga.

Quelques paléosols* archéens contiennent de l'uraninite (UO₂). Ce minéral est lui aussi très instable en présence de dioxygène libre avec lequel il réagit et s'oxyde. Il est absent des roches sédimentaires à partir de - 2,2 Ga.

Les fers rubanés, autre formation sédimentaire, sont présents à l'Archéen dès - 3,5 Ga (voir doc. 2 p. 23). Leur formation nécessitant du dioxygène, ils constituent ainsi les véritables premiers puits de dioxygène de l'histoire de la Terre ; la photosynthèse bactérienne constituant, quant à elle, la première source de dioxygène. Mais peu après l'Archéen, vers - 1,9 Ga, ces fers rubanés ne se sont plus formés. Sur les continents, des formations de roches rouges appelées red beds, riches en oxydes de fer, se forment par érosion d'autres roches dès - 2 Ga (b). Cette formation requiert l'existence d'une atmosphère sensiblement oxygénée.

À la fin de l'époque Protérozoïque qui s'étend de - 2,5 à - 0,54 Ga, le développement d'une faune est attesté par des empreintes fossiles d'animaux (c), découvertes sur l'ensemble de la planète. Utilisant la respiration cellulaire comme source d'énergie, l'existence de ces organismes pluricellulaires suppose un accroissement du taux de dioxygène atmosphérique à cette époque. L'analyse de bulles d'air emprisonnées dans des cristaux d'halite* indiquait déjà un taux de dioxygène atmosphérique de 10,9 % vers - 0,815 Ga.

L'explosion de la vie se poursuit ensuite. Au Carbonifère, de - 0,36 à - 0,3 Ga, d'immenses forêts tropicales se développent dans lesquelles prolifèrent des fougères arborescentes et des « libellules » de 70 cm d'envergure (d) ! Leur système respiratoire était constitué de trachées*, et seul un taux considérable de dioxygène atmosphérique (plus de 35 % probablement) rendait possible leur existence.



a Pyrite contenue dans des poudingues archéens.

De nombreuses roches se forment par dépôt sédimentaire à la surface de la Terre. Les conditions dans lesquelles elles prennent naissance et leur éventuel contenu fossilifère témoignent notamment de la quantité de dioxygène atmosphérique de l'époque.

Des poudingues* d'Afrique du Sud datés de l'Archéen (**a**), époque comprise entre - 4 à - 2,5 Ga, contiennent de la pyrite (FeS_2). Ce minéral est très instable en présence de dioxygène dans l'eau. Or, la formation de ces poudingues a nécessité un long transport par des cours d'eau. La pyrite est absente des roches sédimentaires à partir de - 2,2 Ga.

Quelques paléosols* archéens contiennent de l'uraninite (UO_2). Ce minéral est lui aussi très instable en présence de dioxygène libre avec lequel il réagit et s'oxyde. Il est absent des roches sédimentaires à partir de - 2,2 Ga.



b *Red beds* aux multiples nuances de rouge (Blyde River Canyon, Afrique du Sud).

Les fers rubanés, autre formation sédimentaire, sont présents à l'Archéen dès – 3,5 Ga (voir [DOC. 2 c](#) p. 23). Leur formation nécessitant du dioxygène, ils constituent ainsi les véritables premiers **puits de dioxygène** de l'histoire de la Terre ; la photosynthèse bactérienne constituant, quant à elle, la première **source de dioxygène**. Mais peu après l'Archéen, vers – 1,9 Ga, ces fers rubanés ne se sont plus formés. Sur les continents, des formations de roches rouges appelées *red beds*, riches en oxydes de fer, se forment par érosion d'autres roches dès – 2 Ga (**b**). Cette formation requiert l'existence d'une atmosphère sensiblement oxygénée.

À la fin de l'époque Protérozoïque qui s'étend de – 2,5 à – 0,54 Ga, le développement d'une faune est attesté par des empreintes fossiles d'animaux (c), découvertes sur l'ensemble de la planète. Utilisant la respiration cellulaire comme source d'énergie, l'existence de ces organismes pluricellulaires suppose un accroissement du taux de dioxygène atmosphérique à cette époque. L'analyse de bulles d'air emprisonnées dans des cristaux d'halite* indiquait déjà un taux de dioxygène atmosphérique de 10,9 % vers – 0,815 Ga.

L'explosion de la vie se poursuit ensuite. Au Carbonifère, de – 0,36 à – 0,3 Ga, d'immenses forêts tropicales se développent dans lesquelles prolifèrent des fougères arborescentes et des « libellules » de 70 cm d'envergure (d) ! Leur système respiratoire était constitué de trachées*, et seul un taux considérable de dioxygène atmosphérique (plus de 35 % probablement) rendait possible leur existence.



(c) Dickinsonia, fossile de la faune d'Ediacara.

(d) Meganeura, insecte géant des forêts du Carbonifère. ➤



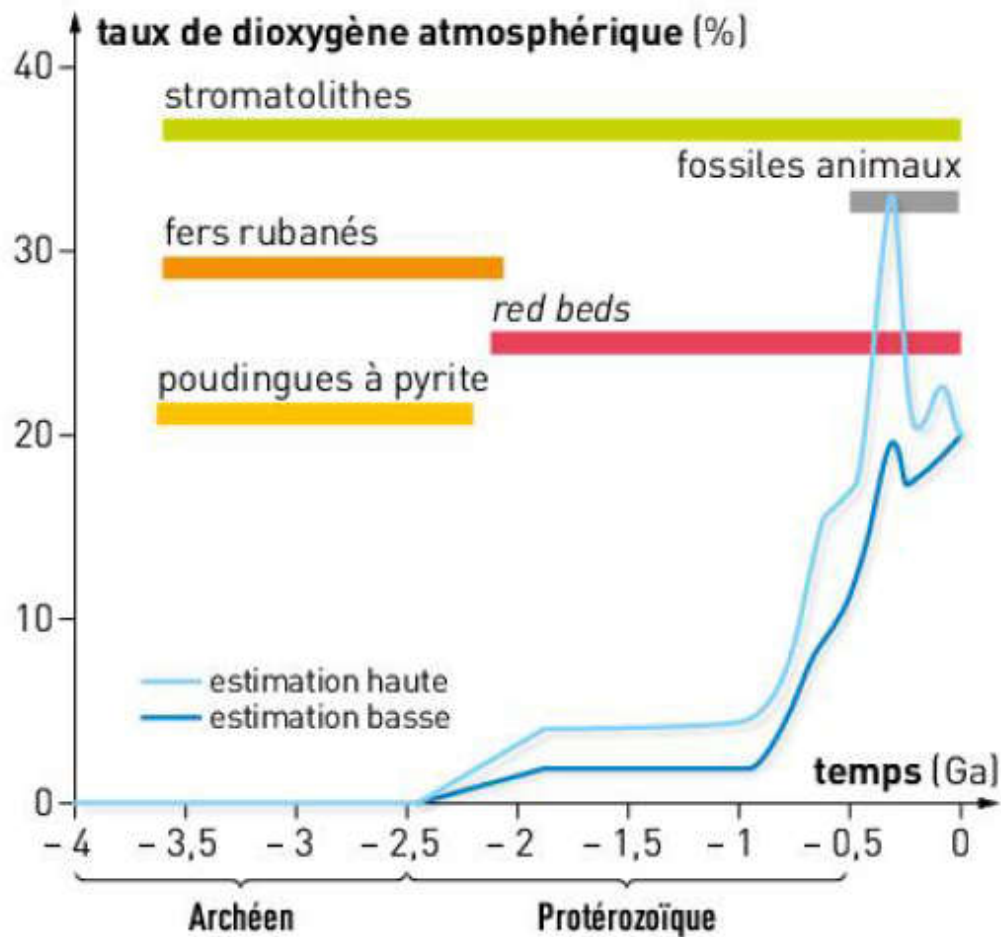
Formations géologiques	Époque de formation	Présence du dioxygène dans l'océan	Présence du dioxygène dans l'air
Stromatolithes	À partir de - 3,5 Ga	+	
Poudingues avec pyrite	De - 4 à - 2,2 Ga		-
Paléosols avec uraninite	Avant - 2,2 Ga		-
Fers rubanés	De - 3,5 à - 1,9 Ga	+	
Red beds	A partir de - 2 Ga		+
Halite contenant des bulles d'air	Vers - 0,815 Ga		++ (10,9 %)
Faune abondante	0,55 Ga		+++++
Animaux et plantes du Carbonifère	De - 0,36 à - 0,3 Ga		++++++ (> 35 %)

2. Justifiez l'évolution de la teneur en dioxygène de l'atmosphère à l'aide des divers indices géologiques.

DOC

2

La reconstitution de l'histoire du dioxygène atmosphérique



L'exploitation des indices contenus dans les roches sédimentaires qui se sont formées successivement au cours de l'histoire de la planète a permis de reconstituer les grandes lignes de l'histoire du dioxygène dans l'atmosphère terrestre (a).

Le dioxygène est un gaz peu soluble dans l'eau, comme en témoignent les bulles qui s'y forment (b).

◀ a Mise en parallèle des indices de l'oxygénation de l'eau ou de l'air et de l'évolution supposée du taux de dioxygène atmosphérique.

b Bulles de dioxygène, issu de la photosynthèse s'échappant de l'eau. ➤



De – 3,5 à – 2,2 Ga, la formation de poudingues contenant de la pyrite atteste d'une absence de dioxygène atmosphérique.

Parallèlement, la formation de stromatolithes prouve la production de dioxygène par des cyanobactéries dans les océans, dioxygène servant à l'oxydation du fer des gisements de fers rubanés.

À partir de – 1,9 Ga, les fers rubanés ne se forment plus contrairement aux Red beds qui apparaissent : une partie du dioxygène produit dans les océans par photosynthèse bactérienne est libérée dans l'atmosphère.

Progressivement, ce gaz s'accumule.

Le développement d'une faune abondante vers – 0,55 Ga indique une accumulation importante de dioxygène atmosphérique.

3. Identifiez les puits et sources actuels de dioxygène puis montrez que l'on peut considérer la teneur du dioxygène dans l'air comme étant stable.

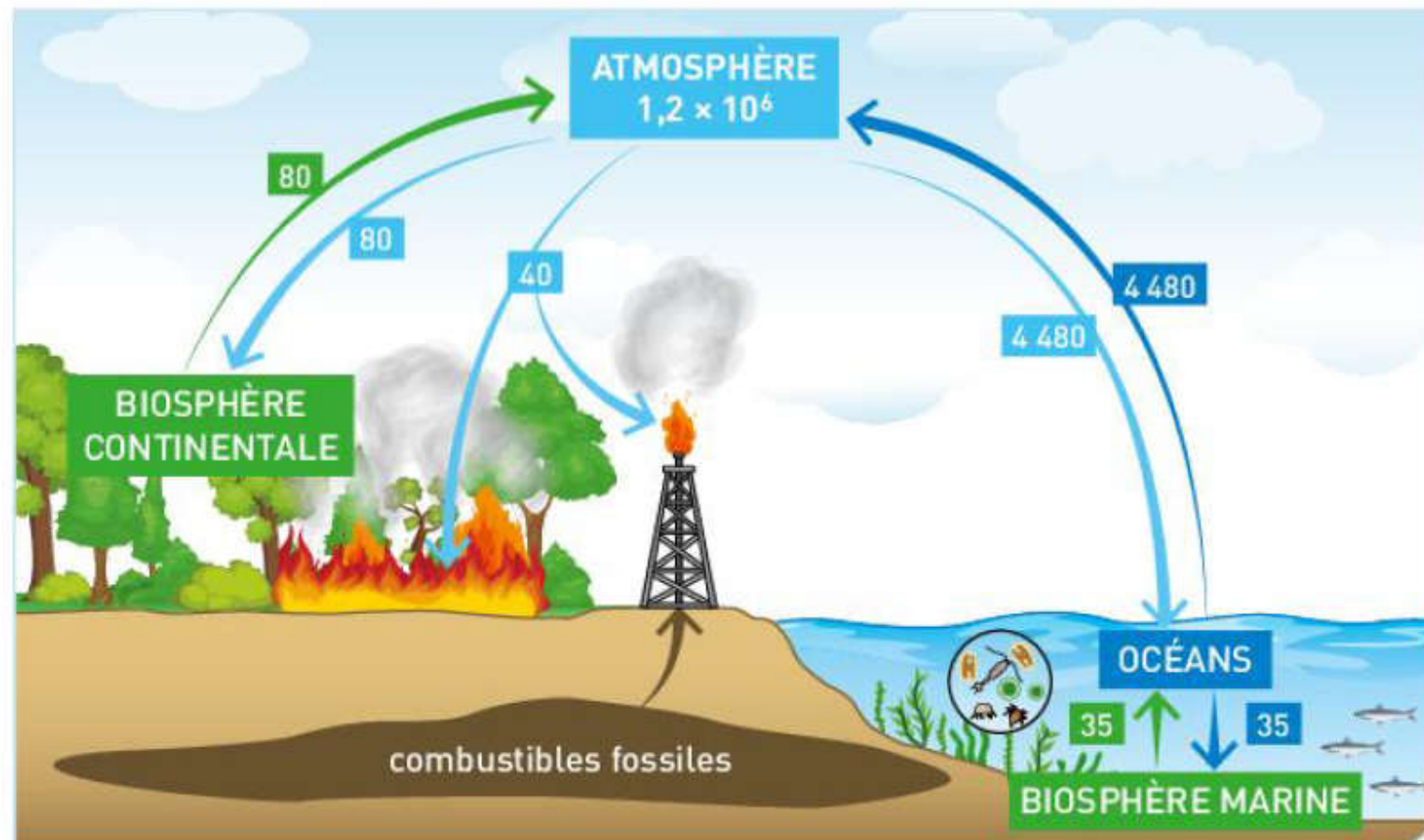
DOC
3

Le cycle biogéochimique actuel du dioxygène

Le schéma ci-contre représente les principaux flux de dioxygène entre l'atmosphère, les océans et la biosphère. Les valeurs sont exprimées en Gt de O_2 par an.

Les flèches liées à l'atmosphère ou aux océans représentent des gains ou des pertes de dioxygène.

Celles liées à la biosphère correspondent principalement aux métabolismes des êtres vivants.



Actuellement, la photosynthèse est la source essentielle de dioxygène à l'échelle de la planète alors que la respiration en est le puits principal.

Les échanges que ces deux métabolismes assurent entre l'atmosphère et la biosphère continentale (80 Gt par an) d'une part, la biosphère marine et l'océan (35 Gt par an) d'autre part, sont équilibrés.

Par ailleurs, les transferts directs entre atmosphère et océans par dissolution et entre océans et atmosphère par dégazage (4 480 Gt par an) sont eux aussi équilibrés.

Seules les combustions prélèvent 40 Gt par an de O_2 dans l'air.

Comme ce dernier en contient $1,2 \times 10^6$ Gt, le prélèvement annuel est donc de $40 \times 100 / 1,2 \times 10^6$ soit 0,0033 %.

On peut donc considérer que la teneur de l'air en dioxygène est stable.

La concentration atmosphérique actuelle de dioxygène a été atteinte il y a 500 millions d'années environ. Les sources et puits de dioxygène atmosphérique sont aujourd'hui essentiellement liés aux êtres vivants (photosynthèse et respiration) et aux combustions.

→ Bilan 2c et 2d p 30