

9. L'oxygène et l'océan

Aurélien Paulmier

L'oxygène (O) est l'atome le plus répandu sur notre planète, en particulier dans l'air, dans l'océan sous forme d'eau (H₂O), et dans les molécules de tout être vivant. Depuis 2,8 milliards d'années, les cyanobactéries* et les algues dans l'océan, puis les végétaux sur les continents, utilisent l'énergie solaire pour réaliser la photosynthèse*, permettant la formation du dioxygène (O₂), dont la Terre était largement dépourvue à son origine. La concentration d'O₂ dans l'atmosphère présente un taux élevé (20,8 %), directement lié à la vie, et qui constitue une aberration chimique comparée aux taux d'O₂ des autres planètes. Cette molécule gazeuse, mais dissoute en milieu aquatique, est aussi un oxydant* très fort qui possède la propriété spécifique de pouvoir former des composés avec presque tous les autres éléments chimiques. L'apparition de l'O₂, « déchet » de la photosynthèse*, a constitué une catastrophe pour les êtres vivants primitifs, générant une mortalité en masse, jusqu'à l'apparition de la respiration*. La respiration de l'O₂ est alors devenue indispensable à la vie de toutes les espèces aérobies* : bactéries, plantes, animaux. Paradoxalement, l'O₂ produit toujours des radicaux libres*, qui endommagent les molécules biologiques et les cellules, induisant des mutations et, in fine, la mort. Le niveau d'oxygénation, relativement stable dans l'atmosphère, joue donc un rôle clé dans la régulation de la vie. En retour, le vivant contrôle cette teneur d'O₂, via des mécanismes produisant et consommant le dioxygène, à savoir d'une part la photosynthèse*, et d'autre part la respiration* et la reminéralisation*.

Le rôle de l'océan

Le cycle de l'oxygène repose sur les échanges entre les réservoirs, essentiellement atmosphérique et océanique, sachant qu'au moins 50 % de l'oxygène que nous respirons provient de l'océan. Globalement, l'O₂ atmosphérique pénètre dans l'océan par les pôles, tandis qu'il est dégazé au niveau de l'équateur. Saisonnièrement, l'océan absorbe l'O₂ en automne et en hiver, et le rejette vers l'atmosphère, en printemps et en été. Ces transferts s'expliquent par des mécanismes physico-chimiques, l'O₂ étant plus soluble quand il fait plus froid, et biologiques, liés aux épisodes de floraisons phytoplanctoniques* et de leur dégradation.

L'océan en surface est oxygéné dans une couche proche de l'atmosphère, à la fois mélangée par le vent et les vagues et illuminée par le soleil, où se réalise l'essentiel de la photosynthèse* marine. En revanche, sous cette couche de surface, la concentration d'O₂ tend à diminuer avec la profondeur. Près des pôles, l'eau salée et froide issue de la formation de glace de mer, plonge jusqu'au fond (> 4000 m), chargée d'O₂. Ces eaux profondes circulent depuis le Nord et le Sud de l'Atlantique jusqu'à l'Océan Indien, puis le Pacifique Nord, où elles resurgiront après environ un millier d'années, constituant le mécanisme majeur d'oxygénation de l'océan (cf. II.12). Le long de leur parcours

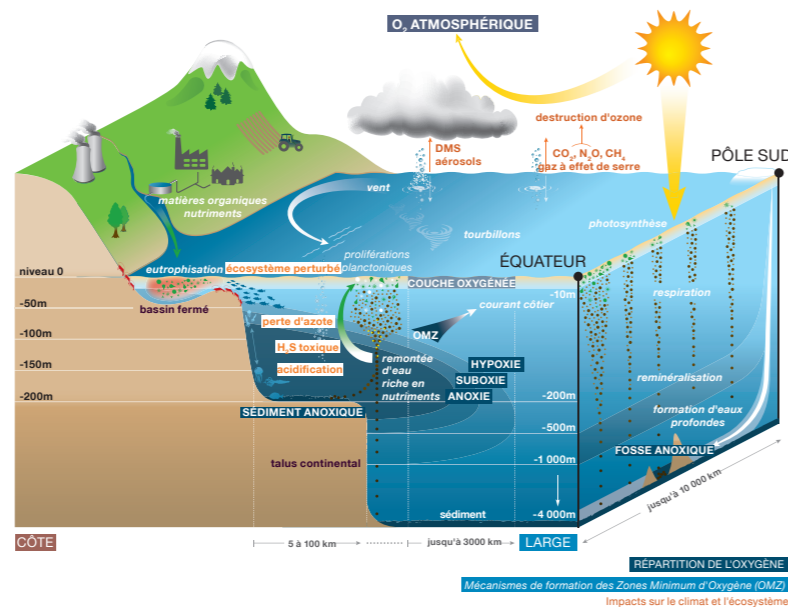


Fig. 1 – Schéma illustrant la répartition de l'oxygène (O₂) et des OMZs* dans l'océan (fonds bleus), ainsi que les principaux mécanismes (blanc) et impacts (orange) associés, depuis la grande échelle au large (à droite) jusqu'à proximité des côtes (à gauche). © M. P. CHARRIA et A. PAULMIER. ■

modulé par les courants, ces eaux vont peu à peu perdre leur dioxygène, car elles se retrouvent exposées à une pluie de particules, produites en surface par le phytoplancton* et l'ensemble du réseau trophique*, qui, en se dégradant, consomment de l'O₂ par reminéralisation*. La teneur en O₂ dissous peut ainsi servir à reconstituer l'histoire de cette masse d'eau et, donc, être un traqueur de son évolution. La reminéralisation* est réalisée majoritairement entre 0 et 1000 m, par des communautés microbiennes qui peuvent voyager attachées aux particules, induisant un minimum d'O₂ dans les eaux intermédiaires des océans (figure 1).

Dans les eaux les plus stagnantes, relativement vieilles (10 < 100 ans) et sans contact récent avec l'atmosphère, ces minima d'O₂ peuvent s'intensifier (suboxie, anoxie). Souvent délimitées par des tourbillons, elles forment alors des Zones de Minimum d'Oxygène (OMZ)* s'étendant entre 10 et 1000 mètres environ, jusqu'à plus de 3000 km des continents en océan ouvert, comme dans le Pacifique Est, ou en configuration plus fermée (Indien Nord, Mer Noire, fosses profondes, estuaires, figure 2).

Évolution et impacts sur le climat et les écosystèmes*

En réponse aux variations climatiques, des périodes d'oxygénation dans l'océan ont naturellement alterné avec des périodes de désoxygénation : de l'échelle géologique du million d'années, jusqu'à des fluctuations horaires. Ces variations complexes dérivent de celles des processus de ventilation et de mélange de l'océan, mais également de production de particules planctoniques fertilisées épisodiquement par *upwelling**. Cependant, depuis la révolution

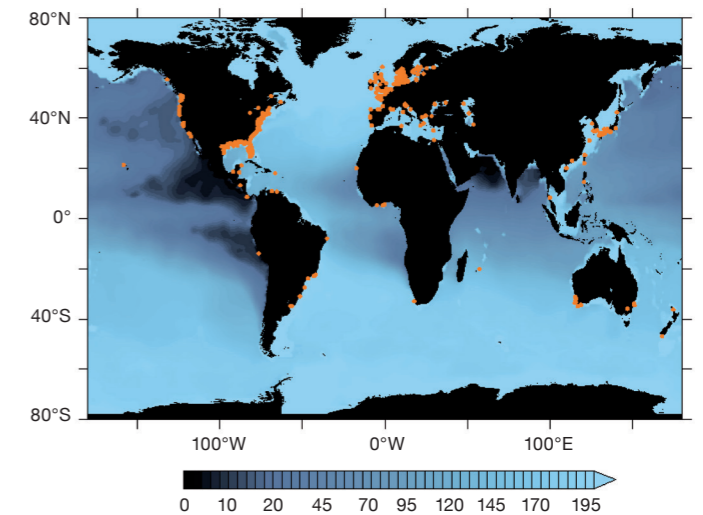


Fig. 2 – Carte de la répartition des concentrations minimales d'oxygène (O₂) dans l'océan (en µmol/litre) faisant apparaître les OMZs* en bleu-gris foncé, avec les sites côtiers où des événements hypoxiques* ont été reportés (points oranges). Données issues du World Ocean Atlas 2013 et Diaz et Rosenberg, 2008. © A. PAULMIER et S. ILLIG. ■

industrielle et, plus particulièrement la fin de la deuxième guerre mondiale, le réchauffement climatique induit des températures de surface plus chaudes et l'océan tend à se désoxygéner. En zones côtières, où le sédiment joue un rôle important dans la reminéralisation*, la fréquence des événements hypoxiques* recensés augmente de manière exponentielle en réponse aux rejets d'effluents*. Toutefois, il reste à mieux comprendre les rôles respectifs des causes naturelles et d'origine humaine.

Pour conclure, notons l'importance des OMZs, de par leurs rétroactions potentiellement majeures sur les cycles biogéochimiques* de la planète, impactant le climat : source de gaz à effet de serre, destruction d'ozone stratosphérique, rôle dans la formation des nuages via les aérosols marins et

régulation de l'albédo* de la planète. Les OMZs, longtemps considérées comme des zones mortes, impactent également les écosystèmes et la pêche : barrière respiratoire, perte de nutriment (nitrate), acidification*, production de gaz toxique, limitation de la biodiversité. Les OMZs constituent cependant des refuges pour une vie marine insoupçonnée, laboratoires naturels pour étudier l'adaptation au changement climatique, stimulant dans la zone frontière entre les milieux oxygénés et désoxygénés l'émergence d'écosystèmes parmi les plus actifs et abondants de l'océan. Il est donc crucial d'être vigilant au maintien de cet équilibre dynamique de l'oxygène entre les différents compartiments de la planète et de l'océan, en pleine interaction avec les différentes formes du vivant.

Références bibliographiques

- G. COPIN-MONTEGUT – *Chimie de l'eau de mer*, Institut Océanographique, 1996.
- K. ISENSEE, L. A. LEVIN, D. BREITBURG, M. GREGOIRE, V. GARCON et L. VALDES – *L'Océan est à bout de souffle*, In Océan et Climat – Fiches scientifiques, Deuxième édition, Tome 2, 2016.