

L'OXYGENATION DE L'ATMOSPHERE TERRESTRE POURRAIT ETRE CONTROLEE PAR LA DYNAMIQUE INTERNE DE NOTRE PLANETE

L'atmosphère terrestre est restée anoxique pendant deux milliards d'années après l'accrétion de notre planète. La teneur en oxygène a ensuite augmenté de façon rapide au cours d'une période géologique bien identifiée. On pense généralement que c'est la biosphère elle-même qui est responsable de cette libération d'oxygène, à cause de l'évolution progressive des formes de vie sur Terre. Un groupe de chercheurs du *Laboratoire Magmas et Volcans (LMV / OPGC, UCA / CNRS / IRD / UJM)*, de *Géosciences Montpellier*, de l'*European Synchrotron Radiation Facility* et du laboratoire *Extrêmes et Matériaux: Haute Température et Irradiation* proposent un tout autre scénario. En se basant sur l'observation expérimentale d'une quantité importante de fer ferrique dans le manteau terrestre profond, ils suggèrent que l'ascension vers la surface de la Terre de ce matériau oxydé a induit l'oxygénation de l'atmosphère. Ces mouvements d'ascension auraient été entravés au cours de la période la plus ancienne, l'archéen, lorsque la croûte terrestre était dominée par la présence de microplaques flottantes. Puis, il y a environ 2,5 milliards d'années, l'établissement définitif de la tectonique des plaques a favorisé le mélange entre les réservoirs mantelliques et la remonté d'oxygène à la surface du globe.

Au cours de l'ère archéenne, la dynamique de l'intérieur de notre planète était très active, mais les mouvements convectifs dans le manteau se produisaient de façon relativement découplés de la croûte terrestre qui, à l'époque, « flottait » sur le manteau. Ce régime primitif de convection a été progressivement remplacé par la tectonique des plaques moderne qui implique la subduction de croûte océanique à l'intérieur du manteau et la remontée profonde de panache volcanique. Cette évolution a pu être relativement chaotique, puisqu'elle a entraîné des événements volcaniques ultramafiques majeurs augmentant considérablement la quantité de lave fraîche parvenant à la surface de la Terre. Fait intéressant, c'est à peu près à la même période que l'atmosphère de la Terre a connu le Grand Événement d'Oxygénation, qui est une étape majeure dans l'évolution de la vie sur Terre. Alors que ce type de coïncidence temporelle est rarement fortuit dans la Nature, aucune corrélation n'avait encore été proposée entre l'évolution thermochimique de l'intérieur de la Terre et la teneur en oxygène de l'atmosphère terrestre.

Les auteurs de cette étude proposent un scénario global qui corrèle l'âge et l'amplitude du Grand Événement d'Oxygénation avec l'évolution dynamique de l'intérieur de notre planète au cours des âges géologiques. Le scénario décrit d'abord un manteau primitif relativement riche en oxygène, en raison de l'élimination du fer métallique au cours de l'épisode de formation de noyau. C'est la phase la plus abondante du manteau, la bridgmanite de composition $(\text{Mg,Fe})(\text{Si,Al})\text{O}_3$, qui peut incorporer une quantité importante de fer ferrique (Fe^{3+}) et donc un excès relatif d'oxygène. Les mesures expérimentales originales utilisant à la fois la spectroscopie d'absorption des rayons X et la spectroscopie Mössbauer permettent de déterminer la quantité totale d'oxygène potentiellement stockée dans le manteau primitif: Pour le manteau inférieur situé entre 670 km et 2900 km de profondeur (correspondant à la limite noyau-manteau à une pression de 135 GPa et une température de plus de 3500 K), le contenu en fer ferrique est significatif, environ 20%. Comparée aux teneurs classiques observées dans les matériaux mantelliques à la surface de la Terre, cette valeur de 20% suggère un excès d'oxygène dans le manteau profond primitif qui serait 500-1000 fois la teneur en O_2 dans l'atmosphère terrestre aujourd'hui.

Le sort de cet excès d'oxygène primordial est critique pour la compréhension de l'état d'oxydo-réduction de notre planète. Pendant toute la période archéenne, le manteau terrestre a pu rester relativement isolé de la surface de la Terre, à cause d'un régime de convection n'impliquant par une subduction profonde de la croûte. Cela a pu retarder le mélange entre les réservoirs mantelliques. Puis l'apparition de la tectonique des plaques a pu induire le Grand Événement d'Oxygénation il y a environ 2,5 milliards d'années. L'établissement progressif du régime de subduction a favorisé le mélange entre les réservoirs mantelliques et donc la remontée vers la surface de la Terre du manteau primitif oxydé.

Les processus géologiques qui ont permis le transfert de l'oxygène d'une source profonde du manteau à la surface de la Terre sont multiples et complexes. Néanmoins, l'augmentation de la teneur en oxygène à la surface de la Terre a entraîné la précipitation d'une grande variété de minéraux contenant des espèces ioniques plus oxydées, notamment des carbonates, des phosphates, des sulfates, etc. La quantité massive d'oxygène pouvant être stockée (sous forme de fer ferrique) dans la phase bridgmanite aux cours des premières étapes de la formation de la Terre apparaît comme une source unique pouvant induire tous ces changements.

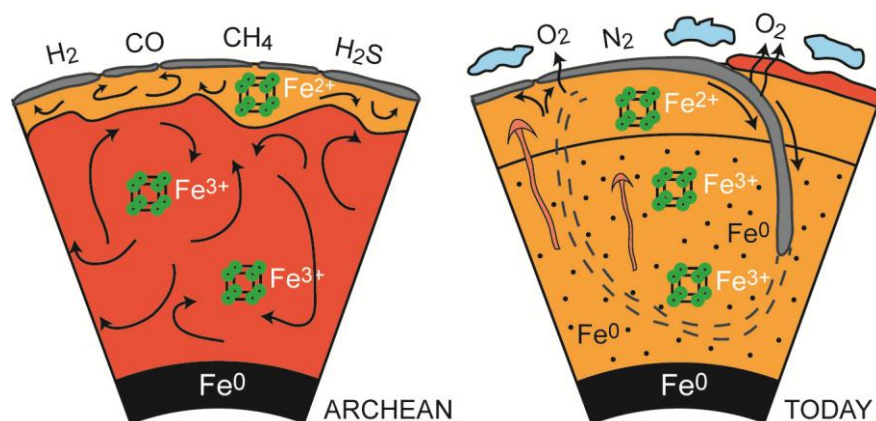
Bibliography

Large oxygen excess in the primitive mantle could be the source of the Great Oxygenation Event. D. Andrault, M. Muñoz, G. Pesce, V. Cerantola, A. Chumakov, I. Kantor, S. Pascarelli, R. Rüffer, L. Hennet. *Geochemical Perspective letters*. doi: 10.7185/geochemlet.1801

Contact

Denis Andrault (LMV/OPGC): denis.andrault@uca.fr

Manuel Munoz (GM): manuel.munoz@umontpellier.fr



Légende:

Pendant l'Archéen, le manteau profond oxydé est resté isolé de la surface de la Terre à cause d'un régime tectonique caractérisé par presque aucune subduction. À cette époque, l'atmosphère était anoxique. La transition vers la tectonique des plaques moderne qui s'est produite il y a 2,5 milliards d'années a grandement favorisé le mélange du manteau. La subduction de la croûte et la convection globale du manteau ont provoqué l'ascension du manteau profond oxydé et des laves fraîches ont atteint la surface de la Terre. De grandes quantités d'oxygène ont été potentiellement émises à la surface de la Terre, par le biais de flux volcaniques ou d'autres processus d'échanges souterrains.