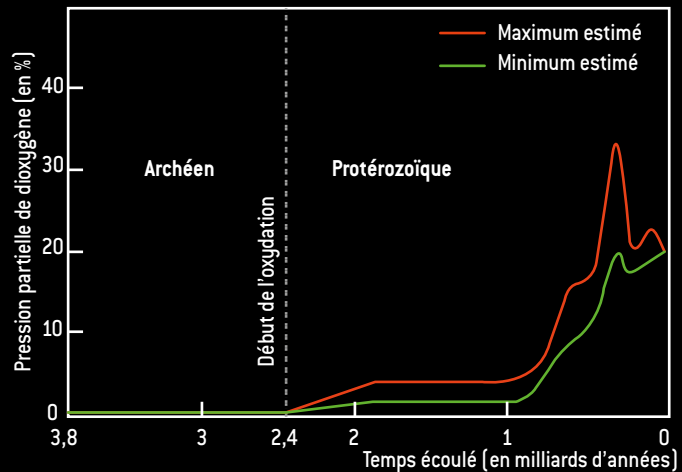


Géochimie

## Le méthane, facteur clé de la Grande Oxydation

*Il y a 2,4 milliards d'années, l'oxygénation de l'atmosphère terrestre par les bactéries photosynthétiques aurait été facilitée, voire rendue possible, par l'activité préalable des bactéries productrices de méthane.*



Titan, lune de Saturne (*ci-dessus*), est entouré d'un halo de méthane probablement similaire à celui de la Terre juste avant la Grande Oxydation, événement capital dans l'histoire de la vie (*ci-dessus à droite*).

La teneur  
atmosphérique  
en dioxygène a été  
**multipliée par**  
**100 000**  
depuis la Grande Oxydation,  
il y a 2,4 milliards  
d'années.

Il y a 2,4 milliards d'années, au Protérozoïque, ère qui suit l'Archéen, l'atmosphère terrestre s'est fortement enrichie en dioxygène (voir la courbe *ci-dessus*). Deux principaux mécanismes sont supposés expliquer cet événement nommé Grande Oxydation : la photosynthèse d'une part, accompagnée par un enfouissement de matière organique dans les sédiments ; l'échappement d'hydrogène vers l'espace d'autre part, qui réduit le piégeage de l'oxygène sous la forme d'eau ( $H_2O$ ). Or avec des collègues, Gareth Izon, de l'université de Saint Andrew, en Écosse, vient de présenter un scénario accréditant l'idée qu'une production biologique massive de méthane ( $CH_4$ ) aurait déclenché une évacuation massive de l'hydrogène planétaire.

Dans l'ouest du bassin sédimentaire du Griqualand, en Afrique du Sud, les chercheurs ont mis en évidence, à 840 mètres de profondeur, dans une strate d'époque juste antérieure à la Grande Oxydation, de brutales

variations des rapports isotopiques  $^{36}S/^{32}S$  et  $^{33}S/^{32}S$ , relatifs au soufre, et une baisse du rapport  $^{13}C/^{12}C$ , pour le carbone.

Ces changements signent l'arrivée massive de méthane dans l'atmosphère. Pourquoi ? En conditions anaérobies, le métabolisme des bactéries sulfato-réductrices, qui « respirent » des sulfates et produisent des sulfures, conduit à de légères différences entre les abondances des isotopes de soufre. Toute variation dans leurs proportions signale une évolution de l'atmosphère.

De quels changements s'agit-il ? L'enrichissement concomitant des sédiments marins en carbone 12 indique une production massive de méthane. En effet, les bactéries méthanogènes synthétisent plus de méthane à partir de carbone 12 qu'à partir de carbone 13. Lorsque ces bactéries abondent, elles accumulent le méthane à carbone 12, lequel finit donc par s'amasser dans les sédiments marins.

La modélisation de l'atmosphère archéenne réalisée par les

chercheurs suggère que les variations mesurées s'expliquent au mieux si l'on admet que juste avant la Grande Oxydation, les bactéries méthanogènes ont, pendant un million d'années, créé dans l'atmosphère une brume de méthane comparable à celle présente sur Titan, la lune de Saturne. Parvenues dans la haute atmosphère, les molécules  $CH_4$  auraient été dissociées par le rayonnement solaire, et des masses énormes d'hydrogène se seraient ainsi échappées dans l'espace.

À la fin de l'Archéen, la multiplication de tels épisodes aurait considérablement diminué le caractère réducteur de l'atmosphère. Ensuite, l'activité des bactéries photosynthétiques ainsi qu'un autre processus, la dissociation de molécules d'eau par le rayonnement solaire dans la haute atmosphère, ont peu à peu augmenté la teneur atmosphérique en dioxygène – qui est aujourd'hui environ 100 000 fois celle atteinte par la Grande Oxydation.

F. S.

PNAS, vol. 114, pp. E2571-E2579, 2017

## Embryologie

### Dans le dédale de l'embryon humain

**C**artographier l'embryon humain en trois dimensions à l'échelle cellulaire et au fil de son développement, c'est ce qu'a entrepris une équipe de l'Institut de la vision (UPMC/Inserm/CNRS), à Paris, et du centre de recherche Jean-Pierre Aubert (université de Lille, CNRS), sous la direction d'Alain Chédotal.

Auparavant, on obtenait des reconstructions tridimensionnelles à partir de milliers d'embryons et de fœtus morts dont on analysait de fines coupes au microscope, aux différents stades du développement. Aujourd'hui, de nouvelles techniques d'imagerie permettent de visualiser l'intérieur de l'embryon entier au cours du premier trimestre de développement. À l'aide d'anticorps fluorescents, Alain Chédotal et ses collègues ont marqué certaines protéines spécifiques des cellules qu'ils voulaient suivre; puis ils ont rendu l'embryon transparent en le plongeant dans plusieurs solvants, ce qui élimine les membranes des cellules tout

Dès le premier trimestre de gestation, trois nerfs sensoriels (en bleu, violet et vert) de la main se segmentent en des myriades de projections qui innervent la peau jusqu'au bout des doigts, a révélé une nouvelle cartographie de l'embryon.



en préservant leur architecture protéique. Enfin, en utilisant un microscope à haute résolution dit à feuillet de lumière, qui balaye l'échantillon avec un plan lumineux (et non un point, comme les microscopes classiques), ils ont scanné l'embryon.

Le résultat est spectaculaire. En analysant 36 embryons et fœtus de 6 à 14 semaines avec 70 anticorps, les biologistes ont obtenu des cartes précises du développement des systèmes musculaire, vasculaire, cardiopulmonaire,

urogénital et du système nerveux périphérique. Ils ont ainsi montré que la vascularisation des voies génitales se différencie au moment où le sexe se détermine. L'idée est à présent d'enrichir ces données afin de construire un atlas 3D de l'embryon humain, disponible sur Internet tant pour l'enseignement que pour préciser les mécanismes de régulation de son développement.

**Marie-Neige Cordonnier**

M. Belle et al., *Cell*, vol. 169, pp. 161-173, 2017

## Asthme et hygiène

Pourquoi l'asthme est-il de plus en plus répandu, en particulier dans les pays développés? Une hypothèse est que ce serait dû à l'hygiène excessive qui caractérise nos vies urbaines. Des études épidémiologiques ont en effet montré que s'exposer à un environnement riche en microbes protège contre le développement d'allergies, dont l'asthme. Toutefois, le mécanisme en jeu restait inconnu. Catherine Sabatet et Coraline Radermecker, de l'université de Liège, en Belgique, et leurs collègues ont mis en évidence une explication.

En exposant des souris à des fragments d'ADN bactérien connus pour moduler la réponse immunitaire de modèles animaux, les biologistes ont montré que ces fragments augmentent la production de macrophages à partir d'un réservoir situé dans la rate. Ces macrophages s'infiltrèrent dans les poumons, où ils protègent les souris contre l'asthme en présence d'allergènes. Injectés à des souris asthmatiques, ils les guérissent. Reste à savoir si un mécanisme similaire est à l'œuvre chez l'homme.

## Astrophysique

### Un même axe de rotation pour plusieurs étoiles

**L**es étoiles naissent dans de gigantesques nuages de gaz et de poussière opaques. La connaissance du processus de leur formation repose donc surtout sur des modèles dont les détails restent à établir. En étudiant des étoiles anciennes, Enrico Corsaro, du CEA-Saclay, et ses collègues ont montré que ces astres ont hérité certaines propriétés des conditions de leur naissance au sein des nuages de gaz.

Les chercheurs se sont intéressés à 48 géantes rouges, de une à deux masses solaires, appartenant à deux amas anciens. Par la technique d'astérosismologie, l'étude des modes de vibration des étoiles,

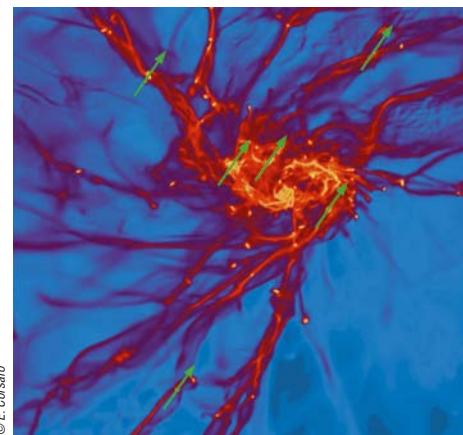
ils ont montré que dans un même amas, environ 70 % des axes de rotation de ces étoiles pointent dans la même direction.

Ce résultat est étonnant, car dans les modèles d'effondrement des nuages de gaz et de formation des étoiles, les importants phénomènes de turbulence, engendrés par les mouvements désordonnés du gaz, conduisent à une distribution aléatoire de la direction des axes de rotation. Pour expliquer l'alignement de ces axes dans les amas étudiés, les chercheurs suggèrent que le mouvement de rotation du nuage était assez important pour s'imprimer dans l'orientation des axes des étoiles.

Pour le vérifier, ils ont effectué des simulations numériques d'un nuage de gaz en effondrement. Ils ont montré que les propriétés de rotation du nuage sont transférées aux étoiles individuelles si au moins 50 % de l'énergie cinétique du nuage est sous forme d'énergie rotationnelle. En outre, seules les étoiles de masse supérieure à 0,7 fois celle du Soleil préservent ces caractéristiques. Les étoiles plus légères sont plus sensibles aux turbulences: leur axe de rotation prend donc une direction aléatoire.

**Sean Bailly**

E. Corsaro et al., *Nature Astronomy*, en ligne le 13 mars 2017



Lorsqu'un nuage de gaz et de poussière s'effondre sur lui-même, le mouvement de rotation initial laisse son empreinte sur les axes de rotation (en vert) des étoiles formées.