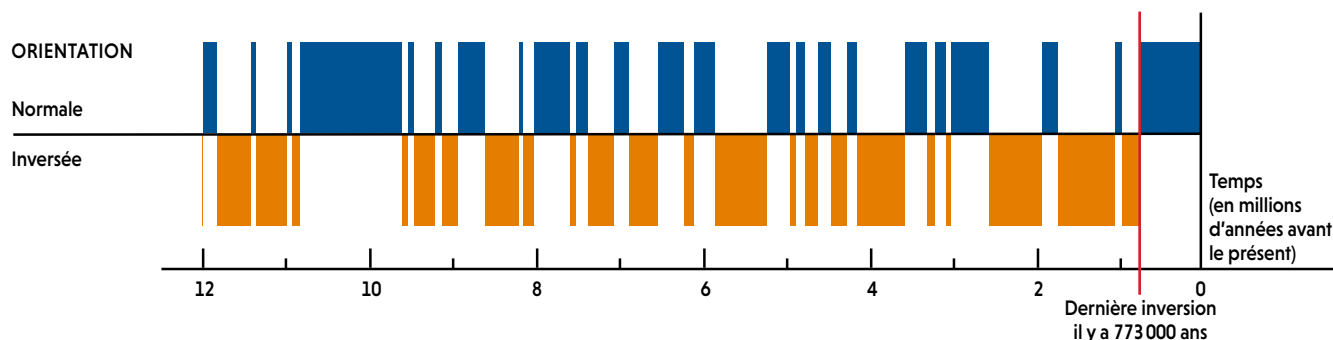




Le champ magnétique terrestre s'est inversé de nombreuses fois au cours de son histoire. Le pôle nord magnétique se retrouve alors à proximité soit du pôle Nord géographique, soit du pôle Sud géographique. L'étude des roches volcaniques permet d'établir la chronologie des époques où le champ était orienté de façon normale (en bleu) ou inversée (en orange). Le pôle de polarité nord de l'aimant terrestre est actuellement situé près du pôle Sud géographique, on dénote par convention cette configuration comme « normale ».

de degrés, bien au-delà de la température de Curie du fer. Impossible d'avoir un aimant permanent dans ces conditions.

Mais alors, d'où provient le champ magnétique terrestre ? Au XIX^e siècle, Ampère a proposé une nouvelle piste en s'appuyant sur les expériences de Hans Christian Ørsted, qui découvrit en 1820 un lien entre électricité et magnétisme. Ce physicien danois montra qu'en faisant circuler un courant électrique dans un conducteur, on dévie l'aiguille d'une boussole placée à proximité : un courant électrique produit un champ magnétique. Deux ans plus tard, Ampère proposa que le magnétisme terrestre était lié à des courants électriques à l'intérieur de la Terre : « L'idée la plus simple, et celle qui se présenterait immédiatement à celui qui voudrait expliquer cette direction constante de l'aiguille, ne serait-elle pas d'admettre dans la Terre [...] un courant électrique perpendiculaire au méridien magnétique ? » L'origine dudit courant électrique restait cependant à déterminer.

Serait-ce un courant momentané ? On peut calculer qu'un courant électrique non entretenu se dissiperait sous forme de chaleur en quelque dix mille ans, à cause de la résistivité électrique de la planète. Mais la Terre a un champ magnétique depuis

plusieurs milliards d'années, montrent les enregistrements fossiles...

Ces enregistrements fossiles consistent en des coulées volcaniques qui contiennent des minéraux ferrières (comme la magnétite). En se refroidissant, elles produisent des roches dont l'aimantation s'oriente selon la direction du champ magnétique de l'époque et du lieu de la coulée (un mécanisme comparable existe dans les sédiments au fond des lacs). Or en 1906, le géophysicien français Bernard Brunhes a mis en évidence que des coulées successives en un même lieu indiquaient parfois un nord géomagnétique proche du nord géographique, parfois un nord géomagnétique proche du sud géographique. Il venait de découvrir les inversions du champ magnétique terrestre (voir la figure ci-dessus). S'il a fallu près d'un demi-siècle pour que sa découverte soit acceptée par l'ensemble de la communauté scientifique, elle est aujourd'hui bien établie : le champ magnétique de la Terre s'est inversé plusieurs fois au cours de son histoire.

LA VALSE DU CHAMP MAGNÉTIQUE

Ces inversions se produisent de façon irrégulière. Une période dure en moyenne quelques centaines de milliers d'années, mais la planète a aussi connu des périodes de plus de 30 millions d'années sans inversion. La dernière inversion date d'il y a 773 000 ans. La durée d'une inversion peut être déterminée soit par la lente décroissance de l'intensité qui la précède, soit par le changement de direction plus rapide. En 2012, l'équipe de Jean-Pierre Valet, de l'institut de physique du globe de Paris, a montré que cette étape durait environ mille ans. En 2019, Brad Singer, de l'université du Wisconsin, aux États-Unis, et ses collègues ont proposé qu'elle puisse durer jusqu'à vingt-deux mille ans. D'autres analyses seront nécessaires pour trancher ce débat.

Ce faisceau d'observations indique qu'un mécanisme complexe doit être à l'origine du champ magnétique terrestre. C'est finalement Joseph Larmor, professeur de l'université de Cambridge, qui trouva en 1919 la solution du problème. Il proposa pour la première fois un

La dernière inversion date d'il y a 773 000 ans et la période de transition a duré quelques milliers d'années

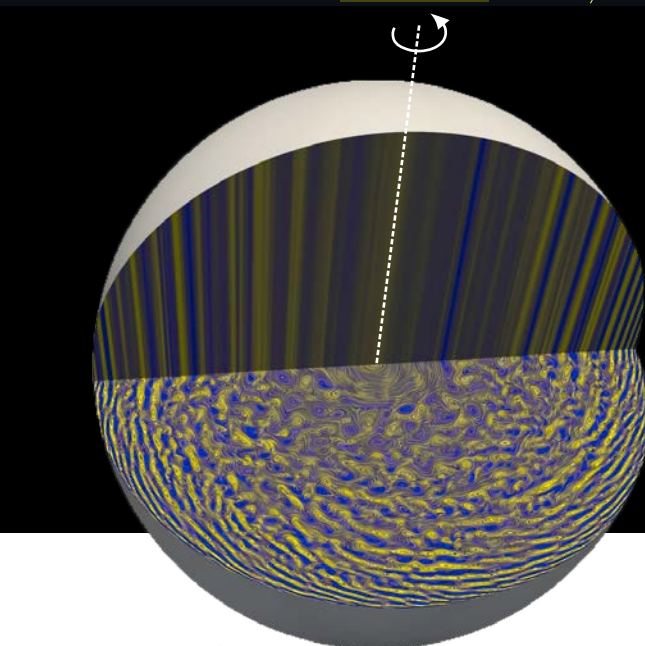
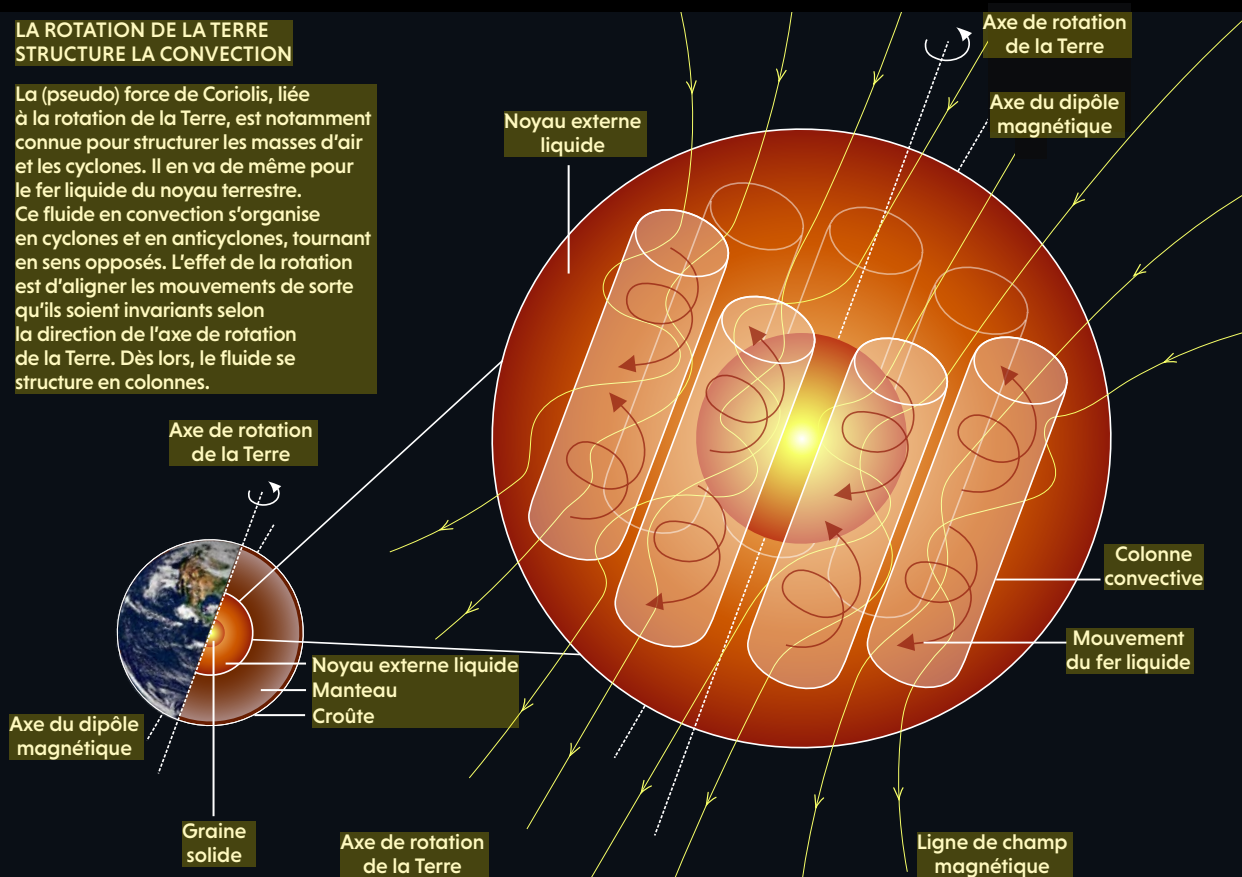
DES COLONNES DE FER LIQUIDE AU CENTRE DE LA TERRE

Pour que la dynamo terrestre fonctionne, le fer liquide du noyau de la Terre doit être animé de mouvements. C'est le cas notamment grâce à la convection thermique : le liquide plus profond étant plus chaud, il est moins dense et tend donc à monter vers la surface, tandis que le fer plus froid plonge. La croissance de la graine solide, à mesure que le noyau se refroidit, contribue aussi aux mouvements de convection. Pour bien décrire

la convection, il faut prendre en compte la rotation de la Terre sur elle-même, dont résulte une force inertielle, la force de Coriolis. On montre alors que les mouvements de convection du fer liquide se structurent en colonnes parallèles à l'axe de rotation de la planète. À mesure que le champ magnétique produit par l'effet dynamo s'intensifie, les forces associées entrent en compétition avec la force de Coriolis et détruisent la structure en colonnes.

LA ROTATION DE LA TERRE STRUCTURE LA CONVECTION

La (pseudo) force de Coriolis, liée à la rotation de la Terre, est notamment connue pour structurer les masses d'air et les cyclones. Il en va de même pour le fer liquide du noyau terrestre. Ce fluide en convection s'organise en cyclones et en anticyclones, tournant en sens opposés. L'effet de la rotation est d'aligner les mouvements de sorte qu'ils soient invariants selon la direction de l'axe de rotation de la Terre. Dès lors, le fluide se structure en colonnes.



UNE SIMULATION RÉALISTE DE LA CONVECTION

Les simulations numériques permettent de mieux comprendre la structure des colonnes en l'absence de champ magnétique. En 2019, Céline Guervilly, de l'université de Newcastle, et ses collègues ont réalisé une simulation avec des paramètres les plus réalistes possible (ci-contre en coupes équatoriale et méridionale, les couleurs indiquant la vitesse de rotation du fluide dans le sens horaire ou antihoraire). Ces colonnes ont un diamètre typique de l'ordre de 30 kilomètres et se répartissent sur plusieurs couches concentriques. Ici, le noyau ne présente pas de graine solide, car les chercheurs étudient la dynamique préalable à la formation de la graine et du champ magnétique.