

peuvent aussi être créées par la poussée des vents d'Est. Elles se réfléchissent à leur tour sur les côtes indonésiennes en ondes de Kelvin. On obtient ainsi une combinaison d'ondes en phase ou en opposition de phase, selon leur vitesse de propagation et le pouvoir réflecteur des côtes. Cette combinaison détermine les variations de température de surface de l'océan. Par couplage, l'atmosphère tropicale réagit à ces variations océaniques, et, ce faisant, en provoque de nouvelles. On comprend ainsi pourquoi, une fois qu'El Niño s'est déclenché, il n'est pas toujours suivi de La Niña : ces événements dépendent de l'inertie du système oscillant formé par l'atmosphère et par l'océan. On comprend éga-

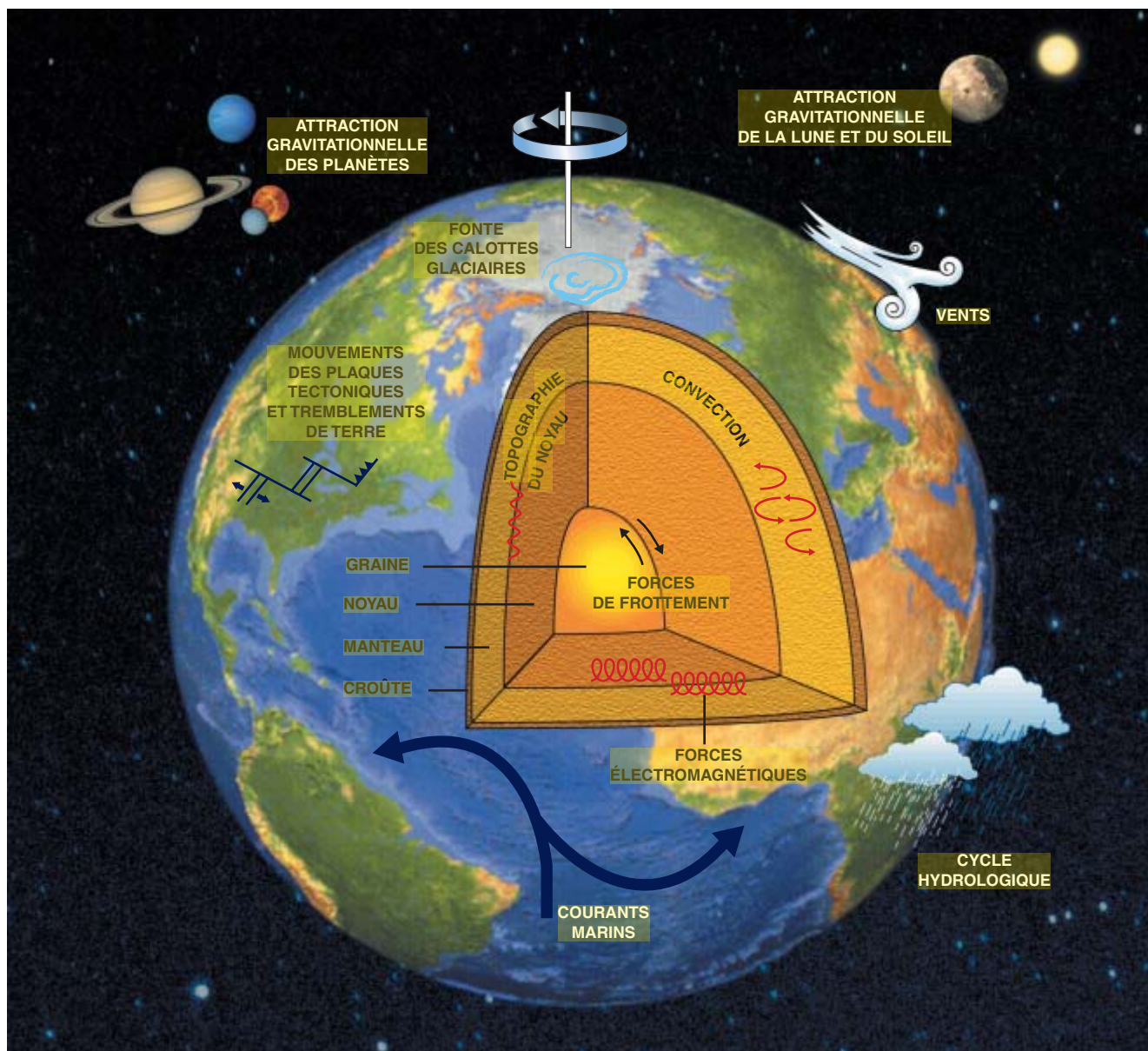
lement comment El Niño agit sur l'atmosphère à des échelles de temps qui vont de quelques mois à la décennie.

La rotation de la Terre et l'atmosphère

Dans ce système oscillant, les facteurs à prendre en compte et les interactions sont si nombreuses qu'aujourd'hui les climatologues essaient une nouvelle approche plus globale : ils s'intéressent à la vitesse de rotation de la Terre, dont on a découvert qu'elle diminue et passe par des minimums à chaque événement El Niño.

La Terre ne tourne pas toujours à la même vitesse. Au début du XVII^e

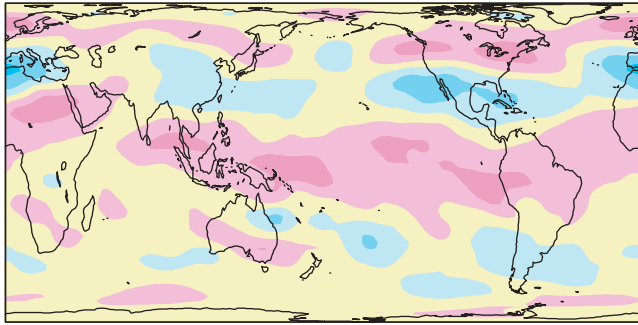
siècle, Kepler est le premier à soupçonner que sa rotation n'est pas uniforme (il fait allusion à cette possibilité dans divers passages de son œuvre), suivi par Newton, qui écrit : « Il est possible qu'il n'existe aucun mouvement uniforme par lequel le temps puisse être mesuré avec précision. » Edmund Halley, son contemporain et le découvreur de la comète qui porte son nom, remarque que la Lune est en avance par rapport à la position qu'elle devrait avoir selon les calculs de Ptolémée et selon ceux des Arabes, datant du IX^e siècle. Au XVIII^e siècle, Emmanuel Kant parle des marées et André Lalande de la circulation atmosphérique pour expliquer les variations de la longueur du



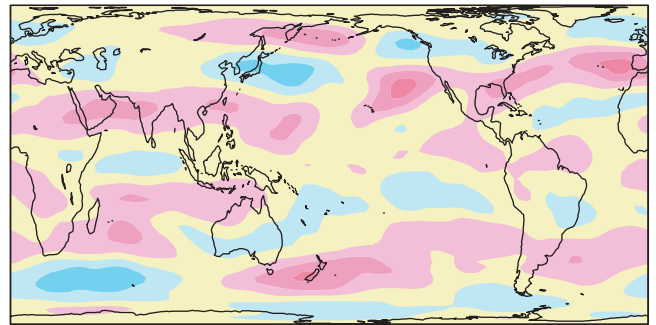
4. LA ROTATION DE LA TERRE n'est pas uniforme. Plusieurs phénomènes la font varier : l'attraction gravitationnelle de la Lune, du Soleil et des planètes, la circulation atmosphérique et océanique, le cycle

hydrologique et les phénomènes géophysiques internes (liés à la topographie, la convection et les forces électromagnétiques entre le manteau et le noyau).

MARS 1997



NOVEMBRE 1997



jour. En 1870, Simon Newcomb constate que les tables de la position de la Lune publiées en 1857 ne s'accordaient pas avec ses observations. Cependant, ses confrères sont à tel point persuadés de l'uniformité de la rotation de la Terre qu'ils n'acceptent pas immédiatement de la remettre en cause. À la fin du XIX^e siècle que George Darwin (le fils de Charles Darwin) démontre que, dans le passé, la Lune était plus proche de la Terre et que la durée du jour était plus courte. Enfin, en 1915, des mesures suffisamment précises le confirment.

Pourquoi n'est-elle pas uniforme ? Plusieurs phénomènes font varier la vitesse de rotation de la Terre (voir la figure 4), chacun agissant à des échelles

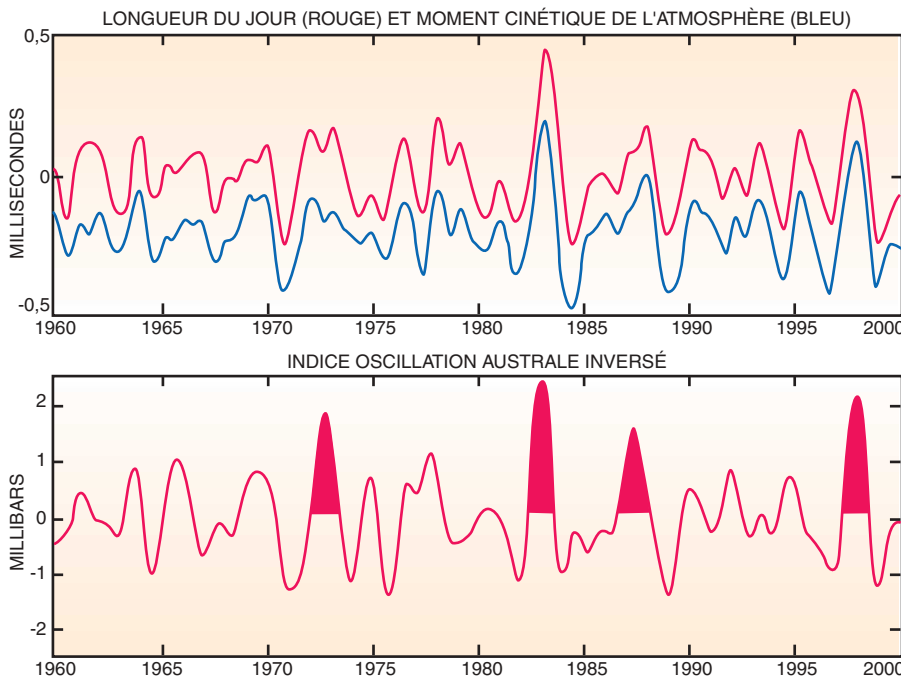
de temps différentes. La Lune et le Soleil sont responsables de variations séculaires de la vitesse de rotation de la Terre, sur laquelle elles exercent des forces de gravitation qui freinent son mouvement : la longueur du jour augmente d'environ deux millisecondes par siècle. Selon cette estimation, il y a 500 millions d'années, la Terre devait accomplir une rotation complète en 21 heures.

Ces variations n'interviennent pas dans le cadre de l'étude du phénomène El Niño, car elles concernent des échelles de temps beaucoup plus longues que celles qui nous intéressent. Dans la suite, nous ferons abstraction des forces extérieures qui s'exercent sur la Terre, que nous considérerons comme un système

isolé. Dans ces conditions, d'après les lois de la physique newtonienne, la «quantité de rotation» ou moment cinétique global de la Terre se conserve (le moment cinétique d'un corps en rotation autour d'un axe dépend de sa masse, de sa vitesse et de la distance qui le sépare de cet axe). Cependant, la Terre n'est pas une boule solide et homogène. Elle est constituée d'éléments solides (la graine, le manteau et la croûte terrestre) et de fluides (le noyau, l'hydrosphère et l'atmosphère) qui évoluent et interagissent : leur moment cinétique change. Or, la loi de conservation du moment cinétique global de la Terre impose que, si le moment cinétique de l'une de ses composantes varie, celui d'une ou de plusieurs autres de ses composantes varient en sens opposé. Notamment, le moment cinétique de ces composantes solides est modifié et, avec lui, la vitesse de rotation de la Terre.

Les phénomènes géophysiques, tels la cristallisation de la graine liée au refroidissement progressif de la Terre depuis sa formation, les couplages électromagnétiques entre le noyau et le manteau ou les mouvements de convection au sein de ces deux éléments entraînent des variations décennales irrégulières de la longueur du jour. La période de ses variations est de 20 à 60 ans, et leur amplitude est de 3 à 4 millisecondes.

Les phénomènes qui perturbent la circulation atmosphérique sont les principaux responsables des variations journalières, saisonnières ou à l'échelle de quelques années. Ils déterminent la valeur du moment cinétique de l'atmosphère, qui se répercute sur le moment cinétique de la Terre. Pour accéder au moment cinétique global de l'atmosphère, on fait la moyenne des moments cinétiques locaux, calculés avec les données météorologiques recueillies par des ballons sondes et des satellites, telle la vitesse des vents le long des latitudes (ces vents sont ceux qui influencent le plus la rotation



5. LA LONGUEUR DU JOUR, ou période de rotation de la Terre, varie en phase avec le moment cinétique atmosphérique, qui mesure la «quantité de rotation» de l'atmosphère et avec l'indice de l'oscillation australe inversé, c'est-à-dire la différence de pression entre Darwin, en Australie, et Tahiti, qui mesure l'intensité des événements El Niño (les pics en rouge correspondent aux plus intenses) : ces courbes qui représentent les variations à des échelles de temps comprises entre un et six ans (les autres, telles les variations saisonnières, étant filtrées) montrent que le phénomène El Niño influence le moment cinétique atmosphérique, qui influence la longueur du jour. Précisons que le moment cinétique atmosphérique est proportionnel à une quantité en millisecondes, représentée ici, à laquelle on a enlevé 2 millisecondes, pour pouvoir mieux comparer à la longueur du jour.