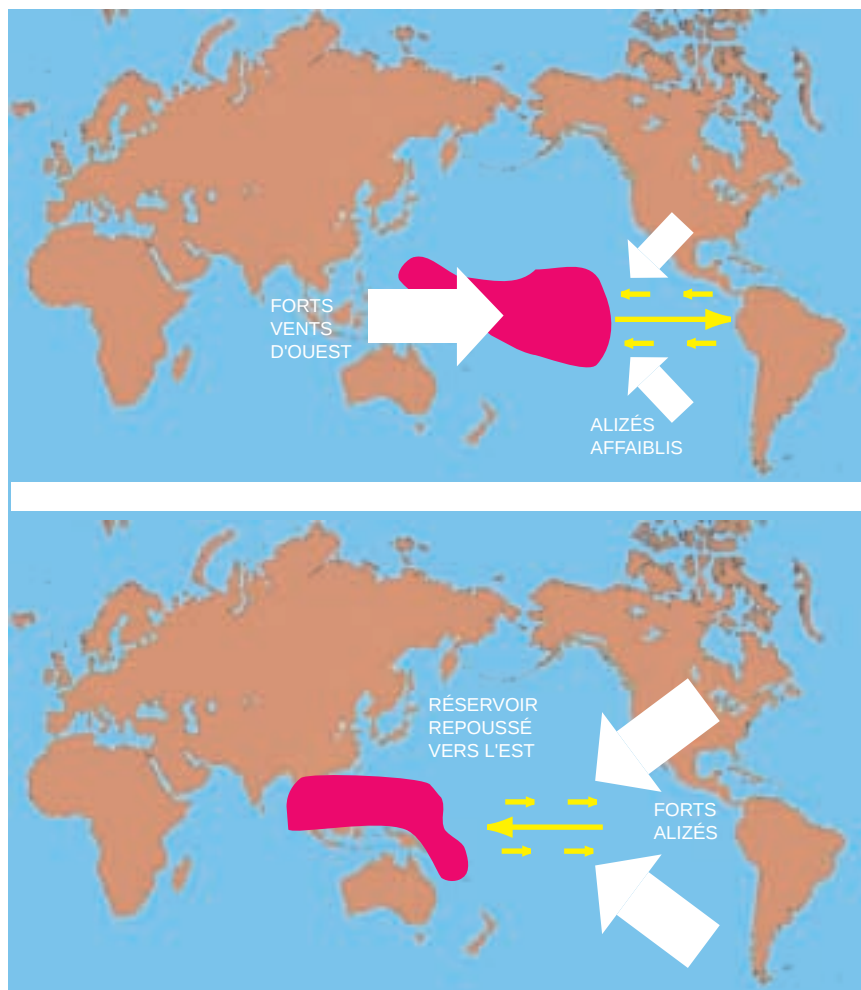




Les deux temps forts d'un cycle El Niño : le déplacement d'eaux chaudes vers l'Est bloque la remontée d'eau froide, près du Pérou (*en haut*) ; puis les courants engendrés par ce déplacement rebondissent contre l'Amérique et repoussent les eaux chaudes vers l'Ouest.

Comment l'océan et l'atmosphère sont-ils couplés ? Les vents d'Ouest engendrent des ondes équatoriales qui se propagent vers l'Est à une vitesse de 250 kilomètres par jour : ces ondes sont des ondes d'énergie, comme les vagues ou comme des vibrations à la surface d'un tambour, mais la rotation de la Terre les confine près de l'équateur. Ces ondes ne se déplacent ainsi que dans la direction Ouest-Est ; elles ont une longueur d'onde de plusieurs milliers de kilomètres, et s'accompagnent de courants dans les couches de surface.

Arrivant aux abords des côtes d'Amérique latine, les ondes équatoriales et leurs courants associés bloquent la remontée d'eaux froides profondes, qui refroidit habituellement cette région : le bassin de l'Est du Pacifique se réchauffe ; c'est l'épisode El Niño. Toutefois les ondes équatoriales se réfléchissent sur les côtes, et, avec les courants qui les accompagnent, elles repartent vers le front du réservoir chaud. Elles le repoussent vers l'Ouest, de sorte que les eaux froides remontent à l'Est du bassin Pacifique : c'est la Niña. Puis, quand

cette dernière a recréé les conditions de vent initiales, le phénomène reprend.

Cette description est au cœur d'un programme informatique qui calcule les courants et détermine l'anomalie de vent associée : le résultat est une alternance périodique qui décrit bien le phénomène. Pourquoi, cependant, tous les événements El Niño ne sont-ils pas identiques ? Le programme ne reproduit que des épisodes identiques, car il est volontairement simplifié, mais la prise en compte d'autres phénomènes importants, tels les mouvements verticaux dans l'océan ou les interactions du Pacifique et d'autres régions du Globe, devrait améliorer la théorie. Ces résultats fondamentaux devraient intéresser l'industrie : Michael Wilson a démontré que la consommation de combustibles fossiles dans les installations de chauffage domestique, en Amérique, est réduite quand les épisodes El Niño sont intenses. Comme ces derniers réduisent le nombre d'ouragans dans le golfe du Mexique, la production de gaz naturel est facilitée, de sorte qu'une surproduction menace doublement les sociétés pétrolières.

Des lasers pour déclencher la foudre

JEAN-CLAUDE DIELS • RALPH BERNSTEIN • KARL STAHLKOPF • XIN MIAO ZHAO

Afin de protéger les équipements industriels, on cherche à dévier les éclairs dangereux à l'aide de lasers.

Malgré plusieurs siècles d'études expérimentales, la foudre demeure un phénomène mystérieux. Depuis Benjamin Franklin, les physiciens savent que des charges électriques peuvent s'accumuler lentement dans les nuages et créer ensuite des éclairs, quand l'énergie emmagasinée est soudainement libérée. Toutefois les

mécanismes exacts du phénomène leur ont échappé longtemps. Quelle est la vitesse de formation des éclairs? Comment se détermine leur trajectoire? Que deviennent les charges électriques dans le sol? L'étude de ces questions laisse entrevoir des moyens pour éviter que la foudre ne frappe des équipements importants.

La foudre est un phénomène naturel aux effets destructeurs : chaque année, en France, elle frappe en moyenne un million de fois, tue des dizaines de personnes et provoque des dégâts matériels considérables, parmi lesquels des incendies de forêts. Elle est responsable d'environ la moitié des coupures de courant dans les régions sujettes aux orages,



coûtant à EDF ou à France Télécom plusieurs millions de francs par an en équipements détruits par les brusques surtensions. La foudre perturbe aussi les dispositifs de navigation des avions (voire des fusées) et a même provoqué un grave dysfonctionnement d'une centrale nucléaire, aux États-Unis.

Comment s'en prémunir? Les sociétés primitives offraient des sacrifices aux dieux, mais les ingénieurs ont imaginé des solutions plus efficaces. On évite souvent les pires effets de la foudre en dressant des paratonnerres bien reliés à la terre au sommet des bâtiments, ainsi que le montrèrent Georges Dalibard, Georges Buffon et M. De Lor

en effectuant une expérience proposée par Franklin. L'expérience eut lieu le 13 mai 1752, à Marly, et elle fut suivie, quatre mois plus tard, d'une expérience analogue, avec un cerf-volant au lieu d'une tige : elle fut indépendamment réalisée par M. De Romas, à Nérac, et par Franklin, à Philadelphie. Franklin croyait initialement que de telles tiges dirigées vers le ciel fonctionnaient parce que «le feu électrique serait extrait silencieusement du nuage avant qu'il n'ait pu frapper», mais il comprit ultérieurement que ces dispositifs canalisaient la décharge ou l'éloignaient. Ce même principe, qui consiste à maîtriser le coup de foudre plutôt qu'à empêcher le développement de l'éclair, est à la base des méthodes de protection classiques (parafoudres, paratonnerres et cages maillées) comme des techniques que nous étudions : à l'aide de lasers, nous tentons de dévier le «feu du ciel».

1. DES ÉCLAIRS zèbrent le ciel entre les nuages et le sol lorsque l'air, normalement isolant, devient conducteur. Cette photographie, prise avec un long temps de pause, a enregistré plusieurs éclairs.