

à-dire de la frontière qui sépare les eaux chaudes, en surface, des eaux plus froides, en profondeur. Plus la thermocline est profonde, plus les eaux en surface sont chaudes. Dans le Pacifique Est, elle se situe de 50 à 80 mètres de la surface environ, alors que, dans le Pacifique Ouest, elle atteint 150 à 200 mètres de profondeur. Les vents parallèles à la côte Sud-américaine, notamment le long du Pérou, repoussent les eaux chaudes de surface, ce qui fait remonter les eaux froides, donc la thermocline. En se rapprochant de l'équateur, ces vents obliquent vers l'Ouest sous l'effet de la force de Coriolis, liée à la rotation de la Terre. Ils deviennent alors des alizés, vents d'Est dominants sous les tropiques. Les alizés poussent les eaux de surface vers l'Indonésie, de sorte que la surface de l'océan Pacifique est en pente vers l'Est (le dénivelé qu'ils induisent est de 80 centimètres environ entre l'Indonésie et l'Amérique du Sud). En revanche, la thermocline s'enfonce à l'Ouest et remonte à l'Est.

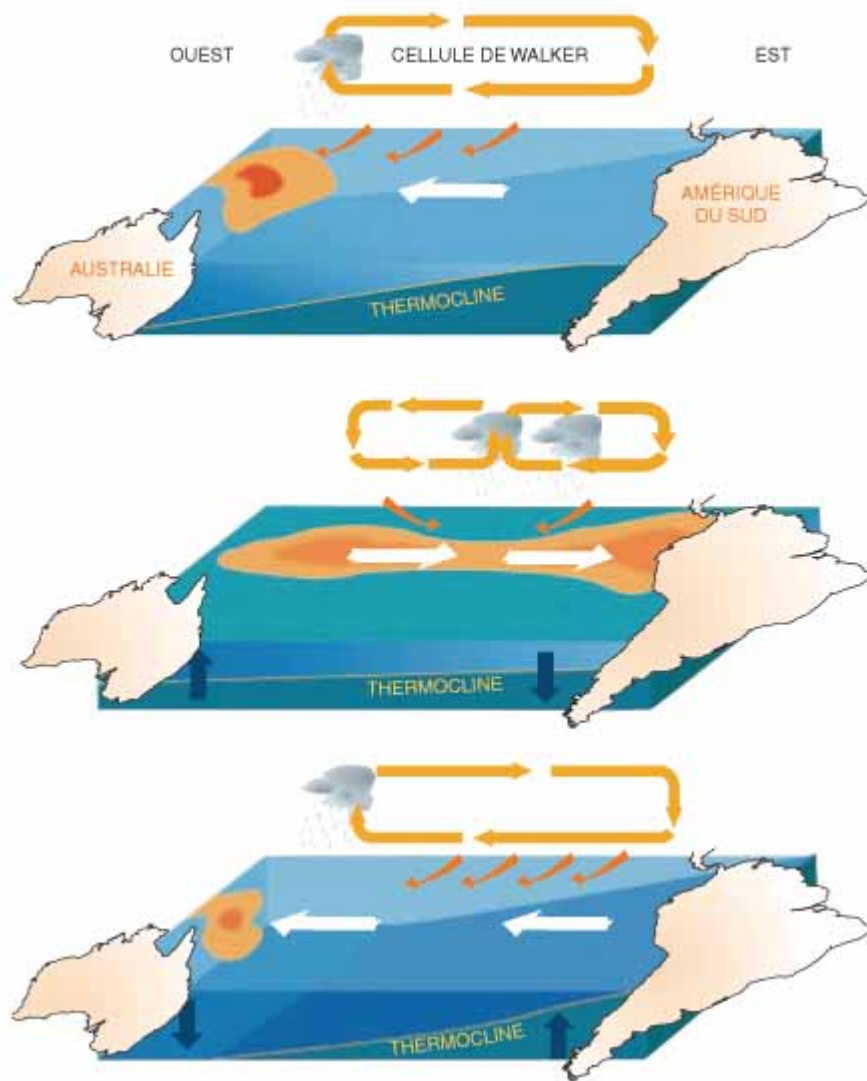
Un phénomène El Niño apparaît quand les alizés faiblissent et que la poussée qu'ils exercent sur la surface de l'océan n'est plus assez forte pour contrebalancer le poids des eaux accumulées à l'Ouest. Celles-ci se déversent vers l'Est, en une onde océanique dite de Kelvin, qui met environ deux mois à traverser l'océan Pacifique et à atteindre les côtes Sud-américaines. Ce reflux des eaux de surface vers l'Est entraîne l'abaissement de la thermocline à l'Est et sa remontée à l'Ouest, de sorte qu'elle se rapproche de l'horizontale (voir la figure 1, au milieu). Les eaux de surface, relativement froides à l'Est, se réchauffent, ce qui est caractéristique des événements El Niño.

Gilbert Walker, un météorologiste britannique envoyé en Inde en 1924 pour y étudier les moussons, fut le premier à remarquer cette modification de la circulation atmosphérique, qui s'étale sur plusieurs années. Il constata que lorsque la pression atmosphérique est supérieure à la normale dans le Pacifique tropical Ouest, elle diminue dans le Pacifique tropical central et que cette différence de pression est proportionnelle à l'intensité des phénomènes El Niño. Aujourd'hui, on utilise l'indice de l'oscillation australe (voir la figure 5), défini comme la différence de pression atmosphérique entre Tahiti, dans le Pacifique cen-

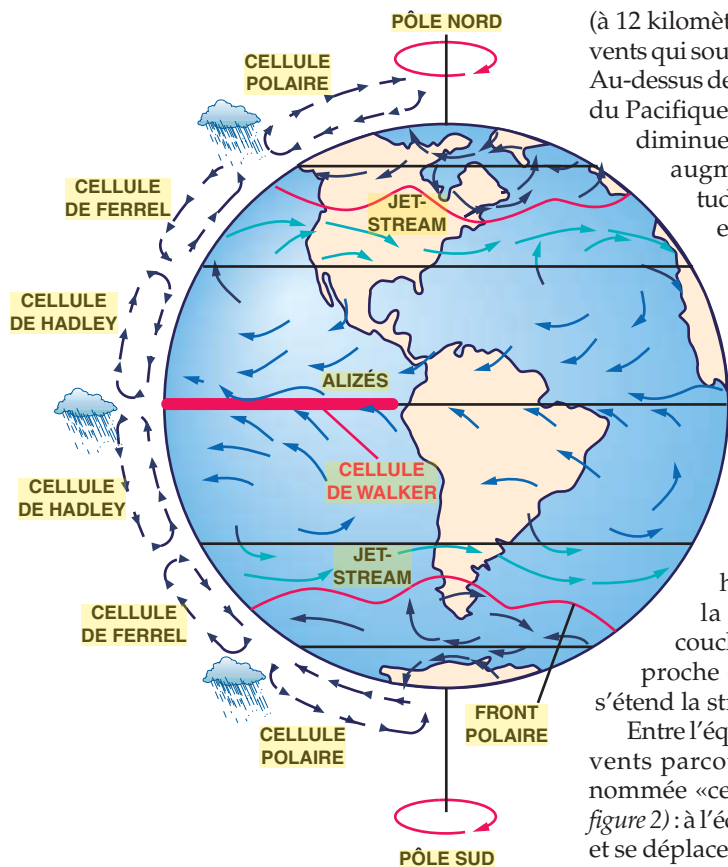
tral, et Darwin, en Australie. Les alizés soufflant des régions de fortes pressions vers les régions de basses pressions, cet indice mesure leur force. Ainsi une valeur négative de l'indice de l'oscillation australe correspond à une pression plus élevée que la normale dans le Pacifique Ouest, à un affaiblissement des alizés et à l'apparition d'un événement El Niño.

El Niño modifie la circulation atmosphérique

Comment un événement El Niño modifie-t-il la circulation atmosphérique ? Dans le Pacifique, les vents parcourent une boucle, nommée « cellule de Walker ». Elle est constituée en surface par les alizés (créés par la différence de pression entre l'Est et l'Ouest) et en altitude



1. DANS LE PACIFIQUE, les événements El Niño et La Niña modifient le système océan-atmosphère, agissant sur la thermocline (la frontière qui sépare les eaux chaudes, en surface, des eaux plus froides, en profondeur) et la cellule de Walker (la boucle formée par les alizés, qui circulent d'Est en Ouest à basse altitude, et les vents qui circulent en sens inverse à haute altitude). Dans les conditions normales (*en haut*), les alizés poussent les eaux chaudes de surface qui s'accumulent à l'Ouest, où les eaux froides s'enfoncent, abaissant la thermocline. Au-dessus des eaux chaudes de l'Ouest du Pacifique, l'air monte, diminue la pression en surface et augmente la pression en altitude, tandis qu'au-dessus des eaux froides de l'Est de l'océan, la pression augmente en surface et diminue en altitude. Les vents se propagent des hautes vers les basses pressions (selon les flèches oranges). Lors d'un événement El Niño (*au milieu*), les alizés faiblissent et les eaux chaudes accumulées à l'Ouest se déversent vers l'Est (selon les flèches blanches), entraînant un réchauffement de la surface de l'océan au centre et à l'Est, l'abaissement de la thermocline à l'Est et sa remontée à l'Ouest, de sorte qu'elle se rapproche de l'horizontale. La cellule de Walker se déplace vers l'Est, suivant les eaux chaudes de surface, et se scinde parfois en deux. Lors d'un événement La Niña (*en bas*), les alizés se renforcent, déplaçant le réservoir d'eau chaude (selon les flèches blanches) plus à l'Ouest que dans les conditions normales, et entraînent la remontée des eaux froides et de la thermocline à l'Est.



2. LES JET-STREAMS SUBTROPICAUX qui circulent parallèlement aux latitudes (selon les flèches vertes) alimentent les alizés, qui reviennent vers l'équateur (selon les flèches bleues), bouclant la cellule de Hadley. Ils alimentent aussi des vents qui se dirigent vers les pôles et qui font partie de la cellule de Ferrel. La circulation atmosphérique globale comprend plusieurs «cellules» ou boucles de vent juxtaposées. Lors d'un événement El Niño, qui modifie la cellule de Walker (parallèle à l'équateur) et la cellule de Hadley, les cellules voisines sont également modifiées, ainsi que leurs voisines... ce qui explique pourquoi El Niño a des répercussions sur l'ensemble du globe.

(à 12 kilomètres de la surface) par des vents qui soufflent dans le sens inverse. Au-dessus des eaux chaudes de l'Ouest du Pacifique, l'air chaud, en montant, diminue la pression en surface et augmente la pression en altitude, tandis qu'au-dessus des eaux froides de l'Est du Pacifique, la pression augmente en surface et diminue en altitude. Pendant les événements El Niño, la cellule de Walker se déplace vers l'Est et se scinde parfois en deux (voir la figure 1, au milieu). Dans le Pacifique central, une zone de haute pression se crée dans la haute troposphère, la couche atmosphérique la plus proche de la surface (au-dessus s'étend la stratosphère).

Entre l'équateur et les tropiques, les vents parcourent une autre boucle, nommée «cellule de Hadley» (voir la figure 2) : à l'équateur, l'air chaud s'élève et se déplace vers les pôles (où la température et la pression sont moins élevées), mais la force de Coriolis les dévie de plus en plus vers l'Est, de sorte qu'ils deviennent parallèles aux cercles de latitude, formant les jet-streams subtropicaux, des courants rapides qui circulent dans la haute troposphère vers 12 kilomètres d'altitude (voir la figure 2). Pour compenser l'accumulation d'air due aux jet-streams, une partie de l'air de la haute troposphère redescend vers l'équateur, alimentant les alizés et bouclant la cellule de Hadley (l'autre par-

tie se dirige vers les pôles). Lors des événements El Niño, les jet-streams s'intensifient, car l'élévation de température du Pacifique central augmente la différence de pression entre l'équateur et les moyennes latitudes.

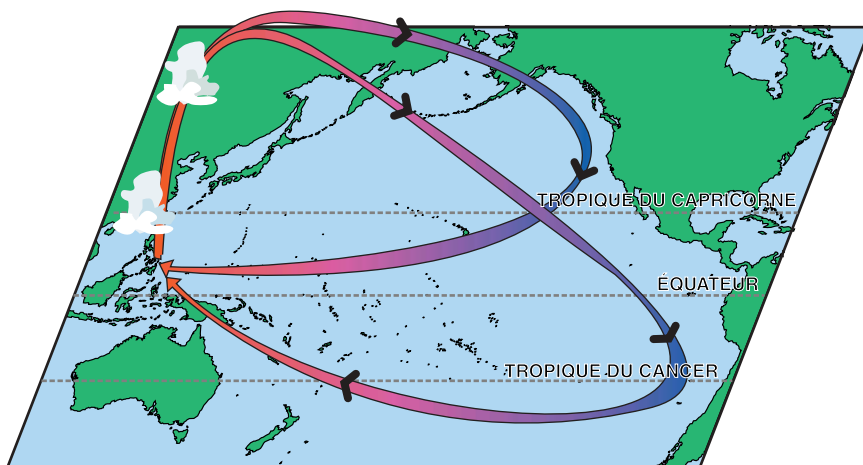
La modification des cellules de Walker et de Hadley perturbe l'ensemble du système climatique de la planète : d'autres cellules de Walker existent tout le long de l'équateur, de sorte que lorsque celle du Pacifique est modifiée, les autres le sont aussi. Il en va de même pour la cellule de Hadley, dont les modifications entraînent des changements dans d'autres cellules (la cellule de Ferrel et la cellule polaire) situées le long des méridiens (voir la figure 2).

Après un événement El Niño dans le Pacifique, on constate souvent que, dans les autres régions tropicales, la température des océans augmente d'un degré en moyenne, ce qui perturbe la circulation atmosphérique locale. Statistiquement, les événements El Niño s'accompagnent de pluies diluviennes sur le Sud du Brésil, sur le Paraguay et sur le Nord de l'Argentine, de tempêtes plus fréquentes dans le golfe du Mexique, de sécheresses en Afrique de l'Ouest, en Australie, en Indonésie, de moussons moins humides que la normale en Inde...

Après El Niño, La Niña

Le phénomène El Niño perturbe la circulation atmosphérique de l'ensemble de la planète. Les vents anormaux qu'il crée, par rapport à la circulation atmosphérique moyenne, agissent à leur tour sur l'océan en amplifiant El Niño ou en s'opposant à lui. Ils déclenchent parfois La Niña, c'est-à-dire un renforcement des alizés (correspondant à une valeur positive de l'indice de l'oscillation australe), qui déplace le réservoir d'eau chaude plus à l'Ouest que la position qu'il occupe dans les conditions normales, apportant des pluies abondantes sur l'Indonésie. La remontée des eaux froides à l'Est provoque alors des sécheresses sur les côtes Ouest Sud-américaines (voir la figure 1, en bas).

La survenue de La Niña dépend de la réflexion des ondes océaniques sur les côtes indonésiennes ou Sud-Américaines. Si les ondes de Kelvin ont assez d'énergie lorsqu'elles atteignent les côtes de l'Équateur, elles se réfléchissent en ondes dite de Rossby, qui se propagent vers l'Ouest, mais plus lentement que les ondes de Kelvin. Les ondes de Rossby



3. LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE TROPICALE est une combinaison de la cellule de Walker et de la cellule de Hadley : l'air chaud qui s'élève au dessus du Pacifique Ouest, au lieu de se répartir en sens inverse vers l'Est pour boucler la cellule de Walker, a tendance à se diriger vers les tropiques et à intégrer la cellule de Hadley. Ainsi, des changements dans la cellule de Walker initient des changements dans la cellule de Hadley.