

# Circulation thermohaline

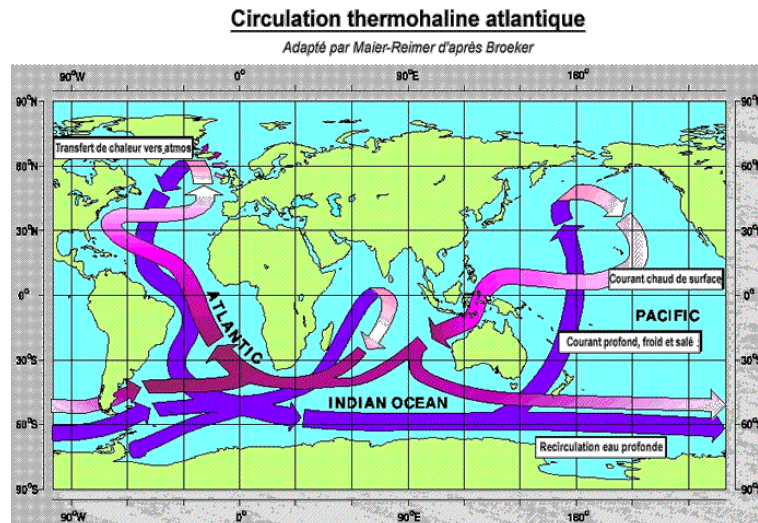
La convection thermohaline affecte l'ensemble des océans. Cependant la formation d'eaux profondes est très localisée et n'a lieu que dans deux régions du globe :

- l'Atlantique Nord (mer de Norvège, et dans une moindre mesure mers du Groenland et du Labrador) ;

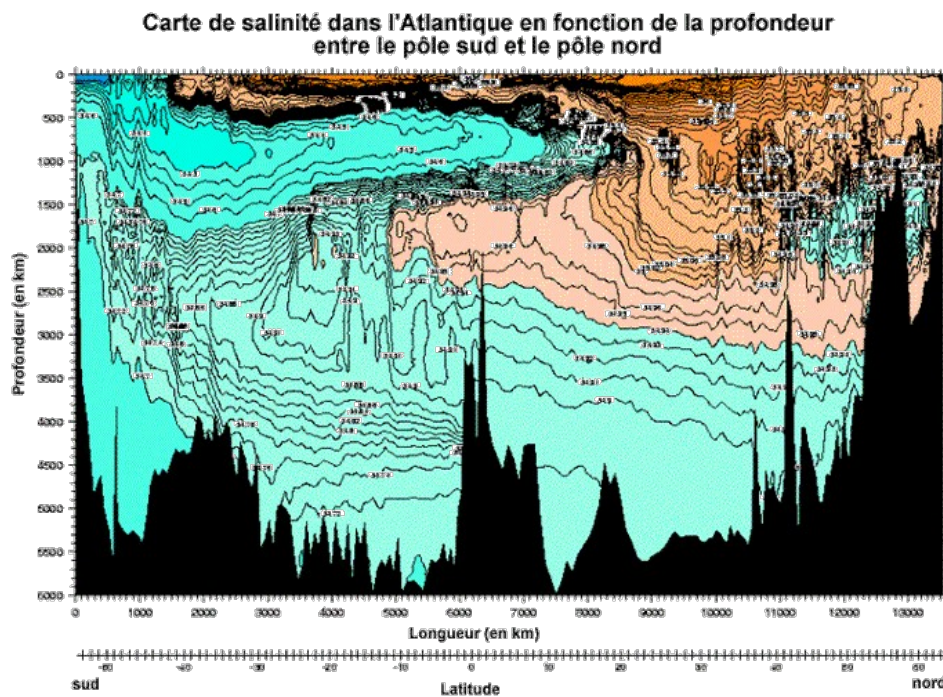
- l'Antarctique (mer de Weddell et, dans une moindre mesure, mer de Ross).

Quels sont les moteurs de la circulation thermohaline ?

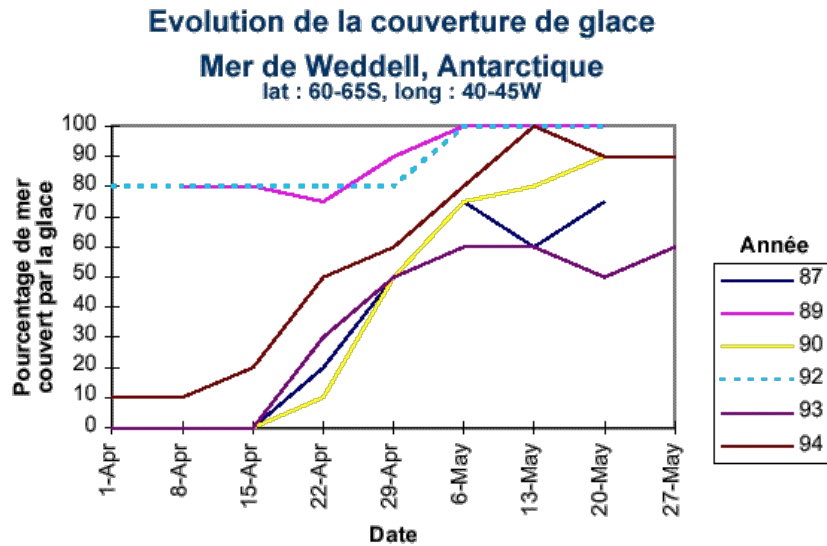
A l'aide des documents, expliquez pourquoi il y a formation d'eau profonde en Antarctique et pas dans le Pacifique



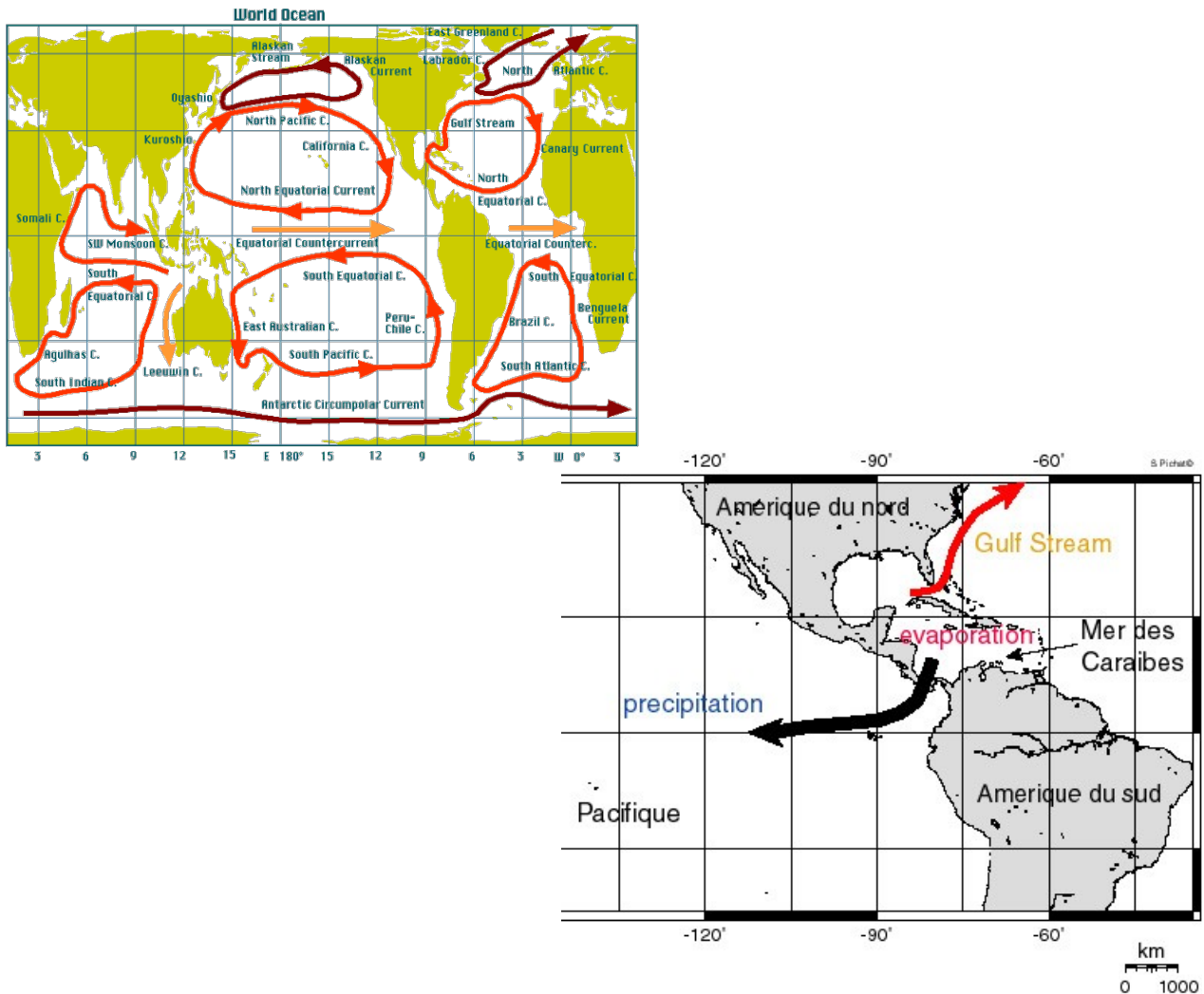
**Figure 1. Schéma de la circulation océanique mondiale**



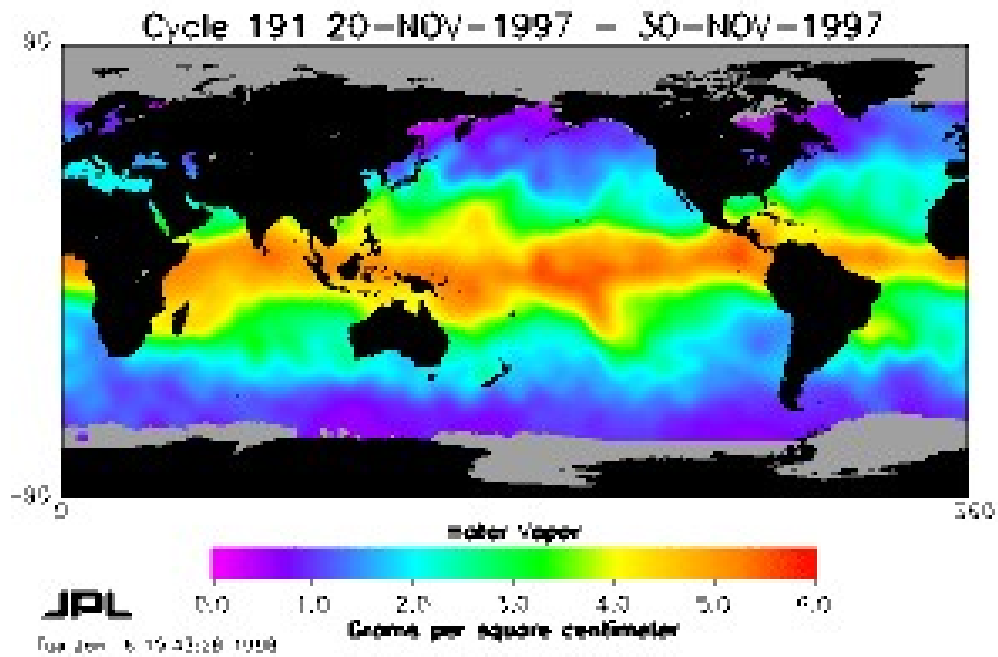
**Figure 2. Carte de salinité de l'eau de mer dans l'Atlantique, en fonction de la profondeur, coupe entre le pôle Nord et le pôle Sud**



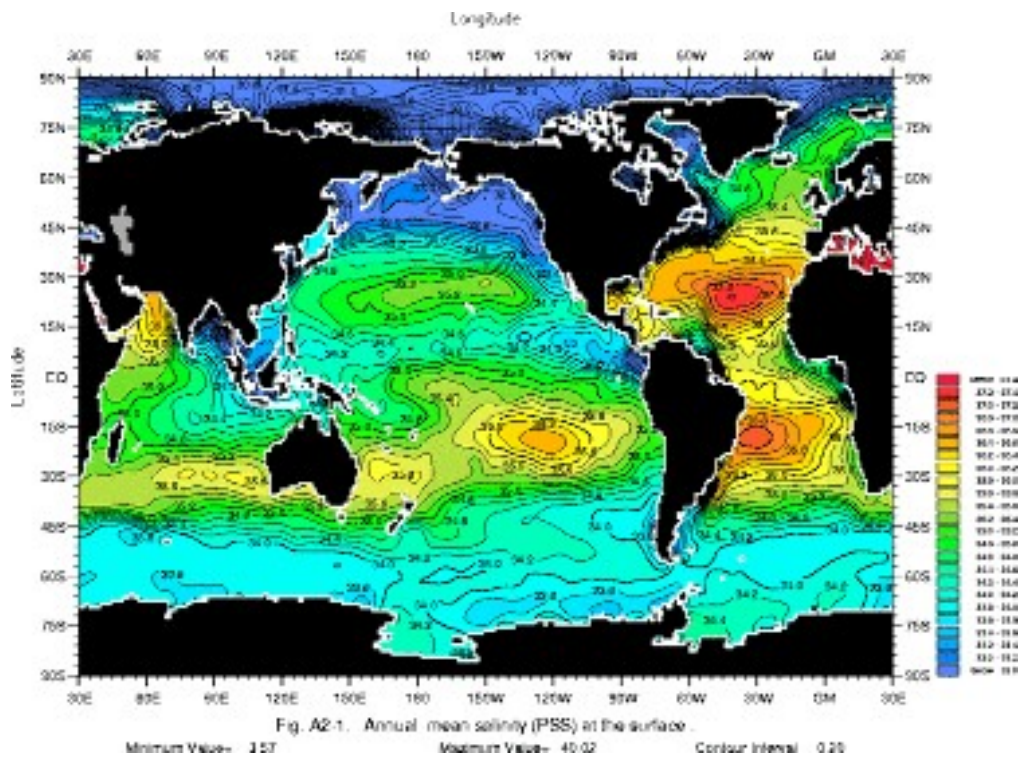
**Figure 3. Évolution de la couverture de glace selon les années en mer de Weddell (Antarctique)**



**Figure 5. Schéma des principaux courants de surface (induits par le vent) dans les océans et du transfert hydrique entre l'Atlantique (mer des Caraïbes) et le Pacifique équatorial Est**



**Figure 6. Carte de la teneur atmosphérique en vapeur d'eau au-dessus des océans (en grammes par m<sup>2</sup>)**



**Figure 7. Salinité des eaux de surface**

*Bonus : À l'aide de vos connaissances, expliquez le phénomène de la mousson (vents et fortes précipitations en Inde au printemps/été)*



## Quels sont les moteurs de la circulation thermohaline ?

Le moteur de la circulation thermohaline est la variation de densité des eaux, induite par des changements de température et de salinité. Les mécanismes à l'origine de la plongée des eaux de surface en Atlantique Nord et en Antarctique sont différents. Dans l'Atlantique Nord, c'est le refroidissement des eaux salées, donc denses, et chaudes du *Gulf Stream* dans les mers de Norvège et du Groenland qui induit la plongée des masses d'eau. La formation de la glace de mer favorise la plongée de l'eau, mais ce n'est pas le mécanisme prépondérant. Dans l'Antarctique, le phénomène a pour origine la combinaison entre le refroidissement des eaux de surface et la formation de la glace de mer.

La formation d'eau profonde en Atlantique Nord se produit de manière irrégulière et très localisée, essentiellement en mer de Norvège, et dans une moindre mesure en mer du Labrador et en mer du Groenland.

La formation d'eau profonde dans l'Atlantique Nord est liée au refroidissement des eaux très salées, remontées par le *Gulf Stream*, depuis la mer des Caraïbes. Lorsque les eaux du *Gulf Stream* arrivent en mer de Norvège, elles subissent un brusque refroidissement. Ces eaux étant déjà très denses, à cause de leur salinité élevée (35,25‰), le refroidissement augmente encore la densité, ce qui est suffisant pour les faire plonger. En hiver, la formation de la glace de mer, au Nord de la mer de Norvège, favorise ce phénomène.

Les eaux qui plongent s'accumulent dans le bassin océanique sous-jacent (bassin de Norvège). Celui-ci se remplit progressivement puis se vide par brusques décharges, lorsque l'eau passe par dessus la ride sous-marine (hauteur topographique). Ce phénomène génère le *North Atlantic Deep Water*, ou Eau Atlantique Profonde (NADW). Ce phénomène de remplissage/vidange du bassin océanique explique l'irrégularité de la formation du NADW. Le NADW forme une langue d'eau, caractérisée par une forte salinité, entre 2.000 et 3.500 mètres de profondeur, dans tout l'océan Atlantique.

Même si l'effet dominant pour expliquer la salinité de l'Atlantique est celui de l'évaporation, cette salinité est aussi liée à la très forte évaporation en Méditerranée (salinité de 38,5 psu -[practical salinity unit](#)- à la sortie, à Gibraltar, avec une eau qui s'écoule sous forme de nappe). Certains affirment même que s'il n'y avait pas la Méditerranée, la circulation thermohaline serait moins intense.

La formation d'eau profonde en Antarctique génère les Eaux Antarctiques Intermédiaires et Eaux Antarctique de Fond (EAI et EAF). Cette convection participe au rajeunissement, par mélange, des eaux de fonds péri-antarctiques (eaux de fonds venant de l'Atlantique).

Mais cette convection thermohaline antarctique est moins intense et efficace que son équivalent Nord-Atlantique. Le débit d'origine Antarctique est de l'ordre de 10 millions de m<sup>3</sup> par seconde alors que le débit d'eau profonde qui vient de l'Atlantique Nord est de l'ordre de 20 à 30 millions de m<sup>3</sup> par seconde. La formation d'eau profonde en Antarctique a lieu lors des automnes et des hivers australs (entre avril et octobre), en mer de Weddell et, dans une moindre mesure, en mer de Ross (la couverture de glace passe de 3 à 20 millions de km<sup>2</sup>).

Pour expliquer la formation d'eau profonde en Antarctique, il faut prendre en compte trois phénomènes liés.

- L'eau au contact de l'air froid perd de la chaleur. Ainsi, elle est plus froide donc plus dense.
- La glace de mer est très peu salée, beaucoup moins que l'eau de mer. Ainsi, lorsque la glace se forme, l'eau résiduelle est beaucoup plus salée, donc plus dense.
- L'eau de mer se refroidit également par perte de chaleur au cours de la cristallisation de la glace (chaleur latente de cristallisation). Cette chaleur est perdue dans l'atmosphère par la masse d'eau qui reste à sa température de solidification, soit -1,9°C (car il s'agit d'eau salée) (à titre d'exemple, le flux de chaleur en direction de l'atmosphère est de 300 W/m<sup>2</sup> pour un polynya côtier).

## **Pourquoi n'y a-t-il pas de formation d'eau profonde dans le Pacifique Nord ?**

Au premier abord, le Pacifique Nord est très similaire à l'Atlantique Nord. Dans les deux bassins, il existe un courant de bordure Ouest très puissant : le *Gulf Stream* pour l'Atlantique et le *Kuroshio* pour le Pacifique. Dans les deux cas, les températures atmosphériques sont très faibles et de la glace se forme en hiver. Cependant, le Pacifique Nord n'est pas aussi salé que l'Atlantique Nord (33‰ contre 35,25‰).

La faible salinité du Pacifique Nord est liée à la combinaison de trois phénomènes :

- De manière générale, le Pacifique est « arrosé » par les eaux d'évaporation de l'Atlantique qui franchissent l'isthme de Panama et retombent, sous forme de pluie, dans le Pacifique équatorial (voir plus loin). Le Pacifique est donc moins salé que l'Atlantique.

- Le *Kurushio* ne transfère pas d'eau salée dans le Pacifique Nord, contrairement à l'action du *Gulf Stream* dans l'Atlantique Nord. Effectivement, le *Kurushio* a pour origine une région où les précipitations sont supérieures à l'évaporation, notamment à cause du phénomène de mousson. Les eaux du *Kurushio* sont donc peu salées.

- Le Pacifique Nord est une zone très froide, or l'air froid a une faible capacité à emmagasiner de la vapeur d'eau. Ainsi dans le Pacifique Nord, l'eau s'évapore très peu. En revanche les précipitations y sont importantes. Les eaux de Pacifique Nord sont donc froides mais très peu salées. Elles sont également moins salées (33‰) que les eaux de l'Antarctique (34‰).

Ainsi, malgré la formation de glace de mer dans le détroit de Béring en hiver, les conditions qui permettent la plongée d'eau profonde ne sont pas toutes réunies dans le Pacifique Nord. Il faut ajouter que l'agitation de la mer (tempêtes) au niveau du détroit de Béring réduit la quantité de glace formée.

### Les différences de salinités entre les océans

Les eaux qui s'évaporent de l'Atlantique, au niveau des tropiques, essentiellement dans la mer des Caraïbes, sont entraînées vers l'Ouest par les alizés. Elles passent au-dessus de l'isthme de Panama, et retombent, sous forme de pluie, dans le Pacifique équatorial Est. Il y a donc une perte d'eau pour l'Atlantique par ce biais là. Ce phénomène explique la très forte salinité des eaux du *Gulf Stream* qui ont pour origine la mer des Caraïbes. De plus, lors de la remontée vers le Nord du *Gulf Stream*, l'évaporation est très importante, et n'est compensée par les précipitations que vers 50 degrés de latitude Nord. Le *Gulf Stream* est donc un courant dont les eaux sont très salées (plus de 36‰ entre 15 et 35° de latitude Nord).

Ce phénomène de forte évaporation, non compensée par des précipitations, est à l'origine de la forte salinité globale de l'Atlantique (35‰). Les eaux qui s'évaporent du Pacifique sont entraînées à l'Ouest au-dessus de l'Asie, par les alizés. Au-dessus de ce continent, elles retombent sous forme de précipitations. Les nombreux fleuves qui drainent l'Est de l'Asie se jettent dans le Pacifique. Le bilan hydrique global est donc nul. Le Pacifique ne perd globalement pas d'eau par évaporation. Le Pacifique est donc globalement moins salé (34,5‰) que l'Atlantique (35‰).

En Antarctique, les eaux de surface ont une salinité moyenne de 34‰. Ces eaux ne se mélangent pas directement avec les eaux de l'Atlantique ou du Pacifique, car, au moment de leur formation, elles sont isolées des autres courants de surface par un courant très puissant, qui tourne d'Ouest en Est autour de l'Antarctique : le courant circumpolaire antarctique.

Cependant, il serait exagéré de considérer que l'eau de l'Antarctique ne se mélange pas avec celles des plus hautes latitudes. En effet :

- Les eaux antarctiques de fond quittent les mers de Weddell et de Ross et sont intégrées dans le courant circumpolaire antarctique, en profondeur.
- Ensuite, le long du courant antarctique, se forment des eaux intermédiaires que l'on retrouve dans les trois océans subtropicaux de l'hémisphère Sud (Pacifique, Indien et Atlantique).
- Enfin, en surface, il y a échange, en particulier turbulent, au travers du courant antarctique circumpolaire.

### Bonus

#### Qu'est-ce que la mousson ?

La **mousson** est un système de **Vents** périodiques, particulièrement actif dans l'océan Indien et l'Asie du sud. Ce nom viendrait du mot arabe *mausim* qui signifie "saison". En effet, il est également employé pour désigner :

- la saison pendant laquelle ce vent souffle dans le sud-ouest de l'Inde et les régions voisines
- les précipitations très fortes qui sont associées à ce vent

- les inversions saisonnières de la direction du vent le long des rivages de l'océan Indien (en particulier dans la mer d'Oman et le golfe du Bengale) ; le vent y souffle du sud-ouest pendant six mois et du nord-est pendant les six mois suivants.

On distingue deux types de moussons :

- **la mousson d'été**, qui souffle du sud-ouest à travers l'Océan Indien et qui est extrêmement humide (elle peut représenter jusqu'à 80% du total des précipitations dans les zones affectées)
- **la mousson d'hiver**, qui souffle du nord-est et est généralement sèche.

### **Quelles sont les causes de la mousson ?**

La mousson est causée par **la différence saisonnière de température entre la mer et la terre**. En effet, la terre s'échauffe et se rafraîchit plus vite que la mer.

Au cours du printemps, les températures terrestres s'élèvent jusqu'à ce que la terre atteigne une température plus élevée que la mer. L'air chaud venant de la terre tend à s'élever et crée **une zone de basse pression locale** au niveau du sol. Cela provoque un vent constant qui souffle de la mer vers la terre pendant plusieurs semaines, voire plusieurs mois.

Le **contraste thermique** entre la terre et l'océan est à son apogée quelques semaines après le solstice d'été. C'est pourquoi les moussons les plus fortes surviennent en juillet, avant de décroître lentement et de s'arrêter entre fin septembre et fin octobre.