

telles que l'on a : $e_1 + e_2 + e_3 = 0$; c'est-à-dire que l'une d'elles est toujours égale et contraire à la somme des deux autres. — Adaptons, aux trois ressorts a_1, a_2, a_3 , trois conducteurs identiques, f_1, f_2, f_3 , aboutissant au point M ; et mettons la machine en mouvement. — En appliquant le théorème de Kirchoff (806, *Remarque*), on trouve, pour les valeurs des intensités i_1, i_2, i_3 , des courants alternatifs qui passent dans les trois fils f_1, f_2, f_3 , au même instant :

$$i_1 = \frac{e_2 - e_3}{\rho + 3r}, \quad i_2 = \frac{e_3 - e_1}{\rho + 3r}, \quad i_3 = \frac{e_1 - e_2}{\rho + 3r},$$

en désignant par ρ la résistance de chacune des hélices, par r celle de chacun des conducteurs, et en ne tenant pas compte de l'accroissement de résistance produit par la self-induction.

Chacune des expressions $e_2 - e_3$, $e_3 - e_1$ et $e_1 - e_2$, alternativement positive et négative, varie périodiquement, mais, au même instant, chacune d'elles est égale et contraire à la somme des deux autres ; en effet, on a identiquement :

$$e_2 - e_3 + e_3 - e_1 + e_1 - e_2 = 0,$$

et par suite, en faisant la somme algébrique des intensités,

$$i_1 + i_2 + i_3 = 0;$$

ce qui revient à dire que le courant, arrivant au point M par deux des fils, retourne à la machine par le troisième. — C'est la disposition qu'on désigne sous le nom de *courants triphasés*. Elle a l'avantage de se prêter, sans perte d'énergie par étincelles (*), aux variations de vitesse que peut éprouver la machine, si la puissance motrice qui l'actionne vient à subir elle-même quelques variations.

On peut, par exemple, installer des appareils d'éclairage électrique sur chacun des trois conducteurs f_1, f_2, f_3 , vers l'extrémité M ; ces trois appareils seront actionnés de la même manière, par les courants alternatifs fournis par la machine.

(*) Dans la machine de Gramme (*fig.* 636, 639), l'angle de calage, réglé pour une vitesse déterminée, devrait être modifié chaque fois que la vitesse de rotation varie. Quand ces variations se produisent accidentellement, les étincelles qui éclatent peuvent arriver à détériorer l'appareil.

LIVRE SIXIÈME

MÉTÉOROLOGIE

902. — La *météorologie* a pour objet l'étude des phénomènes qui s'accomplissent à la surface de notre globe et dans notre atmosphère.

Ces phénomènes sont généralement très complexes : il est parfois difficile de discerner le degré d'influence de chacune des causes qui les produisent. D'ailleurs, comme il est impossible de faire varier méthodiquement les conditions dans lesquelles ils s'accomplissent, le météorologiste doit se contenter de comparer le plus grand nombre possible d'*observations*, faites dans des circonstances diverses et telles que les lui offre la nature ; enfin, ces observations elles-mêmes présentent encore des lacunes, pour les points du globe sur lesquels on n'a que des données météorologiques incomplètes. C'est en raison de ces difficultés, que les progrès de la météorologie ont été beaucoup plus lents que ceux des autres parties de la science. — Nous nous bornerons à l'exposé des résultats qui présentent actuellement un caractère de certitude suffisante (*).

I. — RÉPARTITION DE LA TEMPÉRATURE A LA SURFACE DE LA TERRE.

903. *Observations thermométriques.* — Pour qu'un thermomètre, installé à demeure, indique réellement la température de l'air, il est indispensable qu'il soit placé à l'ombre, de manière qu'il ne reçoive pas directement les rayons du soleil. Il est nécessaire, en outre, de disposer des écrans autour de lui, afin de le garantir encore de la chaleur rayonnante qui pourrait lui être envoyée par le sol échauffé, par des murs frappés par le soleil, etc. — Quand ces précautions ne sont pas observées, il peut arriver que des thermomètres, placés à des expositions diverses, indiquent au même instant des températures très différentes (**).

(*) Pour la météorologie, la plupart des modifications par lesquelles nos dernières éditions diffèrent des précédentes sont dues à M. E. Nouel, qui a bien voulu mettre à notre disposition ses connaissances spéciales sur cette partie de la science.

(**) Pour déterminer, avec précision, la température de l'air à un instant déterminé,

Le thermomètre à mercure est celui qu'on emploie de préférence. Dans les régions polaires, où la température s'abaisse au-dessous de -40° , point de congélation du mercure, on le remplace par le thermomètre à alcool.

Les thermomètres à *maxima* et à *minima* permettent de déterminer les limites extrêmes entre lesquelles a pu varier la température d'un lieu, pendant la durée d'une journée par exemple, sans s'assujettir à suivre, d'une manière continue, la marche des instruments.

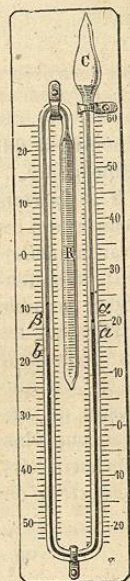


Fig. 671.
Thermomètre
à maxima
et à minima.

Le thermomètre de Six, modifié par Bellani, offre la réunion, dans un même instrument, d'un thermomètre à *maxima* et d'un thermomètre à *minima*. La figure 671 représente cet instrument tel qu'on le construit aujourd'hui. — Le réservoir R et la tige recourbée qui se continue avec lui contiennent de l'alcool jusqu'en b; de b en a est une colonne de mercure; enfin, au-dessus de a, et jusqu'à la chambre C, est une seconde colonne d'alcool; à chacune des extrémités a et b de la colonne de mercure, sont deux petits cylindres d'émail, servant d'index α et β . Lorsque la température s'élève, la dilatation de l'alcool contenu dans le réservoir R et dans la branche de gauche, et celle de la colonne de mercure, ont pour effet de soulever le cylindre α ; le cylindre β , maintenu contre la paroi du tube par un petit cheveu qui y est fixé et qui forme ressort, reste immobile au milieu de l'alcool. Lorsque la température s'abaisse, la contraction de l'alcool entraîne la colonne de mercure en sens inverse; c'est le cylindre β qui est soulevé, le cylindre α restant en place. Le cylindre de droite indique donc les *maxima*; celui de gauche, les *minima*: chacune des deux branches porte une échelle indiquant les degrés. — Pour permettre de ramener facilement les index au contact du mercure, on a placé, dans chacun d'eux, une tige de fer très fine, qu'on attire avec un aimant.

Mais, pour que la tige d'un thermomètre puisse livrer passage à un index solide, il faut toujours qu'elle ait un assez grand diamètre intérieur, ce qui permet difficilement de donner à l'instrument une sensibilité suffisante pour des observations précises. Aussi, les météorologistes emploient-ils préférablement, pour la détermination des

il suffit de suspendre un thermomètre à une petite corde, et de le faire tourner vivement comme une fronde, pendant quelques instants. Ce mouvement, en déterminant un renouvellement rapide de l'air autour de l'instrument, l'amène à indiquer une température qui est exactement celle de l'air lui-même.

maxima en particulier, un thermomètre dans lequel on se sert, comme index, d'une très petite colonne de mercure, séparée du reste liquide par une bulle d'air. — Cet instrument est, en réalité, un thermomètre à mercure ordinaire, à tige très fine, et à la partie supérieure, duquel on a laissé un peu d'air. Pour le transformer en un thermomètre à *maxima*, il suffit de faire passer, de la tige dans la chambre supérieure, une gouttelette de mercure: on la fait redescendre ensuite dans la tige, comme si l'on voulait la réunir au reste de la colonne; la réunion est empêchée par la petite quantité d'air qui est restée dans la tige. — Pour mettre l'instrument en expérience, on le place dans une position horizontale, après avoir amené l'index de mercure aussi près que possible de l'extrémité de la colonne. Lorsque la température s'élève, la dilatation de la colonne pousse devant elle l'index; quand la température s'abaisse, l'index reste immobile; on pourra donc lire, au bout d'un temps quelconque, la température la plus haute à laquelle aura été soumis l'instrument.

904. Températures moyennes. — On nomme *température moyenne d'un jour*, en un lieu déterminé, la moyenne des températures observées, d'heure en heure, de minuit à minuit. C'est la somme de 24 observations, divisée par le nombre 24. Dans la plupart des cas, cette moyenne concorde sensiblement avec celle de trois observations, faites, la première au lever du soleil, la seconde à midi, la troisième au coucher du soleil. — Enfin, de Humboldt a montré qu'on obtient encore sensiblement le même nombre, en prenant la moyenne entre la température *maximum* et la température *minimum* du jour. Ces deux températures peuvent être fournies par les indications d'un thermomètre à *maxima* et d'un thermomètre à *minima*.

On nomme *température moyenne d'un mois*, la moyenne des températures de tous les jours de ce mois. C'est la somme de 30 ou 31 valeurs numériques, divisée par le nombre 30 ou par le nombre 31.

On nomme *température moyenne d'une année*, la moyenne des températures des mois de cette année: c'est la somme de 12 valeurs numériques, divisée par le nombre 12.

Enfin, on désigne sous le nom de *température moyenne d'un lieu*, la moyenne des températures d'un grand nombre d'années consécutives. — À l'Observatoire de Paris, la moyenne fournie par 50 années d'observations consécutives est sensiblement $10^{\circ},80$.

905. Variations de la température pendant la durée du jour. — La température la plus basse du jour, en un lieu déterminé, s'observe en général vers le lever du soleil; à partir de ce moment, le thermomètre monte graduellement jusqu'à la température maximum, laquelle s'observe vers deux heures en été, et vers une heure en hiver; il redescend ensuite jusqu'au retour du minimum, et ainsi de suite, pourvu qu'il n'intervienne aucune cause perturbatrice.

Ces résultats, fournis par l'expérience, sont faciles à expliquer. — Le soleil, depuis son lever jusqu'à midi, s'élève de plus en plus au-dessus de l'horizon : donc, d'une part, l'inclinaison des rayons solaires diminuant, la quantité de chaleur qui tombe sur une surface déterminée augmente; d'autre part, ces rayons ayant à parcourir dans l'atmosphère un trajet moins long, l'absorption qu'ils y éprouvent est diminuée : pour ces deux raisons, la terre reçoit plus de chaleur qu'elle n'en perd par rayonnement, et sa température va en croissant. — A partir de midi, la hauteur du soleil au-dessus de l'horizon diminue, et la quantité de chaleur que reçoit la terre décroît; toutefois, pendant quelque temps, cette quantité est encore supérieure à celle qui est émise par le rayonnement, et la température continue à s'élever. Enfin, il arrive un moment où la perte de chaleur devient égale au gain : la température devient alors stationnaire. — Puis, jusqu'au coucher du soleil, la température s'abaisse, parce que la chaleur émise est supérieure à la chaleur absorbée, et le refroidissement s'accélère encore après que le soleil a disparu. — Enfin le soleil reparait; la température remonte, et les mêmes phénomènes se reproduisent.

906. Variations de la température pendant l'année. — Si l'on compare entre elles les températures moyennes du jour, aux diverses époques de l'année et pour un même lieu, par exemple pour un point de la France, on observe un minimum vers le premier tiers de janvier, et un maximum vers le milieu de juillet.

C'est là encore un résultat facile à concevoir. — On sait que, pour notre hémisphère, le rapport de la durée du jour à celle de la nuit est minimum au 21 décembre (solstice d'hiver), et va en augmentant depuis cette époque jusqu'au 21 juin (solstice d'été); en outre, entre ces deux époques, la hauteur du soleil à midi devient toujours de plus en plus grande. Donc, à mesure qu'on s'approche du 21 juin, la quantité de chaleur reçue par la Terre en vingt-quatre heures augmente, et la moyenne du jour s'élève; elle continue à s'élever tant que la quantité de chaleur absorbée est supérieure à la quantité de chaleur émise. — A partir de la mi-juillet, la moyenne du jour s'abaisse, parce que la quantité de chaleur reçue en vingt-quatre heures décroît de plus en plus, et cet abaissement se continue quelques jours encore après le 21 décembre.

907. Délimitation des saisons météorologiques. — On considère, en météorologie, le mois le plus chaud, c'est-à-dire le mois de juillet, comme le milieu de l'été. Alors l'été, au lieu d'avoir les limites assignées en astronomie, savoir le 21 juin et le 22 septembre, comprend les mois de *juin, juillet, août*. — De même, le milieu de l'hiver est formé par le mois de janvier, et l'hiver comprend les mois de *décembre, janvier, février*. — Le *printemps* et l'*automne* comprennent les mois intermédiaires entre les deux autres saisons.

Cela posé, si l'on prend, en un lieu déterminé, la moyenne des trois mois de l'été, pendant plusieurs étés consécutifs, la moyenne des moyennes ainsi obtenues constituera ce que l'on nomme la *température moyenne de l'été* pour ce lieu. — On obtiendra de même la *température moyenne de l'hiver*, pour un lieu déterminé.

908. Influence de l'altitude sur la température. — Les observations faites sur les montagnes, ou dans les ascensions aérostatiques, montrent que la température décroît à mesure qu'on s'élève au-dessus de la surface du globe. — La loi de cette décroissance n'est connue qu'imparfaitement, et paraît dépendre de conditions diverses : cependant on a observé, en général, un abaissement de température de 1 degré pour un accroissement d'*altitude* d'environ 180 mètres (*).

Lorsque, en gravissant une montagne, on observe les changements successifs qu'éprouve la végétation, on trouve que ce sont précisément ceux qu'on rencontrerait en partant du pied de la montagne, et se dirigeant, à travers les pays de plaines, vers le pôle. Ainsi, en gravissant le Chimborazo, qui est situé dans la chaîne des Andes, au voisinage de l'équateur, on trouve d'abord la végétation propre aux régions équatoriales, puis celle de la zone torride, celle des zones tempérées, celle des zones glaciales, et la région des neiges perpétuelles.

Enfin, l'observation montre, ainsi qu'il était facile de le prévoir, que la limite inférieure des neiges perpétuelles se trouve, sur les diverses montagnes, à une hauteur d'autant moindre que la montagne est à une latitude plus élevée. Ainsi, à Quito, dans le voisinage de l'équateur, cette limite est à 4800 mètres; dans les Alpes, à 2700 mètres; dans les montagnes de l'Islande, à 936 mètres.

909. Lignes représentant la distribution des températures à la surface du globe. — Pour rendre facilement saisissable la distribution des températures moyennes à la surface du globe, de Humboldt a eu l'idée de construire, sur la sphère, des lignes qui réunissent les points présentant des valeurs égales pour les moyennes de même espèce. — On a construit trois systèmes de lignes :

1° Les *lignes isothermes* (ἴσος, égal; θερμός, chaleur), qui réunissent les points offrant la même température moyenne de l'année;

2° Les *lignes isotheres* (ἴσος, égal; θέρος, été), qui réunissent les points offrant la même température moyenne de l'été;

(*) Ce chiffre ne s'applique qu'à la température *moyenne* des points situés à des hauteurs différentes au-dessus de la mer. Une foule de circonstances accidentelles modifient la loi de distribution de la température, à un moment donné, sur les différents points d'une même verticale.

Quant à la raison qui détermine cette décroissance, il faut la chercher dans la Théorie Mécanique de la chaleur. Une masse d'air, en s'élevant, se refroidit par la détente qu'elle éprouve : elle s'échauffe, au contraire, en descendant et en se comprimant. On a pu calculer, d'après cela, la loi théorique de la variation de la température dans l'atmosphère : on a trouvé précisément un abaissement de température de 1 degré pour un accroissement de hauteur de 180 mètres.

5° Les *lignes isochimènes* (ἴσος, égal; χειμών, hiver), qui réunissent les points offrant la même température moyenne de l'hiver (*).

La figure 672 représente ces trois systèmes de lignes en Europe, pour les températures successives de 5 en 5 degrés. On verra plus loin comment on peut s'expliquer les irrégularités qu'elles présentent.

910. Climats. — On nomme *climat* d'un lieu, l'ensemble des conditions météorologiques auxquelles ce lieu est soumis dans l'intervalle d'une année.

Si nous nous bornons, pour le moment, aux conditions de température, on voit immédiatement que la connaissance de la ligne isotherme qui passe par le lieu considéré donne la moyenne des températures qui s'y succèdent dans l'espace d'une année. — Mais cette moyenne peut être fournie par des températures qui varient entre des limites extrêmement différentes. Considérons, par exemple, la ligne isotherme de + 10° (fig. 672), qui traverse la mer Caspienne, le nord de l'Allemagne, la Hollande, l'Angleterre, et vient passer au sud de l'Écosse. En tous les points de cette ligne, la température moyenne de l'année est la même : cependant il s'en faut de beaucoup qu'ils offrent, dans le cours de l'année, des températures semblables. En effet, la figure montre que les bords septentrionaux de la mer Caspienne sont compris entre la ligne isothère de + 25° et celle de + 20°; qu'ils sont coupés par la ligne isochimène de - 5°; la moyenne de l'été y est donc très élevée, et celle de l'hiver fort basse. Au contraire, le sud de l'Irlande est coupé par la ligne isothère de + 15° et par la ligne isochimène de + 5°, en sorte que la moyenne de l'été et la moyenne de l'hiver sont toutes deux des températures modérées, s'écartant peu de la moyenne annuelle. Ces deux régions, situées sur une même *ligne isotherme*, sont donc cependant dans des conditions très différentes de température. Ces remarques sont tout à fait générales (**).

On distingue généralement trois variétés de climats :

1° Les *climats constants*, pour lesquels la température moyenne de l'été ne présente avec celle de l'hiver qu'une différence très petite, de

(*) Il est important de remarquer que les lignes ainsi tracées se rapportent aux moyennes *corrigées*. C'est-à-dire réduites au niveau de la mer. On adopte, pour faire cette correction, le chiffre de 1 degré pour 180 mètres de différence d'altitude (908). Si l'on essayait de tracer les isothermes *vraies* pour un pays, on obtiendrait des lignes ayant les formes les plus capricieuses, et rappelant par leurs dispositions les courbes dites de *niveau* en géodésie.

(**) Pour avoir une idée exacte d'un climat, il est nécessaire d'ajouter à ces déterminations celle de la température *maximum* qui survient au moment le plus chaud de l'été, et celle de la température *minimum* à laquelle le thermomètre peut descendre pendant les jours les plus froids de l'hiver. — Ces températures extrêmes, qui ne sont souvent que passagères, et ne font varier que très peu la moyenne de l'été ou de l'hiver, peuvent avoir cependant sur la végétation une influence considérable, soit en permettant à certains végétaux d'arriver en quelques jours à maturité, soit en faisant périr subitement ceux qui auraient pu vivre pendant le reste de l'année.

6 à 7 degrés au plus. — Ainsi aux îles Canaries, la moyenne de l'été est 25°,4, et celle de l'hiver 18°,0; la différence est donc 5°,8.

2° Les *climats tempérés*, pour lesquels la moyenne de l'été offre avec

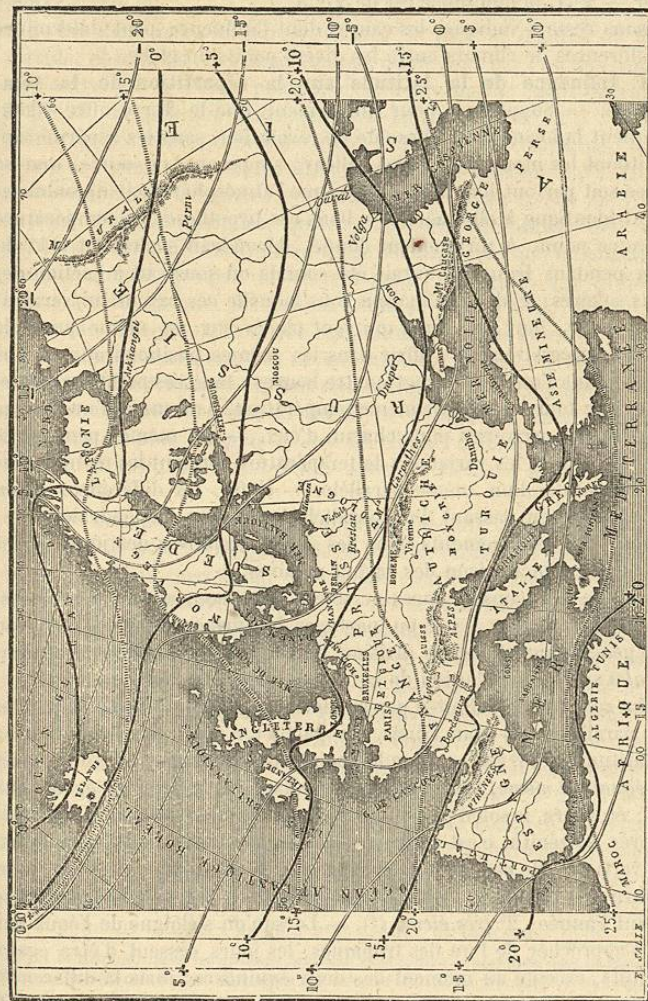


Fig. 672. — Lignes isochimènes. — Lignes isothermes. — Lignes isothères.

celle de l'hiver une différence qui atteint une quinzaine de degrés. — Tel est le climat de Paris, où, la moyenne de l'été étant + 18°,1 et celle de l'hiver + 3°,5, la différence est de 14°,8.

5° Les *climats excessifs*, pour lesquels la différence des moyennes de l'été et de l'hiver est beaucoup plus grande. — Tel est le climat de Moscou, pour lequel, la moyenne de l'été étant $+ 18^{\circ},4$ et celle de l'hiver $- 9^{\circ},1$, la différence est de $27^{\circ},5$.

Il nous reste à indiquer les causes dont l'influence peut déterminer les différences de climats entre les divers points du globe.

911. Influence de la latitude sur la répartition de la température. — Supposons, pour un moment, que la Terre offre rigoureusement la forme d'un ellipsoïde de révolution, sans les aspérités qui constituent les montagnes et les vallées; supposons, en outre, que sa surface soit partout identique; enfin, que l'atmosphère soit immobile et partout identique à elle-même. — Dans ces hypothèses, la température de chaque point, à un moment donné, dépendrait seulement : 1° du temps pendant lequel il aurait été soumis ou soustrait à l'action des rayons solaires; 2° de l'inclinaison sous laquelle ces rayons lui seraient parvenus. Or, tous les points qui sont placés sur un même parallèle viennent successivement s'offrir dans les mêmes positions aux rayons solaires, dans l'espace de vingt-quatre heures : tous ces points présenteraient donc tour à tour une même température, à mesure qu'une même heure du jour arriverait pour chacun d'eux. — De même, pendant le cours de l'année, les variations de température seraient les mêmes pour tous les points d'un même parallèle. — Enfin, les différences qu'on rencontrerait, en passant d'un parallèle à un autre, dépendraient uniquement des changements dans les durées relatives des jours et des nuits et dans l'inclinaison des rayons solaires.

Bien que ces conséquences ne soient pas rigoureusement vérifiées, on conçoit comment on a pu partager la surface du globe en cinq zones géographiques : cette division fournira au moins des indications générales sur la distribution de la température. Ces zones sont :

1° La *zone torride*, limitée par les deux tropiques, c'est-à-dire par les deux parallèles qui sont situés, de part et d'autre de l'équateur, à une latitude de $23^{\circ} 28'$. — Pour les points de cette zone qui sont placés sur l'équateur même, les jours sont, pendant toute l'année, égaux aux nuits; en outre, le soleil parvient toujours, aux heures voisines de midi, très près du zénith, c'est-à-dire qu'il arrive presque dans la direction de la verticale. De ces deux remarques, on peut conclure que la température des points de l'équateur doit être à la fois : 1° *très uniforme* pendant l'année; 2° *très élevée* (*). — Lorsqu'on s'éloigne de l'équateur pour s'approcher de l'un des tropiques, les jours cessent d'être égaux aux nuits, excepté au moment des deux équinoxes; mais la différence, sous les tropiques mêmes, ne dépasse pas trois heures, aux époques où

(*) A l'île de Singapour, dans l'Inde, la différence entre la moyenne de l'été et celle de l'hiver est de 2 degrés, et la température moyenne annuelle est de $26^{\circ},7$.

elle est maximum, c'est-à-dire aux époques des deux solstices : le soleil s'élève encore très haut sur l'horizon. La température de ces points doit donc être : 1° un peu *moins uniforme* qu'à l'équateur; 2° un peu *moins élevée* (*).

2° Les deux *zones tempérées*, situées de part et d'autre de la zone torride, chacune d'elles étant limitée, d'une part par l'un des tropiques, de l'autre par le cercle polaire, c'est-à-dire par le petit cercle situé à $23^{\circ} 28'$ du pôle (ou autrement à la latitude de $66^{\circ} 32'$). — Pour les points de ces zones, à mesure qu'on s'éloigne des tropiques, la différence des jours et des nuits atteint une valeur maximum d'autant plus considérable, et la hauteur maximum du soleil au-dessus de l'horizon devient d'autant moindre, qu'on s'approche davantage des cercles polaires. L'été peut encore être assez chaud, parce que la longueur des jours compense, jusqu'à un certain point, l'obliquité que présentent, même à cette époque, les rayons solaires; mais l'hiver devient froid, parce que l'époque de la durée maximum des nuits coïncide avec celle de l'obliquité maximum des rayons solaires. — De là résulte que, en s'éloignant du tropique, on doit rencontrer : 1° une température *de plus en plus variable* pendant la durée de l'année; 2° une température moyenne *de plus en plus basse*. Le climat, d'abord tempéré, devient bientôt excessif, et la moyenne annuelle descend à des valeurs très faibles (**).

3° Les deux *zones glaciales*, comprises chacune entre l'un des cercles polaires et le pôle correspondant. — Dans ces zones, la durée maximum de la nuit, qui correspond à l'un des solstices, est de vingt-quatre heures pour les points situés sur les cercles polaires eux-mêmes, et devient de plusieurs semaines ou de plusieurs mois à mesure qu'on s'approche des pôles : il est vrai que la durée maximum du jour, qui correspond à l'autre solstice, acquiert les mêmes valeurs; mais le soleil n'atteint jamais au-dessus de l'horizon qu'une faible hauteur. Enfin, aux pôles mêmes, l'année se compose d'une nuit de six mois, et d'un jour de six mois pendant lequel le soleil monte lentement au-dessus de l'horizon et n'atteint qu'une hauteur maximum de $23^{\circ} 28'$ à l'époque du solstice. — Dès lors, la température de ces contrées, extrêmement basse pendant les plus longues nuits, ne peut atteindre qu'une moyenne très peu élevée pendant les plus longs jours. C'est la région des glaces perpétuelles, dont les limites varient un peu avec les saisons, mais qui s'étendent toujours jusqu'à une grande distance des pôles.

(*) A la Havane, dans les grandes Antilles, c'est-à-dire à peu près sous le tropique du Cancer, la différence des moyennes de l'été et de l'hiver est de $3^{\circ},1$ et la moyenne annuelle est d'environ 25° .

(**) Aux îles Canaries, la différence entre la moyenne de l'été et celle de l'hiver est d'environ 6° , et la moyenne annuelle est de $21^{\circ},8$. — A Bordeaux, la différence entre l'été et l'hiver est près de 16° , et la moyenne annuelle est de $13^{\circ},9$. — A Stockholm, la différence entre l'été et l'hiver est de 20° , et la moyenne annuelle est de $5^{\circ},8$.

912. Des causes qui modifient la répartition des climats. — Si la Terre et l'atmosphère terrestre satisfaisaient aux hypothèses que nous avons faites sur leur constitution (911), toutes les lignes qui représentent des moyennes de température se confondraient avec des parallèles de la sphère. Or, l'inspection de ces lignes (fig. 672) montre qu'il n'en est pas ainsi. — Nous allons montrer que l'on peut trouver, dans les conditions physiques auxquelles sont soumises les différentes contrées, les causes les plus importantes de ces variations.

913. Influence de la proximité ou de l'éloignement des côtes. — **Climats maritimes et continentaux.** — Les eaux possèdent, pour la chaleur, un pouvoir absorbant et un pouvoir émissif moindres que la terre ferme : par suite, toutes choses égales d'ailleurs, elles absorbent ou émettent des quantités de chaleur moindres. — Elles ont, en outre, une chaleur spécifique plus grande, de sorte que, pour une même quantité de chaleur absorbée ou émise, elles éprouvent aussi une moindre variation de température. — Enfin, une partie de la chaleur qu'elles absorbent est employée à former des vapeurs. — Pour ces diverses raisons, l'échauffement ou le refroidissement est plus lent pour les grandes étendues d'eau que pour la terre ferme.

A ces causes, il faut ajouter l'influence de la vapeur d'eau dans l'atmosphère, au voisinage des mers, et surtout celle des nuages qui sont toujours plus fréquents au voisinage des côtes : ils tempèrent l'ardeur du soleil pendant le jour, et diminuent la perte de chaleur qu'éprouve la terre par rayonnement pendant la nuit.

De là, des différences très grandes entre les températures des continents et celles des mers, sous la même latitude. La figure 672 montre en effet que, au voisinage des mers, les lignes isothermes qui traversent des continents s'abaissent vers l'équateur, et qu'au contraire les lignes isochimènes se relèvent vers le pôle ; il en résulte que, sous une même latitude, les climats sont beaucoup *moins variables* sur les côtes que dans l'intérieur des continents.

Ce sont ces remarques qui ont donné lieu aux dénominations de *climats maritimes* et *climats continentaux*, les premiers étant en général des climats tempérés, tandis que les seconds peuvent être, sous les mêmes latitudes, des climats excessifs. — Ainsi, la différence entre la température moyenne de l'été et celle de l'hiver est de 44 degrés à Cherbourg, de 15 degrés à Paris, de 20 degrés à Vienne, bien que les latitudes de ces points soient sensiblement les mêmes.

Enfin, les climats les plus constants sont les *climats insulaires*. — Ainsi, dans les îles de la zone tropicale, la différence entre la moyenne de l'été et celle de l'hiver ne dépasse guère 2 ou 3 degrés.

914. Rapports qui existent entre les lignes de température et les limites de certains végétaux. — On conçoit que, parmi les plantes cultivées, celles qu'on sème pour les récolter au bout de quelques mois peuvent

arriver à maturité partout où la température moyenne de l'été est assez élevée, quelle que soit d'ailleurs la température de l'hiver. Aussi observe-t-on, par exemple, que la culture des orges, en Europe, est limitée au nord par une ligne voisine de la ligne isotherme de 10 degrés (fig. 672), et celle des froments par une ligne voisine de la ligne isotherme de 15 degrés. Les points traversés par ces lignes ont cependant des climats différents, et, pendant l'hiver, des températures très inégales. De même, le maïs n'exige guère que deux ou trois mois de température un peu élevée pour arriver à maturation : sa limite de culture se rapproche beaucoup de la ligne isotherme de 20 degrés. — Il en est à peu près de même des végétaux vivaces qu'on cultive pour leurs fruits : la culture en est répandue seulement dans les points où ces fruits peuvent arriver à maturité, c'est-à-dire où la température de l'été est assez élevée. Aussi, les limites de culture des vignes, des oliviers, des oranges, affectent-elles encore des formes voisines de celles des lignes isothermes.

Au contraire, les limites de végétation des arbres forestiers dépendent des températures de l'hiver, c'est-à-dire qu'elles suivent les lignes *isochimènes*. — Ainsi, la limite de végétation du chêne vert se rapproche de la ligne isochimène de + 5 degrés ; elle correspond à une latitude assez basse dans les continents orientaux, mais elle s'élève brusquement vers le midi de la France, et suit la côte de l'Océan jusque dans la Bretagne. — Des remarques analogues sont applicables aux autres arbres forestiers, dont les limites de végétation s'élèvent d'autant plus en latitude qu'ils peuvent supporter des hivers plus rigoureux.

En résumé, l'ensemble de la végétation d'une contrée dépend, à des titres différents, des températures de l'été et des températures de l'hiver, ou des lignes *isothermes* et des lignes *isochimènes* entre lesquelles cette contrée est comprise.

II. — DES VENTS.

915. Causes principales des vents. — La production des vents se relie intimement aux variations de température. Elle peut dépendre de causes diverses : nous indiquerons les principales.

Lorsqu'une région a été fortement échauffée, les couches d'air voisines du sol s'élèvent, en vertu de leur diminution de densité ; ces couches sont remplacées par l'air froid qui afflue des régions voisines. De là, un vent qui souffle, à la surface du sol, des régions plus froides vers la région considérée. Quant à l'air chaud qui s'est élevé, il se déverse ensuite par les régions supérieures vers les parties froides, et produit ainsi, dans les hautes régions de l'atmosphère, un vent en sens contraire (*).

(*) On peut mettre en évidence ce double mouvement, au moyen d'une expérience imaginée par Franklin. Si l'on ouvre la porte d'une chambre chauffée, donnant sur un espace froid, et si l'on place une bougie allumée au niveau du sol, on constate immédiatement, par le mouvement de la flamme, l'existence d'un courant d'air, venant du dehors vers la chambre. Si l'on place, au contraire, la bougie vers le haut de l'ouverture de la porte, on constate un mouvement inverse de l'air chaud, de l'intérieur de la chambre vers le dehors.

Le même effet peut se produire encore par suite d'une différence dans l'état hygrométrique de deux masses d'air voisines, un mélange d'air et de vapeur d'eau étant moins dense que de l'air sec, à la même température et à la même pression.

Ces différences de densités, dues à l'action du soleil, sont les causes les plus générales des vents. Il en résulte un échange continu de courants atmosphériques, surtout entre les mers et les continents, de sorte qu'on peut dire que l'atmosphère ne reste jamais en équilibre. Les calmes momentanés qu'on observe, en certains points et à certains instants, correspondent à des moments d'arrêt qui précèdent ordinairement les changements de direction du vent.

Enfin, des coups de vent violents peuvent résulter du vide produit, en un point de l'atmosphère, par la condensation subite d'une grande quantité de vapeur d'eau, comme cela a lieu dans les orages : l'air des régions voisines se précipite dans cet espace où la pression est moindre. — Il peut même arriver que le phénomène se propage, de proche en proche, *au rebours de la direction du vent*. C'est ce que Franklin avait constaté dans certains cas : il avait donné à ces vents le nom de *vents d'aspiration*. Mais ce sont les plus rares, la transmission de pression se faisant généralement plus vite que le mouvement de transport de l'air.

916. Vents périodiques. — Brises. — Moussons. — Parmi les vents périodiques, on peut citer les *brises*, qu'on observe sur les côtes, et qui affectent deux directions différentes dans le cours d'une même journée. — La *brise de mer* souffle le matin, quelque temps après le lever du soleil; c'est sur cette brise que les marins comptent pour entrer dans les ports. On s'explique la production de ce vent, en remarquant que la terre s'échauffe, sous l'influence des rayons solaires, plus vite que la surface de la mer (915) : donc, tant que la température continue à croître, il s'établit au-dessus de la terre une colonne d'air ascendante, qui appelle l'air de la mer. Dans notre zone tempérée, c'est surtout pendant l'été que la brise de mer est sensible : elle commence à diminuer vers trois ou quatre heures du soir, et cesse au coucher du soleil. — Alors, survient la *brise de terre*, ou brise du soir, qui dure jusqu'au lever du soleil, et que les marins peuvent utiliser pour sortir du port : la terre se refroidissant plus vite que la mer, c'est alors l'air de la côte qui descend, pendant que l'air de la mer s'élève pour lui faire place.

Les *moussons* sont des vents périodiques qui s'observent surtout dans la mer des Indes; ils règnent pendant six mois consécutifs dans un sens, et pendant les six autres mois en sens contraire. La *mousson de printemps* commence au mois d'avril, c'est-à-dire à l'époque où la température moyenne du continent commence à devenir plus élevée que celle de la mer; aussi est-ce un vent de mer, qui se continue jus-

que vers le mois d'octobre. A cette époque, survient la *mousson d'automne*, qui souffle du continent tant que la température moyenne du sol décroît plus vite que celle des mers. — Dans la mer des Indes, la mousson de printemps vient du sud-ouest, la mousson d'automne vient du nord-est : on peut facilement s'en rendre compte par la configuration des mers et des continents voisins (*).

917. Vents constants. — Alizés. — Les seuls vents constants sont les *vents alizés*, qui soufflent toute l'année dans le voisinage de l'équateur, et dont l'influence se fait sentir à une très grande distance. — Voici la théorie qui en a été donnée par Halley.

Dans les régions intertropicales, la température moyenne du jour est plus élevée que sous les autres latitudes (911) : elle est d'environ 28 degrés pendant toute l'année. De plus, les eaux occupant dans cette zone une étendue considérable, il se produit en ces points une évaporation extrêmement active. Ces deux causes diminuent la densité de l'air et déterminent une ascension des couches inférieures, qui sont remplacées par de l'air affluant des régions tempérées. Donc, si la Terre était immobile, il se produirait, à sa surface, des courants dirigés *de chacun des pôles vers l'équateur*. — Mais la Terre tourne autour de la ligne des pôles, et les vitesses de ses différents points sont d'autant plus grandes qu'ils sont plus rapprochés de l'équateur; d'autre part, l'air qui touche chaque point du globe est animé de la même vitesse de rotation que ce point lui-même. Donc, quand une masse d'air, ayant séjourné au contact des zones tempérées, a acquis la vitesse de rotation de ces régions, et que cet air vient ensuite à affluer vers les tropiques, il est animé d'une vitesse de rotation moindre que celle des points des tropiques : il reste, pour ainsi dire, en retard par rapport à ce mouvement de rotation, et il paraît souffler en sens inverse du mouvement de la Terre. Le vent de l'hémisphère boréal est donc ainsi transformé en un vent de *nord-est*; le vent de l'hémisphère austral, en un vent de *sud-est*. — Ces deux vents se combinent en arrivant sur l'équateur, où ils produisent un vent d'*est*.

On voit de plus que, si cette explication est exacte, il doit exister,

(*) C'est encore à des causes du même ordre qu'on doit rapporter le *mistral*, qui souffle dans le Midi de la France et qui est un vent de nord-ouest. — On se rend compte assez facilement de la production du mistral de la Provence : les plaines basses et sablonneuses de la Crau, de la Camargue et des Bouches-du-Rhône, échauffées par le soleil ardent de l'été, déterminent une ascension des couches d'air qui les touchent, et un appel continu de l'air des régions voisines. Cet air ne peut venir de l'est, où il est arrêté par la chaîne des Alpes : il arrive donc du nord et de l'ouest, et en particulier du plateau central de la France. — On peut remarquer enfin que ces masses d'air, qui ont passé sur les hauteurs du Cantal et de l'Auvergne, où elles se sont refroidies et ont abandonné une partie de leur humidité, arrivent alors dans des régions plus chaudes, et se trouvent ainsi très éloignées de leur point de saturation. On conçoit donc que le mistral soit l'un des vents les plus desséchants qu'on observe en Europe.