

un mouvement ondulatoire. Parfois un de ses pieds, et même tous les deux, abandonnent l'horizon. Alors les plis sont plus prononcés et plus nombreux; l'arc n'est plus qu'une longue bande de rayons qui se contourne et se sépare en plusieurs parties, en formant des courbes gracieuses qui se replient sur elles-mêmes et offrent ce qu'on appelle la *couronne boréale*. L'éclat des rayons,



Fig. 669.

variant subitement d'intensité, atteint celui des étoiles de première grandeur; les rayons dardent avec rapidité, les courbes se forment et se déroulent comme les plis et replis d'un serpent (fig. 669). Puis les rayons se colorent : la base est rouge, le milieu vert, le reste conserve sa teinte jaune clair. Enfin, l'éclat diminue, les couleurs disparaissent, tout s'affaiblit peu à peu ou s'éteint subitement.

La commission scientifique du Nord a observé, en 200 jours, 150 aurores boréales; mais il paraît qu'au pôle nord les nuits sans aurore boréale sont tout à fait exceptionnelles, en sorte qu'on peut admettre qu'il y en a toutes les nuits, seulement d'une intensité très-variable. Les aurores boréales sont visibles à des distances considérables du pôle et sur une étendue immense. Quelquefois une même aurore boréale a été vue en même temps à Moscou, à Varsovie, à Rome, à Cadix.

On a fait de nombreuses hypothèses sur la cause des aurores boréales. La direction constante de leur arc par rapport au méridien magnétique, et les perturbations qu'elles exercent sur les

boussoles (595), montrent qu'elles doivent être attribuées à des courants électriques qui se dégagent des pôles vers les hautes régions de l'atmosphère. Cette hypothèse est confirmée par ce fait, observé le 29 août et le 1^{er} septembre 1859, en France et dans presque toute l'Europe, que deux brillantes aurores boréales ont agi puissamment sur les fils des télégraphes électriques : les sonnettes ont été longtemps agitées, et les dépêches fréquemment interrompues par le jeu spontané et anormal des appareils.

Selon M. de La Rive, les aurores boréales sont dues à des décharges électriques s'opérant dans les régions polaires, entre l'électricité positive de l'atmosphère et l'électricité négative du globe terrestre; électricités séparées elles-mêmes par l'action du soleil, principalement dans les régions équatoriales.

Climatologie.

812. Températures moyennes. — On nomme *température moyenne*, ou simplement *température* d'un jour, celle qu'on obtient en faisant la somme de vingt-quatre observations thermométriques prises successivement d'heure en heure, et en la divisant par 24. L'expérience a appris qu'on obtient très-approximativement cette température en prenant la moyenne entre les températures maxima et minima du jour et de la nuit, lesquelles se déterminent à l'aide des thermomètres à maxima et à minima (268). Ceux-ci doivent être à l'abri des rayons solaires, élevés au-dessus du sol, et éloignés de tout corps qui pourrait les influencer par son rayonnement.

La température d'un mois est la moyenne de celles des trente jours, et la température de l'année est la moyenne de celles des douze mois. Enfin, la température d'un lieu est la moyenne de sa température annuelle pendant un grand nombre d'années. La température moyenne de Paris est de 10°,8. Dans tous les cas, ces températures sont celles de l'air, et non celles du sol (415).

813. Causes qui modifient la température de l'air. — Les causes qui font varier la température de l'air sont principalement la latitude, l'altitude, la direction des vents et la proximité des mers.

1^o *Influence de la latitude.* — L'influence de la latitude résulte du plus ou moins d'obliquité des rayons solaires : car la quantité de chaleur absorbée étant d'autant plus grande que les rayons approchent davantage de l'incidence normale (387), il en résulte que la chaleur absorbée par le sol décroît de l'équateur vers les pôles, puisque les rayons sont de plus en plus obliques à l'horizon. Toutefois cette perte est compensée, en partie, pendant l'été, dans les zones tempérées et dans les zones glaciales, par la longueur des

jours. Sous l'équateur, où la longueur des jours est constante, la température est à peu près invariable; à la latitude de Paris, et dans les contrées plus septentrionales, où les jours sont très-inégaux, la température varie beaucoup; mais, l'été, elle s'élève quelquefois presque aussi haut que sous l'équateur. Du reste, l'abaissement de la température résultant de la latitude est lent; ainsi, en France, par exemple, il faut avancer vers le nord de 185 kilomètres pour trouver un refroidissement d'un degré dans la température moyenne de l'air.

2° *Influence de l'altitude.* — L'altitude, c'est-à-dire la hauteur au-dessus du niveau des mers, imprime à la température de l'atmosphère un décroissement beaucoup plus rapide que celui qui résulte de la latitude. En effet, dans une ascension sur le Mont-Blanc, Saussure a observé un abaissement de température de 1 degré pour une hauteur de 144 mètres, et de Humboldt, sur le Chimborazo, a trouvé 1 degré d'abaissement pour 218 mètres. En prenant la moyenne entre ces deux nombres, on a un refroidissement de 1 degré pour une hauteur de 181 mètres, ce qui donne un décroissement de température près de mille fois plus rapide pour l'altitude que pour la latitude.

La loi de l'abaissement de la température, quand on s'élève dans l'atmosphère, n'est pas connue, par suite des nombreuses causes perturbatrices qui tendent à la modifier, lesquelles sont les vents régnants, le degré d'humidité, l'heure de la journée, etc. L'expérience apprend que la différence de température de deux lieux inégalement élevés n'est point proportionnelle à la différence de niveau, mais que, pour les hauteurs peu considérables, on peut admettre approximativement cette loi. On évalue moyennement l'abaissement de la température de l'air à 1 degré pour 187 mètres d'élévation dans la zone torride, et à 1 degré pour 150 mètres dans la zone tempérée; mais ces nombres peuvent varier beaucoup selon les circonstances locales.

Le refroidissement de l'air, à mesure qu'on s'élève dans les hautes régions de l'atmosphère, se constate dans les ascensions aérostatiques; ce qui le prouve encore, ce sont les neiges perpétuelles qui recouvrent les sommets des hautes montagnes. Dans les Alpes, la limite des neiges éternelles se trouve à la hauteur de 2710 mètres. Les causes de la basse température qui règne dans les hautes régions de l'atmosphère sont: 1° la grande raréfaction de l'air, laquelle diminue son pouvoir absorbant; 2° l'éloignement du sol, qui ne peut échauffer l'air par son contact; 3° le grand pouvoir diathermane des gaz (389); 4° enfin la diminution de pression, par suite de laquelle l'air chaud qui s'élève du sol se dilate

considérablement; or, on a vu que cette dilatation est une source de froid intense (427).

3° *Influence de la direction des vents.* — Les vents participant nécessairement de la température des contrées qu'ils ont traversées, leur direction, pour un même lieu, a une grande influence sur la température de l'air. A Paris, le vent le plus chaud est le vent du sud; viennent ensuite les vents du sud-est, du sud-ouest, d'ouest, d'est, du nord-ouest, du nord, et enfin le vent du nord-est, qui est le plus froid. Du reste, le caractère des vents change avec les saisons: le vent d'est, par exemple, qui est froid l'hiver, est chaud l'été.

4° *Influence de la proximité des mers.* — La proximité des mers tend à élever la température de l'air et à la rendre plus uniforme. En effet, on observe que, sous les tropiques et dans les régions polaires surtout, la température des mers est toujours plus élevée que celle de l'atmosphère. Quant à l'uniformité de température des mers, l'expérience apprend que, dans les régions tempérées, c'est-à-dire de 25 à 50 degrés de latitude, la différence de température entre le maximum et le minimum d'un jour ne dépasse pas, en mer, 2 ou 3 degrés, tandis que sur les continents cette différence peut aller jusqu'à 12 ou 15 degrés. Dans les îles, l'uniformité de température est très-sensible, même pendant les plus fortes chaleurs. En pénétrant dans les continents, les hivers, à latitude égale, deviennent plus froids, et la différence entre les températures des étés et des hivers devient plus grande.

§14. *Lignes isothermes.* — Lorsqu'on joint entre eux, sur une carte, tous les points dont la température moyenne est la même, on obtient des courbes que de Humboldt a fait connaître le premier, et qu'il a désignées sous le nom de *lignes isothermes*. Si la température d'un lieu ne variait qu'avec l'obliquité des rayons solaires, c'est-à-dire qu'avec la latitude, les lignes isothermes seraient toutes des parallèles à l'équateur; mais comme cette température varie sous l'influence de plusieurs causes locales, et surtout avec la hauteur, ces lignes sont toujours plus ou moins sinueuses. Toutefois, sur les mers, elles s'éloignent peu du parallélisme. On distingue encore des *lignes isothères* (d'égal été), et des *lignes isochimènes* (d'égal hiver). Enfin, on nomme *zone isotherme*, l'espace compris entre deux lignes isothermes.

Les figures 670 et 671 représentent les sinuosités des lignes isothermes dans les deux hémisphères nord et sud, ceux-ci étant tracés en projection stéréographique sur le plan de l'équateur. Ces deux cartes sont la réduction aux $\frac{2}{3}$ à peu près de celles publiées par M. Gide dans le bel atlas du *Cosmos* de Humboldt. Les lignes

isothermes y correspondent aux températures moyennes de 5 en 5 degrés, depuis -15 jusqu'à $+25$ degrés. Au delà est l'équateur thermique, c'est-à-dire la ligne qui réunit tous les points ayant la température moyenne annuelle la plus haute. Cette ligne est marquée $+28^{\circ}$. On voit qu'elle n'est pas parallèle à l'équateur, mais s'en écarte dans le golfe d'Oman jusqu'à l'approche du parallèle



Fig. 670.

de 15° ; puis passe dans l'hémisphère sud aux îles Célèbes, s'approche des îles Salomon, et revient couper l'équateur par 157° de longitude occidentale.

A l'inspection de la figure 670, on remarque qu'en se rapprochant du pôle nord, les courbes isothermes s'allongent de plus en plus de l'est à l'ouest, et qu'au delà de la ligne -15° il y a doublement en deux courbes distinctes autour de deux points P, P', qu'on a nommés *pôles de froid*, et dont Arago a estimé par le calcul la température moyenne à -25° . L'un de ces pôles est situé en Amérique, près des îles Parry, l'autre en Asie.

Les lignes isothermes de l'hémisphère sud sont moins bien connues que celles de l'hémisphère nord; mais la figure 671 montre qu'elles sont beaucoup plus régulières, ce qui résulte des vastes mers de l'hémisphère austral.

A l'aide des lignes isothermes, il est facile de suivre, à la surface de la terre, les différentes zones caractérisées par la rigueur

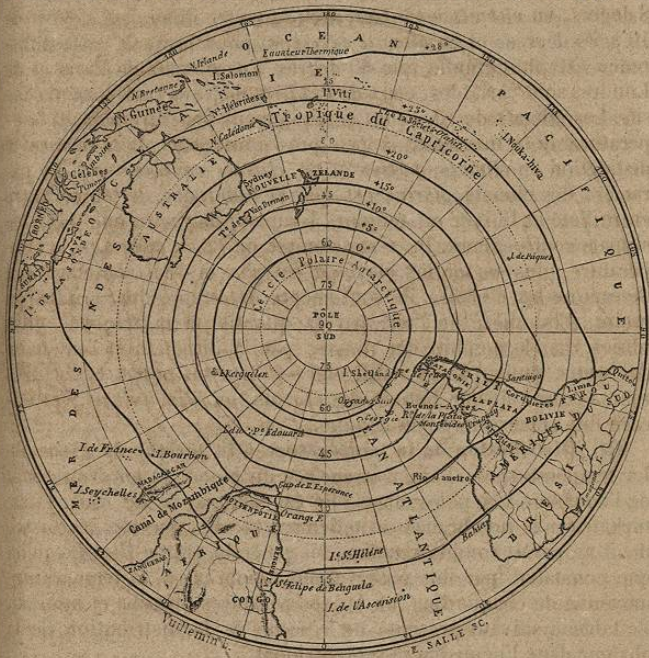


Fig. 671.

ou la douceur de leur température moyenne. Par exemple, la zone tempérée de $+10$ à $+15$ degrés, qui, en Europe, est comprise entre les latitudes de 50 à 42 degrés, est située, dans l'Amérique du Nord, entre les latitudes beaucoup plus méridionales de 40 à 36 degrés.

815. **Climats.** — On comprend sous le nom général de *climat*, l'ensemble des variations atmosphériques qui caractérisent une contrée : la température moyenne annuelle, les températures estivales et hivernales, l'humidité de l'air et du sol, les vents, la pression barométrique, la sérénité du ciel. Classés d'après leur température annuelle moyenne, les climats se divisent en sept

principaux : 1° *climat brûlant*, de 27° 5 à 25 degrés; — 2° *climat chaud*, de 25 à 20 degrés; — 3° *climat doux*, de 20 à 15 degrés; — 4° *climat tempéré*, de 15 à 10 degrés; — 5° *climat froid*, de 10 à 5 degrés; — 6° *climat très-froid*, de 5 degrés à zéro; — 7° *climat glacé*, au-dessous de zéro.

Ces climats se divisent eux-mêmes en *climats constants*, dont la différence de température entre l'hiver et l'été ne dépasse pas 6 à 8 degrés; en *climats variables*, dont la même différence s'élève de 16 à 20 degrés; et en *climats excessifs*, pour lesquels cette différence est plus grande que 30 degrés. Les climats de Paris et de Londres sont variables; ceux de Pékin et de New-York sont excessifs. Les climats des îles sont généralement peu variables, la température de la mer étant à peu près constante; de là encore la distinction en *climats marins* et en *climats continentaux*. Le caractère des climats marins est que la différence de température entre l'été et l'hiver est toujours beaucoup moindre que pour les climats continentaux. Du reste, comme on l'a vu ci-dessus, la température plus ou moins élevée n'est pas le seul caractère qui détermine les climats; ils sont encore déterminés par le plus ou moins d'humidité de l'air, par la quantité et la fréquence des pluies, par le nombre des orages, par la direction et l'intensité des vents, enfin par la nature du sol. Ce sont toutes ces causes réunies qui font que l'étude des climats, ou *climatologie*, est encore une science fort peu connue.

816. **Distribution de la température à la surface du globe.** — La température de l'air, à la surface du globe, va en décroissant de l'équateur aux pôles; mais elle est soumise à des causes perturbatrices si nombreuses et tellement locales, que son décroissement ne paraît soumis à aucune loi générale. On ne peut jusqu'ici que constater, par des observations nombreuses, la température moyenne de chaque lieu, ou les températures maxima et minima. Le tableau suivant présente un résumé de la distribution de la chaleur dans l'hémisphère septentrional.

Températures moyennes à diverses latitudes.

Abyssinie.....	31,0	Paris.....	10,8
Calcutta.....	28,5	Londres.....	10,4
Jamaïque.....	26,1	Bruxelles.....	10,2
Sénégal (Saint-Louis).....	24,6	Strasbourg.....	9,8
Rio-Janeiro.....	23,1	Genève.....	9,7
Le Caire.....	22,4	Boston.....	9,3
Constantine.....	17,2	Stockholm.....	5,6
Naples.....	16,7	Moscou.....	3,6
Mexico.....	16,6	Saint-Petersbourg.....	3,5
Marseille.....	14,1	Mont Saint-Gothard.....	—1,0
Constantinople.....	13,7	Mer du Groënland.....	—7,7
Pékin.....	12,7	Ile Melville.....	—18,7

Ces températures sont des températures moyennes; la plus haute température observée à la surface du globe a été de 47° 4, à Esné, en Égypte, et la plus basse, de — 56° 7, à Fort-Reliance, au nord de l'Amérique; ce qui donne une différence de 104° 1 entre les températures observées sur différents points du globe.

La plus haute température observée à Paris a été de 38° 4, le 8 juillet 1793, et la plus faible de — 23° 5, le 26 décembre 1798.

817. **Températures des lacs, des mers et des sources.** — La température de la mer, entre les tropiques, est généralement à peu près la même que celle de l'air; dans les régions polaires, la mer est toujours plus chaude que l'atmosphère.

La température de la mer, sous la zone torride, est constamment de 26 à 27 degrés à la surface; elle diminue quand la profondeur augmente, et, dans les régions tempérées comme dans les régions tropicales, la température de la mer, à de grandes profondeurs, se maintient entre 2° 5 et 3° 5. On explique la basse température des couches inférieures par l'effet de courants sous-marins qui portent vers l'équateur l'eau froide des mers polaires.

La température des lacs présente des variations beaucoup plus grandes que celle des mers; leur surface, qui peut se congeler pendant l'hiver, s'échauffe l'été jusqu'à 20 ou 25 degrés. Le fond, au contraire, conserve sensiblement une température de 4 degrés, qui est celle du maximum de densité de l'eau (289).

Les sources, provenant des eaux pluviales qui se sont infiltrées dans l'écorce du globe à des profondeurs plus ou moins considérables, tendent nécessairement à se mettre en équilibre de température avec les couches terrestres qu'elles traversent (415). Par conséquent, lorsqu'elles arrivent à la surface du sol, leur température dépend de la profondeur qu'elles ont atteinte; si cette profondeur est celle de la couche invariable, la température des sources est de 11 à 12 degrés dans nos contrées, où telle est la température de cette couche, et à peu près aussi la température moyenne annuelle. Toutefois, si la source est peu abondante, sa température est élevée en été et refroidie en hiver par celle des couches qu'elle traverse pour arriver de la couche invariable jusqu'à la surface du sol. Mais si les sources arrivent d'une profondeur plus grande que celle à laquelle est située la couche invariable, leur température peut dépasser de beaucoup la température moyenne du lieu, et elles prennent alors le nom d'*eaux thermales*. Voici la température de quelques eaux thermales :

En France.	Vichy.....	40°
—	Mont-Dore.....	44°
—	Bourbonne.....	50°
—	Dax (Landes).....	60°
—	Chaudes-Aignes.....	88°
En Amérique.	Trincheras, près de Puerto-Cabello.....	97°
En Islande.	Le grand-Geysir, à 20 mètres de profondeur.....	124°

Par leur haute température, les eaux thermales acquièrent la propriété de dissoudre plusieurs des substances minérales qu'elles rencontrent dans leur trajet, et elles se désignent alors sous le nom d'*eaux minérales*. Les substances qu'elles tiennent en dissolution sont, le plus souvent, les acides sulfureux, sulfhydrique, chlorhydrique, sulfurique, et des sulfures, des hyposulfites, des sulfates, des carbonates, des chlorures, des iodures.

La température des eaux thermales n'est point modifiée, en général, par l'abondance des pluies ou par la sécheresse; mais elle l'est par les tremblements de terre, après lesquels on l'a vue quelquefois s'élever, d'autres fois s'abaisser.

818. **Distribution des eaux à la surface du globe.** — La distribution des eaux à la surface du globe exerce une grande influence sur les climats. Les eaux présentent une superficie beaucoup plus grande que celle des continents, et leur distribution est très-inégalement dans les deux hémisphères. En effet, la surface du globe, en myriamètres carrés, étant de 5 100 000, on trouve que celle des mers et des lacs est de 3 700 000 myriamètres carrés, et celle des continents et des îles de 1 400 000; c'est-à-dire que la surface des eaux est à peu près trois fois plus grande que la surface des terres. Dans l'hémisphère austral, la surface des mers est plus grande que dans l'hémisphère boréal dans le rapport de 13 à 9.

La profondeur des mers est très-variable. La sonde rencontre le fond, en général, à 300 ou 400 mètres; mais, en pleine mer, elle descend souvent à 1 200, et quelquefois elle n'atteint pas le fond à 4 000 mètres.

D'après ces nombres, la masse totale des eaux, à la surface du globe, ne dépasse pas une couche liquide qui aurait 1 000 mètres de hauteur et envelopperait toute la terre.

FIN.

RECUEIL

DE PROBLÈMES DE PHYSIQUE,
AVEC SOLUTION, DONNÉS EN SUJET DE COMPOSITION A
LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS, DE 1853 A 1863.

PRÉCEPTES GÉNÉRAUX SUR LA RÉOLUTION
DES PROBLÈMES DE PHYSIQUE.

Objet des problèmes de physique. — Les problèmes de physique sont de véritables problèmes de mathématiques, mais dans lesquels c'est une loi physique qui lie les quantités connues à l'inconnue.

Ces problèmes étant une application de l'algèbre aux sciences physiques, on y représente, en général, non-seulement les quantités inconnues, mais encore les quantités connues, par des lettres: par exemple, les volumes par V, les densités par D, les poids par P, les températures par t , les forces élastiques de vapeur par F.

En procédant ainsi, non-seulement on généralise et l'on obtient des expressions algébriques, ou *formules*, qui s'appliquent à toutes les questions de même forme, mais on simplifie et l'on abrège les calculs; à tel point, qu'il y a avantage pour les élèves, même dans un problème dont les données sont numériques, de représenter ces données par des lettres, de résoudre ainsi la question d'une manière générale, puis de remplacer, dans la formule à laquelle ils arrivent, les lettres par les valeurs particulières qui leur correspondent.

En suivant cette marche, les élèves opéreront plus vite, éviteront des erreurs toujours faciles à commettre dans un long calcul numérique; et si, enfin, la formule générale qu'ils ont obtenue est juste, les fautes de calcul qu'ils pourraient faire ensuite en remplaçant les lettres par leurs valeurs numériques, seraient fortement compensées par l'exactitude du calcul algébrique.

Résolution des problèmes de physique. — Que les données d'un problème soient représentées en lettres ou en nombres, sa résolution se compose toujours de deux parties bien distinctes: 1° la *mise en équation du problème*, c'est-à-dire la traduction en équation de la relation existante entre l'inconnue du problème et les quantités connues; 2° la *résolution de l'équation*.

La seconde partie, tout algébrique, se borne à savoir résoudre une équation du premier ou du deuxième degré, opération toujours facile et soumise à des règles invariables, avec lesquelles les élèves doivent se familiariser avant d'aborder les problèmes.

Quant à la mise en équation, on peut considérer deux cas: 1° celui où les problèmes sont compris dans l'une des formules déjà connues; 2° celui où, ne dépendant directement d'aucune formule donnée antérieurement, leur résolution exige un travail analytique spécial. De là deux genres de problèmes dont nous allons successivement nous occuper.

Problèmes qui s'appuient sur les formules données dans le cours. — Ces problèmes comprennent la presque totalité des questions élémentaires de physique, et ils offrent cet avantage, que la mise en équation se trouve toute faite par l'emploi de formules déjà connues; car celles-ci étant les équations de ces problèmes établies à priori d'une manière générale, il ne reste qu'à les résoudre, dans chaque cas particulier, par rapport à la lettre qui représente l'inconnue que l'on cherche.