

PROJECTION ÉQUATORIALE DES LIGNES ISOTHERMES DU GLOBE.

ENCYCLOPÉDIE POPULAIRE.

PHYSIQUE DU GLOBE

ET MÉTÉOROLOGIE

PAR HOUZEAU,

Ancien aide à l'Observatoire Royal de Bruxelles.



BRUXELLES,
Société pour l'émancipation intellectuelle,
A. JAMAR, ÉDITEUR.

AVERTISSEMENT.

Nous avons cherché à présenter, dans ce petit travail, une esquisse de la Physique du globe, dans le sens le plus étendu que l'on y attache. Nous ne connaissons pas jusqu'ici de traité élémentaire qui rentre dans le cadre que nous avons conçu. C'est aux ouvrages d'*Alexandre de Humboldt* que nous avons emprunté la plupart des grands rapprochements théoriques par lesquels nous relierons entre eux, dans notre pensée, les phénomènes des différents ordres. En nous imposant la condition de n'admettre, dans ce volume, que des données positives, nous avons dû parler quelquefois de recherches récentes, qui ne sont pas encore mentionnées dans les ouvrages élémentaires. C'est ainsi que les expériences rapportées dans un des derniers comptes rendus de l'Association britannique, transforment au-

PHYSIQUE DU GLOBE. 1

aujourd'hui en réalité l'hypothèse que l'auteur des instructions à l'expédition antarctique posait en ces termes : « Les phénomènes des variations périodiques du magnétisme dépendent évidemment de l'action de la chaleur solaire, opérant *sans doute* par l'intermédiaire de courants thermo-électriques induits sur la surface de la terre. »

La série des sciences de l'Encyclopédie populaire a un caractère distinct. Le directeur de cette division, M. *Quetelet*, dit à la page 6 de l'avant-propos de son *Astronomie* : «... Je crus ne plus devoir hésiter à accepter la part qui m'était faite; j'y mis une seule condition, d'être seul responsable de la partie scientifique et de n'avoir à m'occuper de rien de ce qui touchait aux autres branches de l'Encyclopédie populaire. » Aussi nous sommes-nous uniquement préoccupé, en rédigeant ce traité, de la science dont nous exposons les traits généraux.

J. C. H.

Novembre 1850.

INTRODUCTION.

La **PHYSIQUE DU GLOBE** a pour objet l'étude des éléments et des forces qui les régissent. Elle embrasse la constitution et la température de la terre, la distribution et le mouvement des eaux, les divers phénomènes atmosphériques. La **MÉTÉOROLOGIE** formait autrefois une science distincte. Les anciens y faisaient rentrer, comme on le voit par le traité d'*Aristote*, tous les phénomènes qui avaient leur siège entre la terre et le ciel, c'est-à-dire entre la surface du globe et les sphères creuses qui entraînaient les astres. Mais lorsque l'astronomie eut brisé ces sphères et reculé, par des mesures plus exactes, la distance des corps célestes; lorsque les observations des Arabes sur la durée des crépuscules eurent réduit à dix-huit ou vingt lieues l'épaisseur de l'atmosphère, on put s'apercevoir que la presque totalité des météores sont des manifestations essentiellement terrestres. La région des vents, des orages, de l'arc-en-ciel,

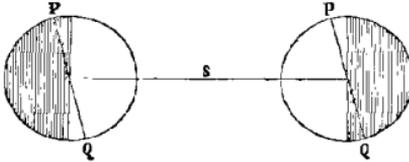
n'est autre que la couche aérienne et transparente qui enveloppe la Terre de toutes parts. Les comètes seules et les étoiles filantes ont été restituées à l'Astronomie. L'étude des autres météores est venue se relier, de la manière la plus intime, à la Physique du globe, et l'on pourrait presque dire que la Météorologie des modernes n'est que la section de la Physique du globe qui traite des phénomènes particuliers de l'atmosphère.

La notion de la Terre, de sa grandeur, de sa figure, s'est successivement étendue, par les observations et les voyages. Au temps d'*Homère*, on la regardait comme une surface plane, entourée de tous côtés par les eaux. Mais la rondeur visible des mers, et surtout l'ombre circulaire que la Terre projette sur la Lune dans les éclipses, avaient déjà conduit *Pythagore* et *Thalès* à la considérer comme un vaste globe suspendu dans l'espace. Les voyages de circumnavigation ont fourni la preuve immédiate et matérielle de ces idées. Depuis l'année 1521 où le vaisseau *la Victoire*, qui avait porté *Magellan*, rentra dans le port de Séville, après avoir accompli le tour du globe, cette belle expérience de géographie a été renouvelée plus de quarante fois, par des routes et dans des directions différentes. La Terre est un globe à très-peu près sphérique, isolé dans l'espace, et flottant au gré des forces qui le dirigent.

On a vu dans le *Traité d'Astronomie* de quels mouvements est doué le globe de la Terre. La rotation diurne, qui s'accomplit dans l'espace de vingt-quatre heures, engendre le retour régulier du jour et de la nuit. Une moitié de la sphère terrestre est frappée par les rayons du Soleil, tandis que la moitié opposée reste dans l'ombre; et comme cette sphère est animée d'un mouvement de rotation sur elle-même, les diverses parties de sa surface passent alternativement de la lumière à l'obscurité et de l'obscurité à la lumière. En outre, la Terre tourne autour du Soleil en un an, en se transportant suivant une courbe immense, dont le diamètre est de trois cents millions de kilomètres.

Cette courbe, ce chemin annuel de la Terre, se nomme son orbite. Si l'axe autour duquel la rotation s'opère était perpendiculaire au plan de l'orbite, les mêmes parties du globe seraient

éclairées en toute saison. Mais comme cet axe est incliné d'environ $66\frac{1}{2}^{\circ}$ sur le plan de l'orbite, et qu'il se transporte parallèlement à lui-même, les deux pôles P, Q sont alternativement éclairés par le Soleil S, à un intervalle de six mois.



Le Soleil s'élève plus ou moins sur l'horizon d'un même lieu dans les différents temps de l'année, et ces variations constituent les saisons astronomiques. On trouve également dans le *Traité d'Astronomie* l'exposition détaillée de ces phénomènes.

Nous avons comparé tout à l'heure la Terre à une sphère presque parfaite. Ce globe diffère fort peu, en effet, de la forme sphérique. Il est seulement légèrement aplati sous ses pôles, en sorte que l'axe P Q, qui va d'un pôle à l'autre, est un peu plus court que le diamètre A B de l'équateur. Mais la différence entre les deux droites A B et P Q n'est que $\frac{1}{300}$ de leur longueur. C'est là le chiffre de l'aplatissement de la sphère terrestre. La distance P C du pôle au centre de la terre est de 24 kilomètres plus courte que la distance A C d'un point de l'équateur. Le rayon P C est de 6 355 kilomètres, et le rayon A C de 6 376.

L'aplatissement de la Terre sous ses pôles est une conséquence de son mouvement de rotation. La pesanteur, qui attire également tous les corps vers le centre de la Terre, imprimerait au globe une figure parfaitement sphérique. Mais comme ce globe tourne sur son axe, la pesanteur est combattue par la force centrifuge que la rotation engendre. Or cette force est nulle au pôle, qui tourne sur lui-même; tandis qu'elle augmente progressivement jusqu'à l'équateur, où les points de la surface du globe décrivent chaque jour un cercle de 40 062 kilomètres de circonférence. Au pôle, la pesanteur conserve toute sa force; sous l'équateur elle perd, par la vitesse de la rotation, $\frac{1}{288}$ de son intensité.

C'est donc l'action de la force centrifuge engendrée par la rotation, qui étend la substance de la Terre dans le sens de l'équateur, en l'aplatissant par conséquent sous les pôles. La figure aplatie de notre globe est un témoignage de son état passé; elle rappelle une époque, d'une prodigieuse antiquité, où sa masse était assez fluide, ou du moins assez ramollie, pour céder facilement aux forces qui agissaient sur sa figure.

La mécanique enseigne à calculer le chiffre de l'aplatissement, pour une masse formée d'un fluide homogène, d'après la vitesse connue de la rotation et l'intensité de la pesanteur. Ces calculs prennent pour base la perte éprouvée par la pesanteur, à l'équateur, et cette perte est, comme nous l'avons dit, pour notre globe, de $\frac{1}{288}$ de la pesanteur. L'aplatissement d'une masse fluide homogène doit s'élever à $\frac{3}{4}$ de cette diminution de la pesanteur, et serait ainsi, sur la Terre, de $\frac{1}{230}$, tandis que l'aplatissement effectif est $\frac{1}{300}$ seulement. Il faut en conclure que la substance de notre globe n'est pas homogène, mais qu'au contraire la densité de ses couches intérieures croît depuis la surface jusqu'au centre. La mécanique montre, en effet, que pour une masse ainsi composée, l'aplatissement serait compris entre $\frac{3}{4}$ et $\frac{1}{2}$ de la déperdition de la pesanteur sous l'équateur, et par conséquent, pour la Terre, entre les fractions $\frac{1}{230}$ et $\frac{1}{376}$. L'aplatissement effectif tombe, comme on l'a vu, entre ces limites : la densité des couches du globe terrestre va donc en augmentant, de la surface vers le centre.

C'est ainsi que la grandeur de l'aplatissement nous donne des lumières sur la constitution intérieure de la Terre. La mesure de la densité moyenne du globe confirme ces premières notions. Par des méthodes qui sont exposées dans les *Traité de l'Astronomie et de Géologie*, on trouve que la densité moyenne de la Terre est $5 \frac{2}{3}$ fois celle de l'eau. Or la densité des terres et des roches qui composent l'écorce du globe n'est pas tout à fait $2 \frac{3}{4}$. Il faut par conséquent que la densité des substances dont la Terre est formée augmente avec la profondeur, et que le cœur de notre planète soit notablement plus dense que son écorce.

La Terre se présente donc à nos regards comme un immense

globe, suspendu dans l'espace, aplati légèrement sous ses pôles, formé de couches dont la densité va en croissant à mesure qu'on se rapproche du centre, doué d'un mouvement diurne de rotation qui produit la succession du jour et de la nuit, et d'un mouvement annuel de circulation autour du Soleil qui ramène le retour des saisons. Fixés à la surface de ce globe, nous avons pu en observer la superficie, mais non en pénétrer l'intérieur. Les travaux les plus profonds de nos mines ne descendent guère à plus de $\frac{1}{10\ 000}$ du rayon de la Terre. C'est à peine si nous connaissons l'écorce de ce globe immense.

La terre, telle que nous venons de la considérer, est une espèce de noyau, qui porte deux enveloppes concentriques : l'Océan et l'Atmosphère. Au-dessus de l'écorce du globe s'étale une nappe liquide qui ne laisse à découvert que les parties les plus saillantes du noyau. Ces parties saillantes, qui s'élèvent au-dessus de la surface des eaux, sont nos continents et nos îles ; mais on sait que les mers couvrent près des $\frac{3}{4}$ de la superficie du globe, tandis que $\frac{1}{4}$ seulement de cette superficie est à sec. Bien que la profondeur de l'Océan soit considérable en certains endroits, et que des lignes de sonde de quatre et même de huit mille mètres n'aient pas toujours atteint le fond, il n'en est pas moins reconnu, par les expériences du pendule, que la profondeur moyenne de la mer ne dépasse pas quelques centaines de mètres. On peut donc regarder l'Océan comme une première enveloppe du globe terrestre, à travers laquelle percent sur plusieurs points les continents et leurs montagnes, que Ritter compare aux bas-reliefs d'une sphère gigantesque.

La seconde enveloppe de la terre est l'Atmosphère. C'est une couche gazeuse de 70 à 80 kilomètres d'épaisseur, déposée tout autour de notre globe. De même que les inégalités du fond de la mer forment les bas-fonds et les gouffres, de même aussi les montagnes et les vallées de nos continents forment les inégalités du fond de l'atmosphère. Mais tandis que l'océan ne couvre qu'une partie du globe, la couche aérienne enveloppe la totalité des mers et des terres, et sert d'enceinte générale au noyau terrestre.

Cette sphère, dont nous venons de rappeler les traits caracté-

ristiques, est soumise à trois forces principales, dont le jeu produit tous les phénomènes dont nous aurons à nous occuper dans le cours de ce *Traité*. La première de ces forces est la Pesanteur ou Gravité. Elle tend à rapprocher tous les corps du centre de la Terre; elle les fait tomber vers la surface lorsqu'ils en ont été écartés. C'est la Pesanteur qui réunit et qui retient ensemble toutes les parties dont le globe de la Terre est composé; c'est en vertu de cette force que les eaux coulent le long des pentes et qu'elles vont se réunir dans la mer; c'est en vertu de la même force que les couches d'eau et d'air se classent suivant leur densité relative, les plus pesantes au fond et les plus légères à la surface. On peut dire que la force de Pesanteur crée véritablement l'unité et l'individualité du globe; elle ramène tous les éléments vers un ordre de stabilité déterminée, qu'elle tend sans cesse à rétablir.

La force expansive de la Chaleur est l'antithèse de la Gravité. Elle trouble les conditions d'équilibre; elle enlève les eaux du bassin où elles reposent, sous la forme de vapeurs légères; elle fait naître au sein de l'Océan et de l'atmosphère d'innombrables courants, produits par la dilatation des parties échauffées. Le retour périodique de la chaleur solaire ramène la succession des saisons, et avec les saisons la fonte ou la prise des glaces, la douceur des brises ou l'âpreté des frimas. Tandis que la Pesanteur rappelle les éléments vers un ordre stable et régulier, la Chaleur trouble à chaque instant cet ordre normal, et sert de principe à tous les grands phénomènes de la Physique du globe.

La Pesanteur est la force conservatrice, une, constante, régulière. La Chaleur est le principe variable, qui développe au sein de la nature les transformations et la vie; c'est la cause première des pluies, des courants et des vents, de la diversité des climats et des saisons.

Mais il existe une troisième force qui se manifeste par des propriétés particulières: l'Électricité. Elle donne naissance à une circulation perpétuelle dans l'intérieur et autour du globe. C'est cette circulation qui se manifeste dans l'électricité des nuées et qui se rétablit, lorsqu'elle est interceptée, par l'étincelle brillante

de la foudre. C'est la circulation électrique, dans l'écorce terrestre, qui imprime à l'aiguille aimantée sa remarquable direction, et qui donne naissance, vers le pôle, aux effluves lumineux de l'aurore boréale.

Tous les phénomènes que nous allons considérer ont pour principe l'une ou plusieurs de ces trois forces. Il sera donc nécessaire d'étudier chacune d'elles en particulier, de reconnaître ses caractères et ses lois. Nous examinerons en second lieu l'application de ces forces à la terre, et à ses deux enveloppes d'air et d'eau.

Nous avons appelé la première partie de ce travail **PARTIE THÉORIQUE**, parce qu'elle a pour but de faire connaître les lois propres de la Pesanteur, de la Chaleur et de l'Électricité. Ces lois sont développées d'une manière abstraite, et dans toute leur étendue, dans les *Traité de Mécanique* et de *Physique*. Mais il était indispensable de les rappeler ici dans leur ensemble, au point de vue des phénomènes de la Physique du globe. La seconde partie a été appelée **PARTIE DESCRIPTIVE**, parce qu'on y considère le globe et sa double enveloppe, c'est-à-dire les terres, les eaux et l'atmosphère, dans les modifications qu'ils subissent sous l'action des trois forces primitives.

C'est à la surface du globe, et au sein des deux nappes d'eau et d'air, que se développe toute la population organique de la planète. Le règne végétal couvre à la fois la superficie des terres et de l'océan. Il s'élève sur les plus hautes montagnes jusqu'à la limite des neiges éternelles; mais il ne descend guère qu'à une vingtaine de mètres sous les eaux de la mer, aux flancs des rochers et sur le dos des bas-fonds, parce qu'à cette profondeur l'affaiblissement de la lumière s'oppose à son développement. Le règne animal, plus varié dans ses fonctions vitales, n'est pas renfermé dans les mêmes limites. L'aigle et le condor planent à plusieurs milliers de mètres au-dessus des plus hautes cimes des Alpes et des Cordillères, pendant que des myriades d'infusoires peuplent les profondeurs obscures de l'océan. L'homme, au contraire, reste attaché à la surface des parties solides qui s'élèvent au-dessus des eaux, et ne doit qu'à son industrie de parcourir et de traverser les mers, de sonder les

profondeurs de l'océan aérien et de l'océan liquide. Tous les phénomènes de la Physique du globe, la réaction continuelle des éléments, le retour des saisons, le jeu des météores, impriment à la nature organique et à l'homme lui-même les phases périodiques et la mobilité de la vie.

PHYSIQUE DU GLOBE

ET

MÉTÉOROLOGIE.

ET



PARTIE THÉORIQUE.

—

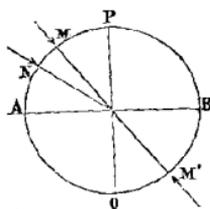
CHAPITRE PREMIER.

GRAVITÉ.

—

Lois générales de la gravité. — La gravité est la force propre du globe qui tend à rapprocher tous les corps du centre de la Terre; c'est l'attraction exercée par la masse entière du globe sur tous les corps qui le composent et qui l'entourent. Cette attraction agit, en chaque lieu, suivant une droite dirigée vers le centre de la sphère, et que l'on appelle la perpendiculaire ou la verticale du lieu. Tout corps qu'on laisse tomber librement, après l'avoir soulevé à une certaine hauteur, parcourt dans sa chute une verticale.

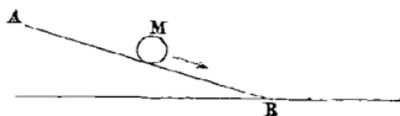
La gravité tend donc à ramener vers la Terre tout ce qui en a été écarté, et comme elle s'exerce sur toute la circonférence du globe, elle maintient également dans leur position naturelle, par rapport à la surface de la sphère terrestre, les habitants des régions diamétralement opposées M et M' , les habitants antipodes. Partout la chute des corps se fait perpendiculairement à la surface horizontale marquée par les eaux tranquilles. Les phénomènes relatifs sont les mêmes, bien que les positions absolues dans l'espace soient différentes.



C'est toujours dans la verticale du lieu, et par rapport au centre de la Terre, qu'il faut considérer la gravité. Cette force attractive est permanente et invariable : elle n'agit pas instantanément comme l'impulsion de la poudre sur le boulet, elle agit continûment ; elle attire les corps non-seulement au moment de leur départ, mais pendant toute la durée de leur chute. Il en résulte que la vitesse avec laquelle un corps tombe suivant la verticale AB va sans cesse en augmentant, parce que la gravité ajoute sans cesse une impulsion nouvelle à celle dont le corps était animé antérieurement. Ainsi, après avoir parcouru l'espace Am pendant la première seconde de temps, il parcourra mn pendant la deuxième, np pendant la troisième, pB pendant la quatrième. La théorie montre, suivant les belles recherches de Galilée, que ces espaces Am , mn , np , pB , etc., croissent comme la suite des nombres impairs, 1, 3, 5, 7, etc.

Avec la connaissance de cette loi, il serait toujours facile de calculer le chemin parcouru par un corps dans une durée donnée, si l'on parvenait à déterminer la hauteur Am d'où il tombe pendant la première seconde de temps. Cette hauteur varie suivant les milieux pesants et résistants, tels que l'eau ou l'air, dans lesquels se fait la chute. Dans le vide, elle est de 5 mètres à fort peu près, et la présence de l'air altère peu cette quantité pour les corps les plus compactes, tels que la plupart des pierres et des métaux.

La gravité, qui se fait sentir sur tous les corps, ne se manifeste pas seulement dans leur chute libre ou verticale. Quand le corps trouve un obstacle qui arrête sa chute, l'attraction que la Terre exerce sur lui se manifeste par la pesanteur du corps. La pesanteur n'est que la tendance des corps à se rapprocher du centre de la Terre. Si l'obstacle est incliné, ils cèdent encore à la gravité, en descendant la pente pour se rapprocher de ce centre. La boule M roulera sur le plan incliné A B en vertu de la gravité. Seulement, comme une partie de la force motrice est



détruite par la résistance que le plan A B oppose à la chute verticale, la vitesse de M sera moindre que dans la chute libre. Toutefois cette vitesse sera soumise à la même accélération, suivant les mêmes lois : la grandeur du chemin parcouru durant chaque seconde sera seule altérée.

La rapidité de la chute des corps le long des plans inclinés dépend du degré d'inclinaison de ces plans. Elle se rapproche d'autant plus de la vitesse qui s'observe suivant la verticale, que le plan lui-même approche davantage de la perpendiculaire. Elle est d'autant plus faible, au contraire, que le plan devient plus horizontal. Sur un plan d'une horizontalité parfaite, le mouvement cesse, et l'attraction de la Terre ne se manifeste plus que par une pression contre le plan, qui est la pesanteur du corps.

La chute des corps suivant les plans inclinés trouve une application constante dans la nature. L'écoulement des ruisseaux et des rivières se fait en vertu de ces lois. Le lit des eaux courantes n'est pas autre chose qu'une surface inclinée, d'une pente variable, le long de laquelle le liquide s'écoule par l'action de la gravité. Les eaux de l'Escaut ont 45 mètres de pente depuis leur entrée en Belgique jusqu'à l'embouchure du fleuve au-dessous d'Anvers; celles de la Meuse en ont 50 depuis Dinant jusqu'à Liège. Les lacs eux-mêmes, lorsqu'ils ont un écoulement, offrent une pente dans le sens du mouvement des eaux qui les traversent; le lac de Côme, par exemple, a plus de 50 mètres de pente du nord au sud.

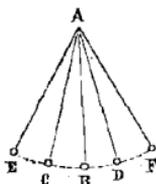
Au contraire, lorsque les eaux n'ont point de mouvement, c'est le signe de l'horizontalité parfaite de leur surface, et c'est sur ce principe qu'est fondée la construction du Niveau. La direction de la gravité est alors perpendiculaire à la surface horizontale des eaux tranquilles. Cette direction peut s'obtenir en suspendant un poids à un fil, instrument qu'on nomme le



Fil-à-plomb. Si l'on écarte le fil-à-plomb AB de la position verticale dans laquelle la gravité tend à le maintenir, si on l'entraîne, par exemple, dans la position AC, le poids C, lorsqu'on le lâche, retombe vers sa position primitive B; mais comme il a acquis dans ce mouvement une certaine vitesse, il dépasse B, et se relève du côté opposé jusqu'en D. La gravité le ramène

ensuite de D en B, et, en vertu de la nouvelle vitesse acquise, il s'écarte de la verticale vers C, oscillant ainsi alternativement des deux côtés de la position d'équilibre. Ces oscillations vont toutefois en s'affaiblissant, à cause du frottement du fil autour du point A, et de la résistance de l'air.

L'instrument que nous venons de décrire se nomme le Pendule. La rapidité avec laquelle il reprend sa position primitive lorsqu'il en a été écarté, donne, comme la chute des corps, la mesure de l'intensité de la gravité. Mais le pendule offre ce précieux avantage que les oscillations se succèdent et se répètent pendant une longue durée, en sorte que l'expérience, en se multipliant, peut acquérir une précision presque indéfinie. En effet, suivant la remarque importante de *Galilée*, toutes les



oscillations d'un même pendule, grandes ou petites, sont sensiblement isochrones, c'est-à-dire d'égale durée. Le pendule AB emploie le même temps à osciller dans l'arc CD qu'il en mettrait à osciller dans l'arc EF. Sa vitesse est plus grande dans le second cas, mais la durée reste la même. Une petite sphère, suspendue à un fil

léger d'un mètre de longueur, battra à peu près exactement la seconde de temps.

Le pendule est l'instrument le plus simple et le plus commode

pour étudier la gravité dans les diverses contrées de la Terre. Mais avant d'entreprendre cette étude, il est nécessaire de se rappeler les effets de la force centrifuge, engendrée par le mouvement de rotation de la Terre. Ce mouvement, comme tous les mouvements circulaires, tend à soulever les corps pour les projeter loin du centre. Il agit donc en sens inverse de la gravité, dont il affaiblit les effets. Sous l'équateur terrestre, il enlève, comme nous l'avons dit, à la gravité, $\frac{1}{288}$ de sa valeur; puis cet affaiblissement va en diminuant vers les pôles, où il finit par s'annuler tout à fait. Il résulte de là que la chute des corps et les oscillations du pendule seront un peu plus lentes à l'équateur que dans les contrées polaires. L'expérience même, en confirmant ces prévisions, atteste de la manière la plus éclatante la rotation diurne de la Terre.

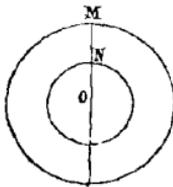
Variations de la gravité. — On s'est proposé, dans plusieurs expéditions scientifiques, d'étudier la variation de la gravité dans les diverses régions du globe. On a transporté un même pendule dans de nombreuses stations des deux hémisphères, en observant chaque fois combien il faisait d'oscillations en vingt-quatre heures. Le nombre des oscillations permettait de déterminer l'accroissement ou la diminution de la gravité. L'idée de ces belles recherches avait été inspirée à *Richer*, du vivant même de *Newton*, par cette observation frappante qu'une horloge, réglée à Paris, retardait à Cayenne dans le voisinage de l'équateur.

Après avoir tenu compte, comme nous l'avons dit plus haut, de l'action de la force centrifuge, on trouve encore que la gravité va en diminuant des pôles à l'équateur. Mais cette diminution s'accorde précisément avec l'effet nécessaire de l'aplatissement du globe. C'est l'attraction de la masse entière de la Terre qui produit la gravité. Cette masse agit sur les objets extérieurs comme si elle était réunie tout entière au centre du sphéroïde. Or, ce centre est plus rapproché des pôles que des points de l'équateur; par conséquent l'attraction de la masse doit être plus forte dans les régions polaires que dans les régions équatoriales. La gravité diminue à mesure qu'on se rend du pôle à l'équateur, parce que, dans ce trajet, on s'éloigne du centre de

la Terre. L'affaiblissement observé est précisément celui que la théorie de l'aplatissement du globe indique ; en sorte que les expériences du pendule ne confirment pas seulement l'existence de la rotation diurne de la Terre, mais aussi jusqu'au chiffre de son aplatissement.

L'intensité de la gravité diminue à mesure qu'on s'éloigne du centre de la Terre. *Bouguer*, sur le plateau du Pérou, et *Carlini*, sur le Mont-Cenis, ont observé le ralentissement des oscillations du pendule. La théorie indique que la diminution de la gravité, à mesure qu'on s'éloigne du centre de la Terre, au-dessus de sa surface, est en raison inverse du carré des distances ; à une distance double du centre, elle serait 2×2 ou 4 fois plus faible ; à une distance triple, 3×3 ou 9 fois moindre.

Si l'on faisait osciller le pendule dans l'intérieur des mines, à de très-grandes profondeurs, on trouverait pareillement un ralentissement, c'est-à-dire une diminution de la gravité. La théorie enseigne, en effet, que la gravité décroît en proportion du rayon, à mesure que l'on s'enfonce dans l'intérieur du globe. Si l'on pouvait parvenir, par exemple, à un point N situé à moitié du rayon O M, la gravité serait aussi réduite à moitié.

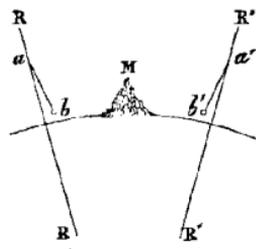


Cette diminution de la pesanteur en se rapprochant du centre de la Terre ; au-dessous de la surface, paraît d'abord paradoxale. Mais il faut se rappeler que l'attraction est une propriété répandue dans la masse entière du globe, et que pour le point N, toute la couche extérieure comprise entre N et M cesse d'attirer le corps N vers le centre O. Au centre même, la gravité deviendrait nulle et le corps cesserait de peser, parce que les attractions opposées de toutes les parties qui l'entourent se feraient équilibre.

Il ne faut pas perdre de vue que la vertu attractive ne réside pas dans le point physique qui marque le centre de la Terre, mais qu'elle est répandue dans tous les points matériels dont la masse du globe se compose. Toutes les substances n'exercent même pas une attraction égale : elles agissent en proportion de leurs masses relatives. A ce point de vue, le pendule peut servir

de sonde pour étudier la constitution souterraine des différentes contrées.

Déjà le voisinage d'une montagne *M* se fait remarquer par la déviation du fil-à-plomb, qui prend d'un côté la position *ab* un peu différente du rayon *RR*, et de l'autre la position *a'b'* inclinée sur le rayon *R'R'*. L'attraction de la montagne *M* est la cause de ces déviations. Lorsque les couches du terrain sont formées d'une substance compacte, comme le basalte, le pendule accuse une accélération et par suite une augmentation de la gravité. Au-dessus des terres et des sables légers, il indique, au contraire, un ralentissement et une dimi-



nution de la gravité, diminution produite par la faible attraction des couches du terrain. L'observation du pendule a permis à *Élie de Beaumont* de suivre la disposition des masses souterraines qui ont poussé au dehors l'imposante chaîne des Alpes, bien au delà des limites dans lesquelles leur action s'est manifestée à la surface du globe.

Il ne serait donc pas impossible, si la distribution des substances intérieures de la Terre venait à changer, de voir la gravité augmenter ou diminuer dans un même lieu. Mais la gravité intrinsèque, inhérente à toute la masse du globe, reste constante dans la durée des siècles. Prise dans sa totalité, la vertu attractive de la Terre est invariable. C'est une de ces forces primordiales, éternelles, dont la nature a assuré la conservation.

CHAPITRE II.

CHALEUR ET LUMIÈRE.

Lois générales. — La température des objets terrestres est dans une mobilité continuelle. Les corps s'échauffent et se refroidissent tour à tour, sans s'arrêter jamais à un état invariable. Ils sont toujours placés entre des causes d'échauffement et des causes de refroidissement, qui l'emportent alternativement les unes sur les autres.

Les corps s'échauffent de trois manières différentes : par leur propre conductibilité, par contact, par rayonnement. Dans les trois cas il faut qu'il existe une source de chaleur, dans un corps doué d'une température supérieure. Ainsi, en tenant au feu l'une des extrémités d'une barre de fer, la chaleur se propage avec le temps vers l'autre extrémité, à ce point qu'il devient impossible d'y appliquer la main. On appelle *conductibilité des corps pour la chaleur*, cette propriété qu'ils possèdent de transmettre à toute leur masse la chaleur qui a été communiquée à

une de leurs parties. Mais la faculté conductrice des différents corps est fort inégale ; très-développée dans la plupart des métaux, elle est beaucoup moindre dans le verre, dans les terres. C'est par la conductibilité que la chaleur versée par le Soleil sur la superficie du terrain pénètre peu à peu dans sa profondeur.

Le *contact* est un autre mode d'échauffement, dans lequel le corps le plus chaud cède une partie de son excès de température aux corps plus froids qui le touchent. C'est par le contact que la main s'échauffe lorsqu'on la pose sur des objets longtemps exposés au Soleil. Le contact des vents chauds produit un effet analogue sur les végétaux et sur l'homme. Dans l'Océan aérien comme dans l'Océan liquide, les courants chauds apportent une température plus douce qu'ils communiquent aux objets qu'ils viennent frapper.

Enfin, lorsque la source de chaleur est à distance, elle agit par voie de *rayonnement*. La chaleur s'échappe de toutes les parties des corps chauds, et se répand autour d'eux dans toutes les directions. Ce rayonnement s'opère pour tous les corps échauffés, lors même qu'il n'est pas accompagné de lumière. Le Soleil rayonne à la fois de la lumière et du calorique ; mais les édifices, les rochers, les arbres, rayonnent aussi la chaleur dont ils sont chargés. Tout corps qui reçoit les rayons calorifiques s'échauffe ; toutefois cet échauffement se fait dans des proportions fort différentes pour les diverses substances. La chaleur rayonnée, semblable en cela à la lumière, se divise en deux parties au contact des corps : une partie qui se réfléchit, et une partie qui est absorbée. L'échauffement dépend uniquement de cette seconde partie ; il est subordonné, par conséquent, au pouvoir absorbant du corps. Le pouvoir d'absorption dépend surtout de l'état de la surface : il est le plus fort pour les surfaces noircies et inégales, le plus faible pour les surfaces éclatantes et polies.

Les procédés du refroidissement sont tout à fait analogues à ceux du réchauffement des corps. Les corps se refroidissent par conductibilité, lorsque la température d'une de leurs extrémités s'abaisse, et que la chaleur dont ils sont chargés se meut vers cette extrémité pour rétablir l'équilibre. Ils se refroidissent par

contact, comme le sol qui reçoit les pluies froides. Ils se refroidissent enfin par rayonnement, ainsi qu'on l'observe durant la nuit, pour les objets qui se sont échauffés pendant le jour aux rayons du Soleil. Les maisons, les montagnes, les arbres, les nuages même, deviennent alors autant de sources de chaleur, qui perdent peu à peu, par rayonnement, leur température. Cette circonstance explique comment le voisinage d'un édifice ou d'un arbre peut garantir des gelées tardives les plantes délicates. L'interposition d'une natte ou d'une simple toile s'oppose au refroidissement qui résulte du rayonnement nocturne, parce qu'elle arrête les rayons calorifiques et les empêche de se disperser à l'infini vers les espaces célestes. La couche de neige qui recouvre le sol en hiver le garantit d'autant mieux du refroidissement nocturne qu'elle est plus épaisse, le rayonnement s'opérant toujours par la superficie.

L'intensité du rayonnement calorifique dépend principalement de l'état de la surface. On a remarqué qu'il s'effectue surtout par les pointes et les parties déliées : le feuillage, le duvet, le chaume se refroidissent avec une grande rapidité ; en peu d'heures, leur température est notablement au-dessous de celle des édifices ou du sol. Dans l'Inde même, on obtient de la glace en été, en plaçant un vase d'eau pendant la nuit dans un lieu bien découvert, sur quelques roseaux de bambous.

La température de tous les corps est donc dans un état continuel d'instabilité ; il arrive fréquemment qu'une différence de chaleur considérable existe entre deux corps voisins. Cette mobilité, cette variété, rendent l'emploi des thermomètres souvent difficile et incertain, dans les expériences de la Physique du globe.

On trouvera dans le *Traité de Physique* les principes sur lesquels repose la construction de ces instruments. Un réservoir B, rempli de liquide, est surmonté d'un tube très-étroit dans lequel le liquide s'élève avec la chaleur par la dilatation, et s'abaisse avec le froid par la contraction. Le point *m*, où s'arrête la colonne liquide, indique à chaque instant, sur une échelle graduée, le degré de température. Dans l'échelle centigrade, que nous adop-



terons ici, la fusion de la glace est marquée 0° et l'ébullition de l'eau 100°.

Lorsqu'on veut mesurer, au moyen du thermomètre, la température d'un corps, on cherche à établir l'équilibre de température par contact. Dans l'eau d'une source, par exemple, le thermomètre se refroidit en cédant de sa chaleur, ou se réchauffe en acquérant une partie de la chaleur de l'eau, jusqu'à ce que l'équilibre soit établi. Mais, dans l'air, l'expérience exige des précautions plus délicates. Pendant le jour, il faut garantir l'instrument des rayons du Soleil, afin d'éviter l'absorption de ces rayons par le liquide même du thermomètre. Ainsi l'esprit-de-*vin* coloré en rouge, doué d'un grand pouvoir absorbant, s'échauffe rapidement au Soleil : le thermomètre monte alors en quelques instants ; la température qu'il indique est bien celle du liquide renfermé dans la boule, mais nullement celle de l'air environnant. Il faut également préserver le thermomètre des gouttes de pluie. L'évaporation de l'eau exige toujours une dépense considérable de calorique, et la boule mouillée d'un thermomètre donne, en général, des indications inférieures à celles d'une boule sèche.

Pendant la nuit, il faut préserver le thermomètre de son propre rayonnement. On observe, en effet, qu'un thermomètre suspendu à un ou deux mètres au-dessus du sol se refroidit, dès le coucher du Soleil, avec une grande rapidité. L'interposition d'une simple lame de verre entre l'espace céleste et l'instrument, s'oppose à ce rayonnement. Les thermomètres des Observatoires, destinés à étudier les variations de la température de l'air, sont habituellement placés à la face septentrionale des bâtiments, à quelque distance de la muraille, et sous l'abri d'un toit vitré.

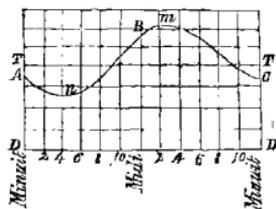
La température de l'air varie à chaque instant de la journée. Pour se former une idée complète de ces variations, on a dû l'observer heure par heure, et même à des intervalles plus rapprochés encore. On remarque dans la marche des températures deux grandes périodes : la période diurne et la période annuelle. La première est due au flux de chaleur que le Soleil verse chaque jour sur la partie éclairée de la terre ; la seconde est produite, dans la succession des saisons, par l'obliquité des rayons solaires

et l'inégale durée des jours, en sorte que le flux calorifique de chaque jour est beaucoup plus considérable en été qu'en hiver.

Si l'on suit pendant toute une journée la marche de la température de l'air, on trouve que le thermomètre monte en général jusque vers deux heures de l'après-midi, instant auquel il atteint son maximum. Il descend ensuite à mesure que les rayons solaires perdent de leur force; il continue à descendre durant toute la nuit, parce que, en l'absence de la cause échauffante, le refroidissement va toujours en augmentant.

Ce refroidissement ne s'arrête qu'au lever du Soleil, quand l'astre reparaît pour verser un nouveau flux de chaleur. L'instant le plus froid, le minimum de température, arrive donc vers l'aube du jour. Le thermomètre remonte ensuite, non-seulement jusqu'au milieu de la journée, mais encore un peu plus tard, tant que la quantité de chaleur versée par le Soleil surpasse celle que les corps dissipent par leur propre rayonnement.

La courbe $AnBmC$ donne une idée de la marche de la température pendant une période de vingt-quatre heures. Pour se représenter l'état moyen autour duquel cette température a oscillé, on cherche un terme intermédiaire représenté par la droite TT

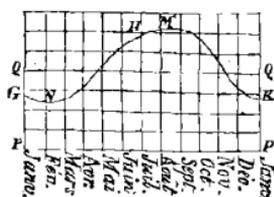


parallèle à DD , tel que l'espace superficiel compris entre ces deux droites soit précisément équivalent à l'espace compris entre la base DD et la courbe $AnBmC$. Il y a toujours, pour toute période donnée, une température moyenne qui caractérise le point du thermomètre autour duquel les varia-

tions se sont effectuées durant cette période. La somme de chaleur versée pendant le temps que l'on considère est la même, soit que la température oscille entre les limites n et m , soit que la température TT règne uniformément.

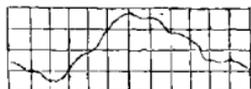
La température moyenne de chaque jour caractérise les différentes dates de l'année. Le flux annuel de chaleur nous offre pareillement, depuis la fin de janvier, un accroissement plus ou moins régulier de la température moyenne des jours. Le maximum annuel tombe dans les derniers jours de juillet, et les tem-

pératures moyennes diminuent ensuite jusqu'à la fin de l'année.



La courbe GNHMK, déjà construite avec les températures moyennes de chaque jour, pourra également être remplacée par une droite QQ qui représente la même somme de chaleur versée uniformément, et l'on obtiendra ainsi la température moyenne de toute l'année.

Il faut se garder de croire, du reste, que les courbes des températures soient aussi régulières que nous les avons représentées. Dans la courbe diurne, le passage des nuages, la pluie, les coups de vent, produisent une foule de mouvements accidentels du thermomètre. Dans la courbe annuelle, des séries de jours chauds ou de jours froids offrent des ondulations passagères. Mais le type général n'est jamais altéré. Des instruments



très-ingénieux, imaginés récemment, enregistrent d'eux-mêmes la courbe thermométrique de chaque jour. Un papier, conduit par un mouvement d'horlogerie,

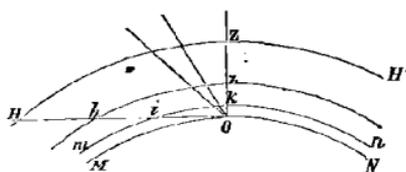
reçoit de l'instrument même la trace de la courbe. Aucune sinuosité, aucun mouvement accidentel du thermomètre n'échappent plus à l'observateur. L'Observatoire de Bruxelles possède un de ces thermomètres mécaniques, qui fonctionne depuis plus de trois années.

État thermique du globe. — Le globe terrestre reçoit chaque jour la chaleur solaire, sur l'hémisphère illuminé. Mais cette chaleur ne parvient pas dans son intégralité jusqu'à la surface de la terre : l'atmosphère, que les rayons calorifiques et lumineux doivent traverser, en éteint une certaine partie.

Il n'existe point de milieu d'une transparence absolue. La lumière et la chaleur subissent, en traversant des couches d'eau, d'air, de verre, une extinction qui croît avec l'épaisseur des couches traversées. Dans l'eau, l'extinction de la lumière solaire est tellement rapide qu'à cinquante mètres de profondeur dans la mer, il règne une obscurité presque complète. Depuis les belles recherches de *Bouguer*, on a commencé à se rendre

compte des lois de l'extinction des rayons solaires dans les couches de l'atmosphère terrestre.

Cette atmosphère forme une sphère creuse HH' qui enveloppe la terre MN . Les rayons solaires qui parviennent à l'observateur O traversent des épaisseurs d'air très-inégaies, selon la hauteur apparente du Soleil sur l'horizon. Si l'astre est au zénit, c'est-à-dire perpendiculairement au-dessus de l'observateur, les rayons traversent l'atmosphère suivant ZO , dans le



sens de sa plus petite épaisseur. S'il est, au contraire, à l'horizon, les rayons doivent parcourir dans l'air le trajet HO beaucoup plus considérable. Suivant ZO , le Soleil versait sa lumière

et sa chaleur dans toute leur force ; suivant HO , l'œil peut facilement en soutenir l'éclat. L'extinction des rayons dans l'atmosphère est l'unique cause de cette différence. Il est même à remarquer que l'effet produit a principalement son siège dans les couches inférieures de l'atmosphère, qui sont les plus pesantes et les moins diaphanes, car le trajet iO du rayon HO dans la petite couche $MmnN$ est immense relativement au trajet kO du rayon ZO dans la même couche.

Il est facile maintenant de s'expliquer comment les rayons solaires ont des intensités si différentes, d'après l'inclinaison suivant laquelle ils ont traversé notre atmosphère. L'expérience montre que près de la moitié des rayons calorifiques et des rayons lumineux du Soleil est éteinte par l'atmosphère dans le trajet vertical ZO , et que les rayons qui parviennent à l'observateur O du Soleil levant ou du Soleil couchant, forment à peine $\frac{1}{4000}$ de ceux qui ont traversé directement l'atmosphère selon ZO .

L'inclinaison que les rayons solaires atteignent, dans les différentes saisons de l'année, fournit donc la mesure de la quantité de chaleur qui peut traverser la couche atmosphérique et parvenir jusqu'à l'observateur. C'est la différence de cette inclinaison, qui fait qu'aux mêmes heures du jour, le Soleil est moins chaud en hiver qu'en été, et que, dans les mêmes circon-

stances atmosphériques, la chaleur des rayons solaires dépend de l'élevation de l'astre sur l'horizon.

Si l'extinction relative des rayons dépend de l'épaisseur des couches d'air traversées, la valeur absolue de cette extinction dépend du degré de sérénité de l'atmosphère. Les chiffres que nous citons tout à l'heure se rapportent à un ciel serein; mais la chaleur éteinte devient bien plus considérable à mesure que l'air se charge de vapeurs ou de nuées. L'effet de l'enveloppe aérienne est d'empêcher une portion notable des rayons du Soleil d'arriver jusqu'au sol, portion qui s'élève à près de la moitié de la chaleur ou de la lumière totales, dans les cas les plus favorables de transparence.

Mais l'atmosphère offre une autre propriété bien remarquable, étudiée récemment par *Pouillet*; c'est d'arrêter, dans une proportion plus forte encore, la chaleur rayonnée par le globe. Il en résulte que notre enveloppe aérienne n'est pas seulement un écran qui affaiblit les rayons solaires, mais aussi une sorte d'enceinte qui s'oppose au refroidissement de la terre. Comme la chaleur rayonnée par le globe traverse l'atmosphère plus difficilement que la chaleur incidente lancée par le Soleil, la chaleur s'accumule sur la planète, et la température de la Terre avec son atmosphère est supérieure d'environ 50° à celle que prendrait la Terre nue.

Plusieurs appareils ont été imaginés pour mesurer l'intensité du rayonnement solaire. L'actinomètre de *John Herschel* se compose d'un thermomètre à grand réservoir, rempli d'un liquide bleu qui favorise l'absorption, et dont on note alternativement le réchauffement en une minute sous l'action des rayons solaires, et le refroidissement à l'ombre dans un intervalle égal. Le pyrhéliomètre de *Pouillet* se compose d'un thermomètre, placé au fond d'une masse d'eau, que l'on transporte tour à tour au soleil ou à l'ombre.

C'est au moyen de ces instruments que l'on est parvenu à déterminer la grandeur de l'extinction atmosphérique dans différentes circonstances. *Pouillet* a pu déduire également du rayonnement du thermomètre vers l'espace céleste, la température propre de cet espace.

La Terre est un globe, autrefois fortement échauffé, qui s'est trouvé suspendu au milieu d'une enceinte très-froide. Le globe s'est refroidi peu à peu, et il ne lui reste plus aujourd'hui, suivant *Fourier*, que $\frac{1}{30}$ de degré de sa chaleur primitive, de sa chaleur propre. Il se maintient en équilibre entre la chaleur qu'il reçoit du Soleil et de tous les astres, et celle qu'il perd par son rayonnement vers l'espace céleste, très-froid, au milieu duquel il se meut. Si l'on représente, d'après *Pouillet*, par des épaisseurs de glace fondue l'effet de ces diverses sources de chaleur, on trouve que les rayons solaires seraient capables de fondre, en un an, une croûte de glace de 31 mètres d'épaisseur, qui envelopperait la sphère terrestre tout entière. Le rayonnement des étoiles, bien qu'il soit moins apparent, part de tous les points de la voûte céleste : aussi serait-il capable de fondre une semblable couche de 26 mètres.

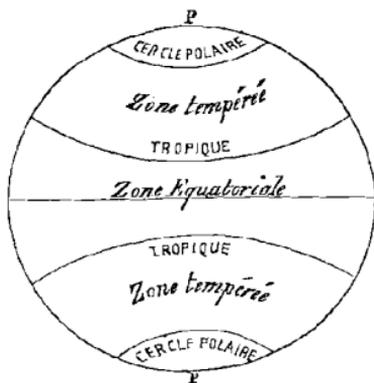
La température de l'espace est nécessairement inférieure aux températures les plus basses que l'on peut éprouver sur le globe ; elle devait être, par conséquent, au-dessous des 57° de froid que le capitaine *Back* a éprouvés dans son expédition polaire. *Pouillet* conclut du rayonnement du thermomètre qu'elle doit descendre jusqu'à 140 ou 150° au-dessous de zéro.

Climats.—Il règne entre les diverses contrées du globe une grande inégalité de température. L'hiver et l'été existent simultanément dans des régions différentes de la planète. Tandis que la zone tropicale éprouve une température moyenne presque constante de 25 à 28°, les zones polaires sont exposées presque sans interruption aux plus rudes frimas. Le premier fait qui nous frappe, dans la distribution géographique des températures moyennes sur le globe, c'est donc l'accumulation de la chaleur vers l'équateur, et sa diminution à mesure qu'on se rapproche des pôles.

L'obliquité des rayons solaires est, en effet, très-différente dans les diverses régions du globe. Sous l'équateur et dans toute la zone comprise entre les tropiques, la longueur des jours est presque invariablement de douze heures pendant toute l'année. Mais la course du Soleil est à peu près perpendiculaire à l'horizon ; l'astre s'élève rapidement, ses rayons acquièrent bientôt

toute leur force, et ils versent à midi, du voisinage du zénit, des flots de chaleur et de lumière.

Au delà des tropiques, dans les deux zones tempérées, les jours deviennent inégaux dans les différentes saisons : ils sont courts en hiver et longs en été. En hiver, le Soleil s'élève peu sur l'horizon, en sorte que ses rayons ne parviennent qu'à travers les couches inférieures de l'atmosphère. A l'équinoxe le jour est de douze heures, et le Soleil commence à reprendre de l'empire, soit parce qu'il demeure plus longtemps sur l'horizon,



soit parce que ses rayons sont moins affaiblis à midi par la couche d'air traversée. En été, les jours sont d'autant plus longs que l'on s'avance davantage vers le pôle ; mais le Soleil n'atteint jamais le zénit, et ses rayons sont toujours arrêtés, en proportion notable, par les couches atmosphériques. Les plus longs jours de la zone tempérée septentrionale, à laquelle nous

appartenons, tombent dans la seconde moitié de juin, et les plus courts dans la seconde moitié de décembre. Les plus longs jours de la zone tempérée australe arrivent à la fin de décembre, et les plus courts à la fin de juin. Les saisons sont inverses des deux côtés de l'équateur.

Dans les deux zones ou calottes polaires, le Soleil reste entièrement caché pendant une partie de l'année. Le sol se refroidit, par rayonnement, sans aucune compensation, et ce refroidissement va sans cesse en augmentant jusqu'à la réapparition du Soleil. L'hiver de ces contrées peut être comparé à une longue nuit. En été, après quelques jours qui s'allongent rapidement, le Soleil ne disparaît plus de l'horizon. En hiver il n'y avait plus de jours, en été il n'y a plus de nuits. Mais l'astre accomplit sa course dans le voisinage de l'horizon ; ses rayons sont absorbés

dans une immense proportion par les couches de l'atmosphère. La présence continuelle d'un Soleil pâle et affaibli ne peut s'opposer efficacement au refroidissement de la surface.

Si l'atmosphère n'existait pas, le Soleil serait aussi chaud et aussi brillant à l'horizon qu'au zénit. La température de chaque lieu ne dépendrait que de la longueur des jours ; l'été des régions polaires serait d'une ardeur excessive, tandis que celui des contrées tropicales conserverait une certaine modération produite par la succession régulière des nuits et des jours. Mais à cause de la présence de l'atmosphère, c'est l'élévation que le Soleil peut prendre sur l'horizon qui détermine la force de ses rayons, et par conséquent la chaleur du climat.

La présence de l'atmosphère a donc pour effet général d'affaiblir de plus en plus la chaleur solaire, à mesure qu'on se rapproche des pôles. Mais une foule de causes locales accélèrent ou retardent la décroissance de la température vers les pôles. Il ne suffit pas de connaître la distance d'un lieu donné à l'équateur, pour pouvoir assigner exactement sa température moyenne. Il faut recourir à l'observation pour déterminer cette température.

A cet effet, on forme au moyen des observations horaires la température moyenne de chaque jour ; puis à l'aide des températures moyennes de tous les jours de l'année, on forme la température moyenne annuelle. C'est cette dernière qui assigne un rang au lieu d'observation, parmi les climats chauds ou les climats froids.

Lorsqu'on répète les observations pendant plusieurs années consécutives, on retrouve presque exactement le même chiffre pour la température annuelle. Ainsi, à Bruxelles, cette température varie rarement de 2° en plus ou en moins. Le terme moyen autour duquel elle oscille, qui est pour Bruxelles 10 $\frac{1}{2}$ °, est ce qu'on appelle la température moyenne du lieu.

Alexandre de Humboldt a eu l'ingénieuse idée de représenter par des lignes, sur un planisphère, la distribution des températures moyennes. Il joint par un trait tous les points du globe qui jouissent de la même température. Il obtient ainsi des courbes qui passent par tous les lieux où l'on éprouve les températures moyennes de 5°, 10°, 15°, etc. Ces courbes ont reçu le

nom de lignes isothermes, c'est-à-dire d'égalé chaleur (voir au frontispice).

La plus haute température moyenne est celle de 28°, qu'on observe dans une certaine étendue de la zone tropicale. La chaleur décroît ensuite progressivement, à mesure qu'on avance vers les deux pôles. Mais cette diminution n'est ni uniforme ni régulière. On observe, par exemple, que dans notre zone tempérée, les températures s'abaissent plus rapidement sur les côtes orientales que sur les côtes occidentales des continents. La moyenne annuelle pour Lisbonne dépasse de près de 4° les températures moyennes de Philadelphie et de Pékin, qui ont à fort peu près les mêmes latitudes. Le climat de la France, de la Grande-Bretagne, de la Norvège et de toute l'Europe occidentale en général, est comparativement plus chaud que celui de l'Autriche, de la Pologne, de la Russie. Le froid augmente, dans l'intérieur de chaque continent, à mesure que l'on avance vers l'est. Le tracé des lignes isothermes peint aux yeux cette dégradation de la chaleur, lorsqu'on voit ces lignes s'éloigner des pôles en allant de l'ouest à l'est, dans la largeur des continents.

Nous verrons plus tard à quelles causes principales il faut attribuer les inflexions des lignes isothermes. Il résulte de la distribution des températures sur le globe terrestre que les pôles mêmes de la terre ne sont pas les points les plus froids de sa surface. C'est vers l'extrémité de chacun des deux continents qu'il faut chercher ces points, nommés par *Brewster* les pôles de froid de la terre. L'un paraît situé au delà du cap Taïmoura de Sibérie ; l'autre, dans les parages encore inconnus des mers polaires américaines, au nord du détroit de Barrow.

Les lignes isothermes représentent la distribution des températures moyennes sur le globe. Ces températures sont un résultat du calcul, une sorte de point de repère autour duquel les oscillations réelles s'exécutent. Comme la température varie sans cesse dans le courant de l'année, il faudrait une carte particulière des lignes isothermes pour chaque jour de l'an, si l'on voulait suivre la marche véritable de la chaleur sur le globe. Par la succession des saisons, on verrait chaque ligne isotherme monter vers le pôle et redescendre vers l'équateur.

Ainsi, dans notre hémisphère septentrional, toutes ces lignes s'élèveraient au nord jusque vers la fin de juillet, tellement que la ligne de 0°, qui passait par Naples au plus fort de l'hiver, recule en été jusqu'au Spitzberg et à la Nouvelle-Zemble. En réalité, les lignes isothermes sont donc dans une oscillation perpétuelle; elles se meuvent sans cesse de l'équateur vers le pôle ou du pôle vers l'équateur.

Mais le trait le plus remarquable de ce mouvement périodique, qui se renouvelle tous les ans, c'est que les lignes isothermes ne marchent pas parallèlement à leur direction moyenne. En se déplaçant, elles se déforment et tournent quelque peu sur elles-mêmes. Dans nos contrées, l'été elles se dirigent à peu près du sud-ouest au nord-est, et l'hiver du nord-ouest au sud-est. Le trait de la petite carte du frontispice donne une idée de la situation des isothermes d'été, nommées *lignes isothères*, et le trait — — — — de la situation des isothermes d'hiver, dites *lignes isochimènes*.

De l'obliquité considérable de ces lignes et de leur rotation en sens inverse en été et en hiver, résulte une différence notable dans la marche des saisons, suivant que l'on se trouve placé sur la côte occidentale ou dans l'intérieur du continent. Sur la côte, la différence des saisons est moins sensible, les températures extrêmes varient dans des limites plus resserrées. Dans l'intérieur des continents, des variations énormes prennent place entre l'hiver et l'été. En général, l'influence de la mer rend le climat plus uniforme. Aussi les météorologistes distinguent-ils deux climats principaux, d'après l'étendue des variations qui s'accomplissent dans le courant de l'année. Le *climat constant* ou *maritime* appartient aux contrées voisines de la mer, aux îles, aux péninsules, dans lesquelles les températures varient comparativement très-peu entre l'hiver et l'été. Le *climat excessif* ou *continental* règne dans l'intérieur des grandes masses de terre, et se distingue par les oscillations considérables de la température, dans les différentes saisons. Enfin, entre ces deux climats, quelques météorologistes placent le *climat variable*, qui sert d'intermédiaire entre les deux extrêmes, et dans lequel les variations de la température sont modérées.

La chaleur est l'élément principal duquel dépendent les productions naturelles et les cultures. On sait combien les végétaux des tropiques diffèrent de ceux des zones tempérées, et les végétaux des zones tempérées de ceux des régions polaires. Les lignes isothermes servent en quelque sorte de limites aux principales cultures. Le bananier s'arrête à 24°, la canne à sucre à 19 ou 20, le caféier à 18, l'oranger (en pleine terre) à 17°, le dattier à 14, l'olivier à 13 $\frac{1}{2}$, la vigne vers 10. Nos céréales cessent de fructifier par des moyennes annuelles supérieures à 19°.

Cependant la température moyenne de l'année n'est pas le seul élément qui limite la patrie des végétaux. Les grands froids de l'hiver détruisent, dans l'intérieur des continents, des plantes qui atteindraient d'ailleurs la ligne isotherme. L'oranger se gèle et périt, lorsque le froid descend à 6° au-dessous de zéro. D'autre part les fruits ne mûrissent qu'après avoir reçu une somme de chaleur suffisante. La vigne, qui végète jusqu'aux rivages de la Baltique, donne seulement du vin potable dans les contrées dont la température moyenne de juin, juillet et août surpasse 18°.

Les inflexions des lignes isothermes dessinent, pour ainsi dire, les progrès de la floraison et de la culture. Le flux de température se porte durant six mois vers le pôle, et se retire, durant les six autres mois, vers l'équateur. Voilà déjà plusieurs années que l'Académie de Bruxelles a donné l'impulsion à un vaste système d'observation, qui s'étend aujourd'hui à différentes contrées éloignées, et qui a pour but d'enregistrer l'époque des phénomènes périodiques naturels. La naissance et la chute des feuilles, la floraison, la maturité des fruits, l'apparition des oiseaux et des insectes, ont trouvé place dans cette grande étude de la nature. Un jour nous pourrons suivre sur des cartes géographiques les progrès de la végétation, l'épanouissement des fleurs, l'émigration des oiseaux ; nous verrons la terre reprendre et perdre tour à tour son animation et sa parure.

CHAPITRE III.

ÉLECTRICITÉ ET MAGNÉTISME.

Lois générales de l'électricité terrestre. — La terre est un vaste réservoir d'électricité. La plupart des expériences électriques qu'on montre dans nos cabinets de physique ne sont que la reproduction en petit des phénomènes que la nature nous offre. L'équilibre électrique se rétablit, lorsqu'il a été rompu, par l'étincelle brillante de la foudre. Des courants continus circulent dans le sol et dans l'atmosphère. Une foule d'actions particulières, l'évaporation de l'eau, la végétation des plantes, la chute de la pluie, sont autant de sources locales d'électricité.

L'instrument le mieux approprié à l'étude de l'électricité de la terre, est l'électromètre de *Peltier*. Il repose sur un double principe : sur la direction propre que prend une aiguille aimantée, et sur la répulsion mutuelle de deux corps chargés de la même espèce d'électricité.

Supposons qu'une petite aiguille aimantée AB , coudée dans sa partie moyenne ab , soit suspendue par le point c immédiatement au-dessus d'un barreau de laiton MM , susceptible d'être électrisé. Si l'appareil est placé dans la direction naturelle de l'aiguille aimantée, l'aiguille AB se tiendra dans le sens du barreau MM ;



mais si l'on électrise ensuite tout le système, l'aiguille et le barreau se repousseront mutuellement. Dès lors l'aiguille aimantée, qui est mobile, s'écartera de sa position naturelle pour prendre la nouvelle direction $A'B'$.

La distance MA' ou MB' pourra se mesurer sur un cadran gradué, et la grandeur même de cet écart donnera la mesure de la charge électrique. C'est sur cette construction fort simple que repose l'électromètre de *Peltier*.

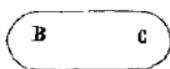
Dans un même corps, l'électricité se transmet en vertu d'une propriété particulière nommée *conductibilité*. Les métaux, l'eau, les surfaces humides, le corps humain, sont de bons conducteurs de l'électricité, tandis que l'air sec, le verre, la soie, la poterie, le bois sec sont de mauvais conducteurs. C'est par la conductibilité du métal que l'électricité se répand, avec une rapidité qui surpasse l'imagination, d'une extrémité à l'autre des fils de nos télégraphes.

Mais l'électricité ne pénètre pas à l'intérieur des corps; elle reste adhérente à leurs surfaces. Elle s'accumule inégalement sur les différents points de leur superficie. Elle se porte de préférence aux extrémités des corps, aux angles et surtout aux pointes. Quand on électrise, par exemple, un fil de métal, le fluide électrique se porte principalement aux deux extrémités du fil. Il est facile de se rendre compte de ces effets, en réfléchissant que toutes les parties du fluide électrique se repoussent mutuellement, qu'elles tendent constamment à s'écarter le plus possible les unes des autres.

L'électricité s'acquiert suivant deux modes principaux : par *contact* et par *influence*. Si nous possédons une source d'électricité, un corps fortement électrisé, tout autre corps en rece-

vra, par contact, une certaine dose d'électricité. Il suffit, pour distribuer le fluide, que le contact dure un seul instant. Si le corps que l'on présente est bon conducteur, le contact immédiat n'est même pas nécessaire. A une proximité suffisante, l'électricité s'élanche sous forme d'étincelle. Mais pour que la charge électrique demeure sur le corps, il faut qu'elle ne puisse pas se répandre, par contact, sur d'autres objets. Il faut, par conséquent, que le corps ne soit en contact qu'avec des substances qui ne conduisent que très-imparfaitement l'électricité, qu'il repose, par exemple, sur des supports de verre ou de poterie, qu'il soit entouré d'un ruban de soie ou d'une couche de résine. On dit alors que le corps est *isolé*. Mais malgré l'isolement même, qui ne peut jamais être parfait, la charge électrique se dissipe peu à peu, et finit, après un temps suffisant, par disparaître tout entière.

Il y a deux espèces d'électricité : l'électricité vitrée, que quelques physiciens nomment électricité positive, fournie par le frottement du verre; et l'électricité résineuse, appelée aussi négative, qui résulte du frottement de la résine, de la laque. Ces deux électricités s'attirent entre elles et tendent sans cesse à s'unir. Elles existent à l'état d'union et de neutralité dans tous les corps. Mais lorsqu'on approche un corps BC d'un autre corps électrisé A, l'influence de l'électricité dont A est couvert opère



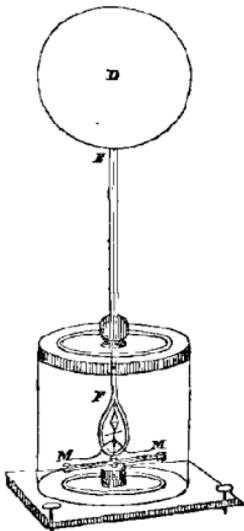
la séparation des deux électricités naturelles de BC; elle attire vers C l'électricité de nom contraire à celle de A, et repousse vers B l'électricité de même

nom. Si A est chargé de fluide vitré, le fluide résineux du corps BC se portera en C, et son fluide vitré en B. Avant l'approche de A, le corps BC n'offrait aucun effet électrique, parce que ses deux électricités étaient unies et se neutralisaient réciproquement. Après l'approche du corps A, il s'est électrisé vers les extrémités C et B. Enfin si l'on enlève le corps A, ses deux électricités se réuniront de nouveau et se neutraliseront encore une fois : le corps BC rentrera dans l'état naturel.

La présence de quelques corps électrisés trouble donc l'équilibre électrique de tout ce qui les entoure. Les phénomènes pro-

duits par influence sont au moins aussi nombreux et aussi variés que ceux qui sont dus au contact et à l'électrisation directe.

Revenons maintenant à l'électromètre de *Peltier* et aux phénomènes qu'il constate. Afin d'appropriier son instrument aux expériences de la physique du globe, *Peltier* isole le système des deux aiguilles ; il le garantit par une cloche en verre, et surmonte les aiguilles d'une tige verticale EF en laiton, terminée par une boule creuse D d'environ un décimètre de grosseur.



Plaçons l'instrument de façon à ce que l'aiguille fixe se trouve dans la même direction que l'aiguille aimantée. Si on électrise la boule supérieure, les aiguilles indiquent par l'écart qu'elles prennent la mesure de la charge électrique ; il suffit de toucher la boule supérieure D avec le doigt, pour enlever cette électricité. Le fluide dont les aiguilles MM étaient chargées parcourt alors la tige FE, traverse la boule D, et rentre par l'intermédiaire du corps de l'observateur, dans le sein de la terre. Or, supposons qu'on transporte l'instrument dans un lieu où il s'électrise par influence, la divergence des aiguilles se manifestera immédiatement. Pendant que la boule D est influencée par l'électricité extérieure, appliquons le doigt au bas de la tige pour

enlever l'électricité libre de la partie inférieure de l'instrument ; reportons ensuite l'appareil dans sa situation primitive, et une divergence égale des aiguilles fera connaître la quantité de fluide qui était influencée par l'électricité extérieure. L'électromètre de *Peltier* fournit donc à tout instant les différences de tension électrique entre deux points donnés.

Le premier et le plus remarquable des résultats que cet instrument fournit, c'est l'accroissement de l'électricité vitrée à mesure qu'on s'élève. *Peltier* regarde la terre comme un globe immense puissamment chargé d'électricité résineuse. Les

objets qui reposent à sa surface, les hommes qui l'habitent, partagent, par le contact continu, cette charge d'électricité résineuse. Mais par suite de ce partage même, de cet équilibre universel, il n'en résulte aucune manifestation. Seulement, à mesure que l'on s'éloigne de la surface de la terre, l'électricité résineuse diminue, et l'électricité vitrée devient sensible de plus en plus.

Lorsque l'électromètre a été équilibré au niveau du sol, et qu'on le porte successivement à des hauteurs de quelques décimètres, de quelques mètres, on voit la charge vitrée augmenter proportionnellement aux différences de niveau. Il faut avoir soin toutefois de se placer dans un lieu bien découvert, qui ne soit dominé ni par les édifices ni par les arbres. En effet, comme nous l'avons dit (p. 37), l'électricité répandue à la surface des corps s'accumule de préférence vers les saillies et les pointes. Le sommet des arbres et des édifices est toujours le siège d'une accumulation considérable de fluide. Dans des lieux dominés par de semblables objets, l'électromètre est soumis à des influences latérales qui masquent l'effet principal. La tête même de l'observateur agit par influence, lorsqu'elle dépasse le niveau de la boule D de l'instrument.

Ainsi, sous l'influence régulière du globe terrestre, l'électricité vitrée sensible croît à mesure que l'on s'élève. Mais cet accroissement, qui atteste la charge d'électricité résineuse que la Terre possède en propre, peut être altéré par l'électricité particulière de l'air et des nuées. Les courants inférieurs de l'atmosphère, ceux qui transportent les nuages les moins élevés, d'une teinte grise ou ardoisée, sont chargés d'électricité résineuse. Au contraire, les courants supérieurs, qui se meuvent dans les hautes régions de l'air, et dans lesquels se soutiennent les nuages plus délicats, blancs, orangés ou roses, sont chargés d'électricité vitrée. Les brouillards, les neiges, amènent presque toujours de l'électricité vitrée, tandis que les pluies, les orages nous apportent tour à tour les deux espèces de fluides.

Par des observations assidues de l'électromètre, on a pu suivre la marche de l'électricité atmosphérique dans les différentes saisons et aux différentes heures du jour. D'après les séries

d'observations qui ont été recueillies, et qui sont dues principalement à *Schübler* de Tübingen et à *Quetelet*, l'électricité vitrée se manifeste presque sans exception pendant toute l'année. Rarement on observe de l'électricité résineuse; elle précède ou suit en général des pluies ou des orages. L'intensité et la nature de l'électricité dépendent alors de l'élévation des nuages et de leur charge électrique propre. L'influence régulière du globe disparaît sous l'influence de chaque nuage particulier, dont nous décrirons plus loin les caractères.

La courbe des variations électriques annuelles a une marche inverse de celle des températures de l'air; la plus grande intensité se présente en janvier et la plus faible en juin et juillet. Pendant ces deux mois, elle reste à peu près la même quel que soit l'état du ciel, mais à partir de cette époque, l'électricité, par un ciel serein, surpasse d'autant plus l'électricité observée par un ciel couvert, qu'on se rapproche davantage de janvier; c'est alors que se présente la plus grande différence. Dans la période diurne, deux maxima suivent de deux à trois heures l'un le lever et l'autre le coucher du soleil, et deux minima les précèdent: le premier la nuit, vers l'heure de la plus basse température; le second le jour, à l'heure de la plus haute température.

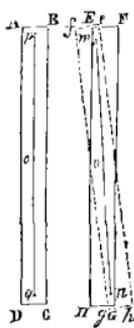
LOIS GÉNÉRALES DU MAGNÉTISME TERRESTRE.

La Terre n'est pas seulement un immense réservoir d'électricité; elle possède encore une autre propriété, qui a été nommée magnétisme terrestre, en vertu de laquelle les aimants prennent en tout lieu une direction déterminée. C'est aussi en vertu de ce magnétisme que les pièces de fer qui sont restées longtemps dans une même situation, les barreaux des grilles, les croix des églises, finissent par s'aimer.

La pierre d'aimant, qui est un oxyde de fer, se rencontre dans quelques mines. La propriété qu'elle possède, lorsqu'elle est librement suspendue, de se diriger vers les pôles de la Terre, a été connue en Chine dans une haute antiquité. Au douzième siècle avant notre ère, des ambassadeurs de Tonkin et de la Cochinchine étant venus à la cour de l'empereur Tehhingwang,

celui-ci leur fit présent de cinq appareils magnétiques qui devaient les guider dans leur marche à travers les contrées désertes. Dès le troisième siècle de l'ère vulgaire, les vaisseaux chinois faisaient usage d'une espèce de boussole. La pierre aimantée flottait, au moyen d'un morceau de bois léger, sur une cuvette remplie d'eau, et elle était surmontée d'une petite figure dont le bras était tendu vers le sud. C'est par les Arabes que l'usage de la boussole s'est introduit en Europe; au treizième siècle, les Catalans et les Basques s'en servaient communément. Les navigateurs italiens leur en empruntèrent l'usage. Leur boussole était aussi soutenue sur l'eau par un flotteur, et les deux pointes de l'aimant indiquaient le nord et le sud.

Aujourd'hui l'on est parvenu à communiquer au fer les propriétés de l'aimant, en le frottant avec un aimant naturel ou avec un barreau de fer déjà aimanté. Cette découverte précieuse a considérablement étendu l'usage des aiguilles aimantées et l'étude des phénomènes qu'elles nous révèlent. Le perfectionnement des arts mécaniques a contribué, de son côté, à donner à ces instruments plus de sensibilité et d'exactitude. Les aiguilles aimantées de nos cabinets ont la forme de petits barreaux réguliers. Elles sont suspendues à un fil de soie détordue qui leur



permet de prendre librement toutes les directions. Tout barreau, tel que $A B C D$, suspendu par le point O , renferme une ligne idéale intérieure $p q$, qui porte le nom d'axe magnétique, et dont la direction est soumise à la force magnétique de la Terre. Avant de faire usage d'un barreau aimanté, il importe d'examiner si l'axe magnétique est parallèle aux arêtes longitudinales $A D$ et $B C$ du barreau. Supposons un barreau $E F G H$, dans lequel l'axe $m n$ est oblique sur les arêtes. Retournons ce barreau sens dessus dessous et suspendons-le de nouveau par le même point O ; l'axe magnétique $m n$ conservera la même situation dans l'espace, parce que cet axe obéit à la force directrice de la Terre; mais le corps du barreau prendra la nouvelle situation $f e h g$, dans laquelle les petites lettres désignent les situations occupées après le retour-

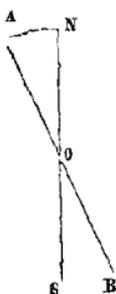
nement par les angles auxquels étaient affectées les grandes lettres correspondantes.

C'est toujours de la direction de l'axe magnétique que nous entendrons parler à l'avenir. Nous supposons que les barreaux dont on fait usage ont été soigneusement vérifiés par le retournement.

L'aiguille aimantée ne se dirige pas exactement du nord au sud. Dans nos contrées, sa pointe nord dévie ordinairement vers l'ouest, tandis que dans d'autres régions du globe elle dévie vers l'est. On a donné le nom de *méridien magnétique* au plan qui passe par l'axe du barreau, par analogie avec le méridien astronomique qui va du vrai sud au vrai nord. En Belgique, une aiguille aimantée AB , suspendue librement par son centre O , fait un angle de près de 20° avec la ligne SN du sud au nord. Cet angle AON se nomme la *déclinaison magnétique*. On dit que cette déclinaison est occidentale ou orientale, suivant que la pointe nord du barreau, en d'autres termes le nord magnétique, tombe à l'ouest ou à l'est du vrai nord.

Il importe donc de savoir, lorsqu'on se sert de la boussole, de quel côté elle décline, et quelle est la grandeur de sa déclinaison. Si cette déclinaison était la même dans toutes les contrées de la Terre, il suffirait d'appliquer une correction constante à la direction de l'aiguille pour déterminer le nord vrai. Mais il est loin d'en être ainsi. Si l'on part de Bruxelles, par exemple, où la déclinaison est de 20° vers l'ouest, et qu'on se rende aux États-Unis d'Amérique, on voit cette déclinaison diminuer progressivement, jusqu'à ce qu'elle devienne nulle dans les régions de l'Ohio et du Missouri. Si l'on continue à s'avancer dans l'intérieur du continent américain, la pointe nord de la boussole commence à passer à l'est du méridien astronomique, et la déclinaison devient orientale. Il est donc nécessaire de connaître en particulier, pour chaque lieu du globe, dans quel sens et de quelle grandeur est la déclinaison magnétique.

Cette difficulté s'opposait autrefois à l'usage de la boussole. La déclinaison magnétique, reconnue très-anciennement par les Chinois, découverte en Europe par *Peregrini* et observée par



Christophe Colomb dans sa première traversée de l'Atlantique, jetait une grande incertitude sur les opérations des navigateurs. Au dix-septième siècle, l'Angleterre fit entreprendre de grands voyages pour étudier la déclinaison magnétique dans les parages des différentes mers. En réunissant les résultats obtenus dans ces voyages, en figurant par de petites flèches sur une mappemonde la direction qu'affectait l'aiguille dans les différents lieux d'observation, on a reconnu que toutes ces flèches convergent à peu près vers deux points qui ne sont pas les pôles de la Terre. On a nommé ces deux points les *pôles magnétiques*. Depuis les premiers calculs de *Halley* pour déterminer leur situation, *John Ross* est parvenu au pôle magnétique du nord, dans les terres polaires de l'Amérique septentrionale; et *James Ross* et *Crozier* ont approché à quelques lieues de l'autre pôle magnétique, dans les mers glaciales du Sud.

La connaissance des pôles magnétiques donne la clef de tous les phénomènes que nous présente l'aiguille aimantée. Il suffit de savoir où ces pôles sont situés pour calculer à l'avance quelle sera la déclinaison de l'aiguille dans un lieu donné du globe. De légères influences locales, que l'on reconnaît dans un grand nombre de contrées, n'altèrent jamais le résultat d'une manière importante.

On peut donc se représenter toutes les aiguilles aimantées qui existent sur le globe comme dirigées vers un pôle particulier, un peu distant du pôle de la Terre. Mais l'expérience a constaté que le pôle magnétique lui-même n'est pas fixe sur la surface du globe : il se déplace par la suite des temps. Avant le dix-septième siècle, la déclinaison de l'aiguille, qui est aujourd'hui occidentale dans nos contrées, était au contraire vers l'orient. En 1665 la boussole indiquait le vrai nord à Paris. Après cette époque, elle déclina de plus en plus à l'ouest et atteignit vers 1814 à 1815 sa plus grande excursion occidentale. Depuis, l'aiguille revient vers le nord vrai.

On a constaté des changements semblables dans tous les lieux dont on possède des observations anciennes. Partout la pointe nord de la boussole se porte, par la suite des années, de l'est à l'ouest, pour revenir ensuite vers l'est. Or, on peut se représenter ces effets en attribuant au pôle magnétique un mouvement de rotation

autour du pôle de la Terre. A mesure que le pôle magnétique se déplace, il entraîne toutes les aiguilles qui se dirigent à lui, et, suivant qu'il passe d'un côté à l'autre du pôle de la Terre, la déclinaison, dans un même lieu, devient occidentale ou orientale.

Toutefois, les observations exactes de l'aiguille aimantée ne remontent pas assez haut pour assigner encore exactement en combien d'années le pôle magnétique fait le tour du pôle terrestre. On ne peut pas préciser non plus si ce mouvement de rotation est uniforme, si la distance du pôle magnétique au pôle terrestre demeure constante. Ce qui est incontestable, c'est que le pôle magnétique du nord, qui était situé durant le siècle dernier dans les parages de la baie de Baffin, se transporte maintenant vers le détroit de Behring, en longeant les côtes septentrionales de l'Amérique.

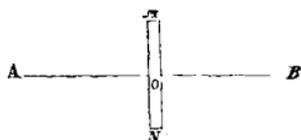
Lorsqu'on observe heure par heure la direction d'une aiguille aimantée, on reconnaît que dans nos contrées la pointe nord se porte d'abord vers l'ouest, pendant la matinée; qu'elle revient ensuite vers l'est à partir de 1^h ou 2^h de l'après-midi; qu'elle rétrograde de nouveau vers l'ouest pendant la plus grande partie de la nuit; enfin qu'elle revient à l'est depuis deux ou trois heures du matin jusqu'à neuf heures environ. Ces mouvements sont toujours renfermés d'ailleurs dans des limites très-étroites; ils sont un peu plus forts en été qu'en hiver, mais ils se bornent toujours à de petites oscillations.

Dans les contrées australes, lorsqu'on est plus rapproché du pôle magnétique du sud, ces mouvements se font dans le sens inverse, tout en affectant les mêmes périodes.

Ainsi deux fois chaque jour l'aiguille aimantée tourne d'orient en occident, et revient sur elle-même d'occident en orient. Si l'on considère que cette oscillation universelle est liée aux heures du jour, on voit que le mouvement doit se propager de l'est à l'ouest, sur la surface du globe, dans le sens de la marche apparente du soleil.

Depuis les belles recherches de *OErsted*, on sait que le magnétisme n'est qu'une dépendance de l'électricité. Toutes les fois qu'un courant électrique circule dans le voisinage d'une aiguille aimantée, cette aiguille est sollicitée à prendre une posi-

tion perpendiculaire au courant; si le fil *A B* est suffisamment électrisé, le barreau aimanté *M N*, suspendu par le point *O* au-dessus de ce fil, prendra une direction *M N* perpendiculaire



à *A B*. Considérer la direction de l'aiguille, c'est par conséquent constater la direction du courant électrique qui assigne à cette aiguille sa position.

Le soleil verse chaque jour sur la surface du globe, un nouveau flux de chaleur. L'échauffement du sol se propage d'orient en occident. L'échauffement plus ou moins rapide du terrain donne naissance, comme on l'observe dans les expériences de laboratoire, à des courants électriques journaliers. Le passage de ces courants dévie l'aiguille aimantée de sa position naturelle; ils tendent, suivant leur force, à lui imposer une direction perpendiculaire à celle de leur propre mouvement, puis, lorsqu'ils s'affaiblissent, ils la rendent à sa liberté.

Les oscillations diurnes des barreaux aimantés étaient l'indice du passage de ces courants électriques, qui se développent dans les couches supérieures du sol, sous l'influence de la chaleur solaire. Mais depuis deux ans les observations suivies en Angleterre sur les grandes lignes des télégraphes électriques ont servi à constater directement l'existence de ces courants.

Puisque les oscillations journalières des aiguilles aimantées sont le produit d'une circulation électrique qui s'établit à chaque retour du soleil dans les couches supérieures du terrain, on peut penser, par analogie, que la direction permanente de ces aiguilles vers les pôles magnétiques n'est que la conséquence d'un autre courant constant. Il n'est plus permis de croire, comme au temps de *Fracastor*, que l'aiguille soit attirée par d'immenses montagnes de fer. Le déplacement du pôle magnétique suffirait seul pour renverser cette hypothèse. Mais on peut admettre qu'une vaste circulation électrique, dirigée à peu près de l'est à l'ouest, s'accomplit dans le sol sans interruption. La puissance directrice de la Terre ne serait alors qu'une conséquence de cette vaste rotation.

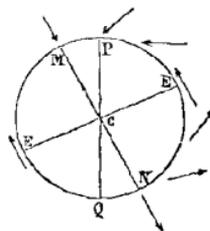
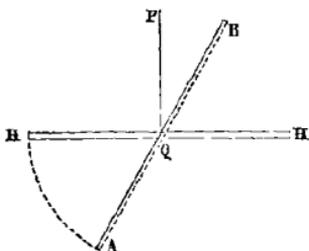
La constitution inégale des terrains, la conductibilité plus ou

moins grande des diverses couches de la terre et de la mer, produirait alors les petites inégalités que l'on observe dans la direction de l'aiguille, qui n'est jamais en toute exactitude celle du pôle magnétique.

La Terre nous apparaît ainsi comme un globe immense dont la croûte est sillonnée de courants électriques, ces courants forment une espèce de tourbillon dont les pôles magnétiques marquent l'axe. Toutes les aiguilles aimantées que l'on suspend librement à la surface de la Terre obéissent à l'influence de cette circulation électrique, en prenant une direction déterminée. Mais il nous reste un autre phénomène à envisager.

Si l'on suspend à un fil PQ un barreau de fer, on peut faire prendre à ce barreau la position horizontale HH . Si l'on aimante ensuite le barreau, non-seulement il se dirige vers le nord magnétique, mais sa pointe A plonge sous l'horizon, et son extrémité B se relève. La force directrice n'agit donc pas dans un plan horizontal : elle attire l'une des extrémités de l'aiguille vers l'intérieur de la Terre. Dans nos contrées, c'est la pointe nord qui s'abaisse vers l'horizon ; dans les contrées australes, c'est la pointe sud. L'angle HQA que fait l'aiguille avec l'horizon se nomme l'inclinaison magnétique. Aussi, lorsqu'on veut faire tenir l'aiguille horizontalement, comme dans les boussoles d'arpentage, on est obligé d'appliquer sur l'extrémité B un petit contre-poids qui l'empêche de se redresser.

Que l'on se représente le globe de la terre avec ses pôles P et Q , que l'on place sur ce globe les pôles magnétiques M et N . Marquons par un dard de flèche la pointe nord de nos aiguilles aimantées. Au pôle magnétique M , l'aiguille se tient verticale, la pointe nord en bas. Mais à mesure qu'on s'éloigne de ce pôle,



la pointe nord se relève. Arrivé en **E**, à égale distance des deux pôles **M** et **N**, l'aiguille aimantée se tient horizontale; puis la pointe sud s'abaisse de plus en plus jusqu'à l'autre pôle magnétique **N**, où l'aiguille est de nouveau verticale, la pointe nord en haut.

La ligne **EE**, sous laquelle le barreau aimanté reste horizontal, sous laquelle l'inclinaison magnétique est nulle, a été appelée *l'équateur magnétique*.

Puisque l'inclinaison de l'aiguille dépend aussi de la situation des pôles magnétiques, cette inclinaison doit varier dans chaque lieu, comme la déclinaison, à mesure que ces pôles se déplacent. A Bruxelles elle diminue lentement et confirme ce fait, que le pôle magnétique septentrional s'éloigne présentement de nous avec la suite des années.

La puissance directrice de la Terre ramène l'aiguille à sa position primitive chaque fois qu'elle en a été écartée, comme la gravité ramène le pendule vers la verticale. Mais on comprend que l'aiguille reviendra à sa position normale avec d'autant plus de rapidité que la force directrice de la Terre sera plus énergique. Le nombre de ses oscillations mesurera l'intensité du magnétisme terrestre. Des essais de cette nature avaient déjà été entrepris dans l'expédition malheureuse de *La Pérouse*. Depuis ils ont été répétés dans un grand nombre de points du globe. Il est résulté de ces expériences comparatives que la puissance directrice de la Terre est le plus intense vers ses pôles magnétiques, et le plus faible dans le voisinage de l'équateur.

ORAGES ÉLECTRIQUES ET MAGNÉTIQUES.

Nous venons de décrire l'électricité et le magnétisme de la Terre dans leur état normal habituel. Cet ordre normal est troublé de temps à autre par des causes accidentelles dont la nature n'est pas encore bien connue. L'électricité s'accumule sur certains nuages, sur certains points de la surface du globe, et trouble par son influence l'équilibre électrique des corps voisins. Des courants temporaires s'établissent dans le sol et entraînent momentanément l'aiguille aimantée. Ces conditions accidentelles, qui altèrent l'ordre normal des phénomènes, donnent

naissance à des manifestations nouvelles. On les désigne sous le nom générique de *perturbations*, et leurs effets constituent les *orages*, soit électriques, soit magnétiques.

A la suite de certaines circonstances particulières, et notamment dans les chaudes journées de l'été, les nuages se chargent d'une quantité considérable de fluide électrique. Ce fluide se répand sur toute la surface extérieure du nuage, auquel il sert en quelque sorte d'enveloppe. L'électricité est habituellement résineuse; mais parfois aussi elle est vitrée.

Un semblable nuage agit immédiatement par influence sur les autres nuages qui l'entourent, et sur le sol même au-dessus duquel il vient à passer. Il attire l'électricité de nom contraire à la sienne et repousse celle de même nom. Les nuées qui sont dans son voisinage s'électrisent par influence; les objets terrestres, et particulièrement les sommités des édifices et des arbres, s'électrisent également. A mesure que l'électricité se développe dans le nuage primitif, l'influence augmente, les nuées et les corps voisins s'électrisent davantage par leurs extrémités qui approchent le nuage orageux. Un moment arrive où la tension électrique devient suffisante pour franchir la distance qui sépare le nuage de l'un des objets voisins. L'électricité s'élançe alors, sous la forme d'une brillante étincelle; les électricités de nom contraire se joignent et se neutralisent. Tout rentre pour un moment dans le repos.

A l'approche d'un nuage orageux, l'une des électricités du sol se porte donc en abondance sur toutes les saillies; elle s'échappe même des pointes les plus déliées pour aller neutraliser dans le sein du nuage l'électricité orageuse. Si ces effluves sont suffisantes, le nuage rentrera de lui-même dans l'état naturel. Mais si la tension électrique n'est pas suffisamment atténuée par ces effluves invisibles, l'équilibre s'établira brusquement par la chute subite de la foudre.

La distribution de l'électricité, qui se porte toujours de préférence et en plus grande abondance vers les parties saillantes et pointues des corps, explique pourquoi les rochers aigus, les arbres, le sommet des édifices sont souvent frappés de la foudre. C'est également sur cette propriété des corps conducteurs qu'est

fondée l'admirable invention du paratonnerre. Cet instrument se compose d'une tige verticale en métal, surmontée d'une pointe très-aiguë. A l'approche des nuages orageux, l'électricité du sol se porte, par influence, vers le sommet de la tige, d'où elle s'écoule peu à peu vers le nuage, pour y neutraliser l'électricité orageuse. Le nuage perd de sa charge électrique, son action s'affaiblit et les symptômes orageux ne tardent pas à disparaître. Mais si l'écoulement de l'électricité par le sommet du paratonnerre n'est pas assez abondant, si la pointe surtout en est émoussée, l'union des deux électricités se fait tout à coup et bruyamment, par le trajet d'une étincelle : la foudre tombe sur le paratonnerre.

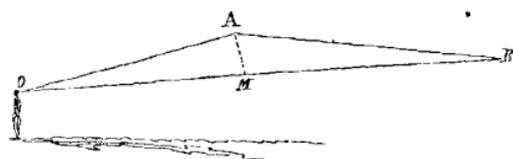
Dans cette prévision, et afin d'éviter les effets désastreux de la foudre, on attache à la partie inférieure de la tige un fil de métal qui va se perdre dans le sol, et qui conduit l'étincelle tout entière dans le sein de la Terre.

Depuis les beaux travaux de *Franklin*, le paratonnerre fournit les moyens d'étudier toutes les variations de l'électricité des nuages. Il suffit de mettre le fil conducteur du paratonnerre en communication avec un électromètre, pour suivre tous les mouvements de l'électricité. A mesure que le nuage orageux se forme et se développe, on voit croître la tension électrique. Quand cette tension atteint un certain degré, la foudre s'élance sur quelque nuage voisin ou sur quelque objet terrestre. A cet instant même, le nuage rentre dans l'état naturel. Toute l'électricité du sol, attirée par influence, retourne en même temps dans le sein de la Terre. Durant quelques instants, tout rentre dans l'état normal. Mais si l'électricité s'accumule de nouveau sur le nuage, si la tension recommence à croître, on peut bientôt prévoir un autre coup de foudre, par lequel l'électricité se déchargera de nouveau.

Le plus souvent l'étincelle de la foudre s'échange de nuage à nuage. Plus rarement la foudre se dirige vers les objets terrestres. L'étincelle de la foudre est crochue et colorée comme celle de nos machines électriques. L'intervalle qui sépare l'éclair du moment où l'on entend l'explosion peut servir à calculer la distance à laquelle cette explosion a éclaté. La lumière se pro-

page, en effet, avec une vitesse presque infinie. Le son, au contraire, ne se transmet qu'avec une vitesse de trois cent trente mètres environ par seconde. Chaque seconde qui s'écoule entre l'apparition de l'éclair et l'audition du tonnerre correspond, par conséquent, à une distance de trois cent trente mètres qui sépare l'observateur du lieu de l'explosion.

La foudre parcourt parfois dans les airs un espace considérable. On peut se faire une idée de ce trajet immense par la durée des roulements du tonnerre. Une partie de ces roulements doit être attribuée sans doute à la répercussion du son par les nuages. Mais la durée des roulements qui parviennent directement à l'oreille de l'observateur nous fournit quelque lumière



sur la longueur du chemin parcouru par l'étincelle. Si l'éclair parcourt, par exemple, le trajet A B, l'ob-

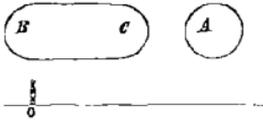
servateur placé en O entendra le coup de tonnerre lorsque le son parti de A lui parviendra après avoir franchi la distance AO. Mais le son parti de B ne lui parviendra que plus tard, parce que la distance BO surpasse AO. Le retard dépendra du temps nécessaire au son pour parcourir l'excès d'éloignement BM. Or depuis le moment où le son parti de A parvient à l'observateur jusqu'à l'instant où le son parti de B lui arrive, le roulement du tonnerre se fait entendre sans interruption pour l'observateur placé en O. Certains roulements se prolongent pendant plusieurs minutes. En supposant une seule minute, ou soixante secondes, l'excès de BO sur AO serait de soixante fois trois cent trente mètres, ou de près de vingt kilomètres. Le trajet BA de l'étincelle surpasse encore cet excès BM, suivant l'obliquité sous laquelle il se présente à l'observateur. On pourrait donc affirmer, dans cette supposition, que le chemin parcouru par la foudre devrait surpasser vingt kilomètres.

La durée de l'étincelle électrique elle-même est excessivement courte, quelle que soit d'ailleurs l'étendue du trajet qu'elle parcourt. Par des procédés excessivement ingénieux, mais qu'il

nous est impossible de décrire ici, un savant physicien anglais, *Wheatstone*, a mesuré la durée des éclairs ; cette durée était toujours d'une minime fraction de seconde, soit que la foudre se présentât sous la forme d'un trait délié, soit qu'elle se développât en large nappe à la surface des nuages. Les éclairs qui semblent avoir une longue durée se composent d'une série d'étincelles distinctes qui s'échappent rapidement les unes à la suite des autres.

C'est un spectacle imposant que celui d'un grand orage électrique. Les nuages orageux, disposés d'ordinaire en plusieurs couches superposées, se repoussent mutuellement parce qu'ils sont chargés d'électricité de même nature. Les nuages environnants, qui ne sont électrisés que par influence, sont attirés par le foyer orageux. Des étincelles éclatantes, accompagnées d'une explosion plus ou moins prolongée et que les échos répètent, illuminent les régions célestes. La foudre frappe les arbres, les édifices, les hommes même.

Quand le nuage orageux *A* rentre dans l'état naturel, à la suite d'une décharge éclatante, les électricités du nuage *B C*, séparées par influence, se réunissent et se neutralisent à leur tour. L'électricité, qui s'était accumulée en *B*, avait également électrisé par influence le sol *O* ;



à l'instant où l'éclair s'échappe, tout rentre dans l'état naturel. L'observateur placé en *O* reçoit une secousse violente, au moment où les deux électricités séparées se réunissent. Bien qu'éloigné du lieu où la foudre éclate, il peut être renversé par cette recomposition des électricités. Cette action invisible, inattendue, souvent aussi dangereuse que la chute directe de la foudre, porte le nom de *choc en retour*.

Les orages électriques sont un trouble momentané dans l'équilibre du globe. Des circonstances locales, et particulièrement l'élevation rapide et inégale des vapeurs, déterminent l'électrisation des nuages. Les orages sont plus rares sur mer que sur terre, à cause de la plus grande uniformité des conditions locales. Ils sont plus rares dans les contrées du nord que dans la zone tropicale. Il tonne presque tous les jours dans certaines saisons

de l'année, aux rivages de la Guyane et de Venezuela. Au delà des cercles polaires, les orages deviennent des phénomènes excessivement rares, qui ne se présentent pas chaque année.

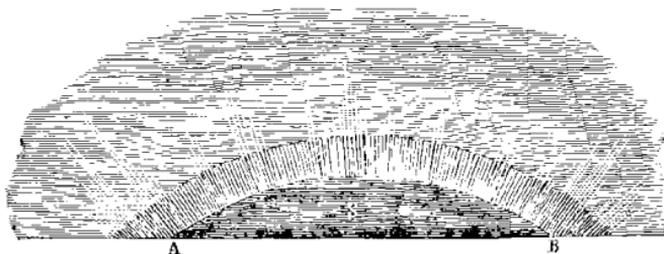
Les orages électriques ont leur siège dans les régions atmosphériques. Des perturbations analogues se produisent dans les courants intérieurs desquels dépendent les phénomènes du magnétisme. Il arrive, de temps à autre, que les mouvements d'ordinaire bien réguliers de l'aiguille aimantée manifestent un trouble accidentel. La pointe du barreau se meut par secousses vers l'ouest ou vers l'est; elle s'écarte parfois considérablement de sa position moyenne; puis, au bout de plusieurs heures, après plusieurs oscillations en sens divers, elle revient lentement à sa situation normale.

On n'est point parvenu à découvrir jusqu'ici les causes premières des perturbations magnétiques. Seulement, par des observations simultanées de l'aiguille aimantée, dans un grand nombre de stations des deux hémisphères, on a reconnu que ces perturbations s'étendent parfois à des régions d'une grande étendue. Il y a des perturbations locales qui ne s'exercent que dans un rayon fort rétréci. Mais un grand nombre de perturbations embrassent en même temps une vaste portion du continent. Dans tout le cercle de leur activité, l'aiguille aimantée s'agite dans le même sens, au même moment physique. Il arrive plusieurs fois chaque année que les barreaux magnétiques dont on suit la marche nuit et jour dans la plupart des observatoires de l'Europe sont troublés au même instant. La pointe nord des aiguilles se porte subitement à l'ouest, depuis Kazan, sur les limites de la Sibérie, jusqu'à Parme, en Italie. Mais les perturbations sont arrêtées en général par le bassin des mers, celles que l'on observe en Amérique et celles qui se produisent sur notre continent sont indépendantes les unes des autres.

Les courants qui donnent naissance à ces perturbations se meuvent apparemment dans les couches tout à fait supérieures du terrain. On s'explique alors comment les mers arrêtent la propagation de ces courants, et comment les perturbations que l'on observe à la surface sont parfois tout à fait insensibles dans les mines profondes.

Les perturbations magnétiques qui surviennent la nuit sont quelquefois accompagnées d'une manifestation lumineuse, qui a son siège dans le voisinage du méridien magnétique. Cet effluve lumineux, fort peu remarqué des anciens, a reçu de Gassendi le nom d'*aurore boréale*.

L'aurore boréale se compose d'un arc de lumière A B, qui s'élève au-dessus de l'horizon du côté du nord, et dont le point culminant est situé à peu près dans le méridien magnétique. Cet arc repose sur un segment S d'une couleur foncée, offrant



quelque ressemblance avec un nuage épais. Au-dessus de l'arc A B s'élancent des rayons de lumière, qui s'élèvent vers le zénith. Peu à peu ces rayons s'allongent, ils s'étendent sur une grande partie du ciel, et se colorent de nuances variées. Ils convergent vers un point situé au delà du zénith, où leur réunion forme une coupole de lumière. Les raies brillantes partent de ce nœud de lumière, comme les plumes étincelantes d'un immense oiseau de paradis (*Necker de Saussure*). On observe que le point de réunion des rayons est précisément le point du ciel vers lequel se dirige la pointe relevée du barreau magnétique d'inclinaison.

Plus tard ces rayons se dissolvent en se roulant sur eux-mêmes; le ciel n'offre plus que des plaques éparées et mouvantes de lumière. Ces plaques dans leur mobilité semblent entraîner l'aiguille aimantée dont on dirait qu'elles conduisent la pointe. Enfin les lueurs s'affaiblissent et s'effacent peu à peu, et lorsque le jour paraît et met un terme aux dernières clartés de l'aurore boréale, le ciel semble traversé de bandes rögulières et alignées de vapeurs blanchâtres.

Toutes les parties de l'aurore sont transparentes et laissent apercevoir les étoiles. Mais la scintillation de sa lumière a servi à la faire distinguer plusieurs fois pendant le jour malgré la présence du soleil.

L'explication complète de ce beau phénomène dépasse aujourd'hui les limites de nos connaissances. Suivant les hypothèses les plus probables, et notamment d'après les réflexions judicieuses de *Hansteen*, l'aurore boréale a son siège dans les hautes régions de l'atmosphère, au-dessus du pôle magnétique de la Terre. Dans le voisinage de ce pôle, il existerait sous certaines circonstances un effluve de particules électrisées, qui s'élèveraient du sein de la Terre. Ces particules deviendraient lumineuses à une élévation suffisante dans l'atmosphère. Elles se disposeraient en outre en longs filets parallèles à l'aiguille d'inclinaison.

Mais quelle que soit l'hypothèse à laquelle on s'arrête, la relation qui existe entre les phénomènes magnétiques et l'aurore boréale n'en est pas moins établie. L'aurore forme au-dessus du pôle magnétique une sorte de couronne lumineuse dont les contrées environnantes aperçoivent un arc partiel.

L'aurore boréale devient beaucoup plus fréquente à mesure qu'on avance vers le nord. Dans les régions polaires il ne se passe presque pas de nuits sans que la clarté de l'aurore vienne combattre l'obscurité. Mais dans nos régions, ce phénomène ne se présente qu'à d'assez rares intervalles. Seulement, après avoir observé de fortes perturbations magnétiques, nous apprenons d'ordinaire qu'à ce même instant l'aurore boréale se montrait dans tout son éclat aux habitants du septentrion.

Entre les tropiques, les aurores boréales deviennent très-rares. Des aurores analogues, qu'on a nommées *aurores australes*, se montrent pareillement à l'entour de l'autre pôle magnétique. Ces aurores affectent parfois l'aiguille aimantée jusque dans notre hémisphère. Les deux pôles magnétiques sont le centre d'effluves lumineux, qui s'échappent quelquefois simultanément, et forment alors une double couronne aux pôles de la planète.

PARTIE DESCRIPTIVE.

—

CHAPITRE IV.

LES TERRES.

—

FIGURE.

Les anciens géographes étaient divisés sur la question de savoir si toutes les masses continentales se relient entre elles. Au moyen âge, les cartes géographiques que l'on joignait aux ouvrages de *Ptolémée* représentaient d'ordinaire la mer des Indes comme une mer fermée, et rattachaient par une terre australe la péninsule de Malacca à l'extrémité sud de l'Afrique. Il fallut que *Bartholomé Diaz* et *Vasco de Gama* eussent doublé le cap de Bonne-Espérance, que *Magellan* eût pénétré dans la mer Pacifique, pour enseigner aux modernes que les continents forment des masses isolées au milieu des mers.

Non-seulement la nappe d'eau qui recouvre une portion du globe est continue, et ses différentes parties communiquent entre elles, mais l'étendue recouverte par la mer l'emporte de beaucoup sur l'étendue des terres. On calcule que le rapport

des superficies entre la partie solide du globe et la partie recouverte par les eaux est celui de 29 à 82. Les terres ne forment donc pas beaucoup plus du quart de la surface totale de la planète, et le domaine de l'Océan s'étend sur près des trois quarts de la superficie du globe.

Les terres constituent deux grandes masses principales, nommées *continents*, et un nombre immense de petites masses détachées, nommées *îles*, répandues dans toutes les parties des mers. Toutefois les deux continents l'emportent tellement en étendue que toutes les îles réunies ne forment que $\frac{1}{23}$ de la surface occupée par la totalité des terres.

Les continents sont, par conséquent, les éléments prépondérants de la partie solide du globe. En jetant les yeux sur une mappemonde, il est facile de remarquer qu'ils sont situés, presque entièrement, dans un seul hémisphère de la planète. Les côtes occidentales de l'ancien continent ne sont séparées des côtes orientales du nouveau que par la vallée de l'Atlantique, tandis qu'une mer immense, la mer Pacifique, s'étend entre la Chine et le rivage américain. Chacun de ces continents se développe et s'élargit vers le nord : par les latitudes de 60 et de 70 degrés, les mers n'occupent guère plus de $\frac{1}{8}$ du parallèle. Vers le sud, au contraire, les masses solides s'amincissent en pyramides et se terminent par des promontoires qui ne pénètrent pas bien avant dans l'hémisphère austral. On pourrait donc décomposer la surface du globe en deux parties, l'une continentale, qui renfermerait les deux grandes masses terrestres séparées seulement par la vallée de l'Atlantique, et située presque tout entière au nord de l'équateur ; l'autre maritime, comprenant la mer Pacifique et s'étendant sur les régions du pôle austral. La planète aurait ainsi son hémisphère continental et son hémisphère océanique.

Un trait caractéristique des parties solides du globe, c'est de se terminer généralement, du côté du midi, par des promontoires dirigés dans le sens des méridiens. La Californie, l'Amérique du Sud vers le cap Horn, la Floride, le cap de Bonne-Espérance, les deux péninsules de l'Inde, la Corée, nous en offrent des exemples. La terre de Van Diemen rappelle la

même conformation, à laquelle n'échappe pas la Nouvelle-Zélande, qui occupe douze degrés de latitude dans sa plus grande longueur. Il est tout aussi remarquable que les extrémités les plus avancées vers le nord soient situées à peu près sous les méridiens des grands promontoires méridionaux. Ainsi la pointe la plus reculée du continent américain, à la baie de Baffin, est presque sous le méridien du cap Horn ; le cap Nord de Norwége est à peu près dans le méridien du cap de Bonne-Espérance, et le cap Taïmoura de Sibérie dans celui de la péninsule de Malacca.

Les anciens, qui ne connaissaient que l'ancien continent, en avaient formé trois parties du monde, auxquelles la grande découverte de *Colomb* a fait ajouter l'Amérique. Toutefois les deux continents ne forment, à proprement parler, que trois parties distinctes. L'Afrique constitue une masse très-naturelle. C'est une terre uniforme, groupée en un seul tout, sans découpures et sans mers intérieures. Le même climat y règne dans presque toute son étendue ; les mêmes espèces végétales l'habitent d'une extrémité à l'autre. L'Asie, avec son prolongement péninsulaire que nous nommons l'Europe, offre, au contraire, le plus grand exemple de variété. Des systèmes diversifiés de montagnes partagent les climats ; un sol accidenté varie les températures et les productions ; mais, par-dessus tout, la découpe des côtes et l'articulation des différents membres du continent modifient les aspects et les rapports. Pour l'Europe seule, si profondément entamée par de grands golfes et des mers intérieures, le développement des rivages serait réduit des trois quarts si la côte devenait uniforme et circulaire. C'est en Europe que le caractère de variété éclate dans toute sa force, que la nature du sol, les climats et les productions se diversifient sur le moindre espace, et c'est à cette variété sans égale que les plus grands géographes, depuis *Strabon* et *Pline*, ont attribué la supériorité de cette petite contrée dans le grand mouvement de la civilisation.

Quant à l'Amérique, elle forme un continent distinct, qui s'étend à peu près du nord au sud, et qui réunit à lui seul toute l'échelle des climats et des productions. Ses plateaux

élevés rappellent, jusque sous l'équateur, l'aspect des zones tempérées. On peut y observer, sous le moindre espace, la série des températures et des végétaux.

Les deux continents sont coupés vers leur partie moyenne : l'Amérique à l'isthme de Panama ; l'ancien monde, à l'isthme de Suez. Ils sont couronnés, vers le nord, d'appendices enveloppants et polaires : d'un côté, le Groenland ; de l'autre, la Scandinavie et la Nouvelle-Zemble. Les côtes orientales sont généralement plus sinueuses et plus découpées, les côtes occidentales plus unies, comme si le mouvement des eaux dans le sens de la rotation de la planète eût entamé davantage les rivages qui subissaient le choc. C'est aussi le long des côtes orientales que sont situées la plupart des îles, comme d'antiques témoins de l'érosion des continents.

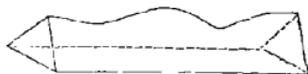
Cependant, outre les deux grandes masses continentales, il se développe dans les mers du Sud un vaste système d'îles, dont la Nouvelle-Hollande forme le noyau principal, et dont *Barros* a proposé le premier de faire une nouvelle partie du monde. Ce système se rattache à la presqu'île orientale de l'Inde, dont il semble le prolongement maritime. On dirait le squelette primitif d'un continent nouveau. C'est au milieu de ces innombrables archipels que les animaux madréporiques élèvent, en peu d'années, des constructions qui forment autant d'îles nouvelles. Lorsque ces édifices calcaires sont parvenus à fleur d'eau, quelques herbes marines s'y arrêtent, une couche d'humus se dépose peu à peu, le palétuvier vient la fixer, et bientôt une population organique anime cette terre nouvelle. Plusieurs exemples semblables ont été signalés, depuis trois siècles que les Européens parcourent ces mers.

L'Océanie se rattache au continent asiatique par une chaîne d'îles dirigée d'abord du sud au nord : les îles Scarborough, les Radak, les Carolines ; et de ces dernières par les îles Pelew au grand archipel des Philippines. Elle se rattache de même au continent américain par une autre chaîne, renfermée presque tout entière entre les parallèles de 15° et de 28° sud, dont les anneaux principaux sont les Hébrides, les îles Fidgi, celles de la Société, l'île de Pâques, Salas et Gomès, Juan-Fernandez.

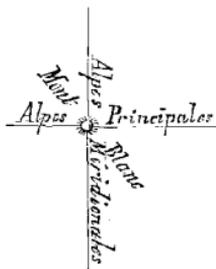
L'Europe se lie aussi à l'Amérique, entre les parallèles de $58^{\circ} \frac{1}{2}$ et de 64° nord, par l'intermédiaire des Orcades, des Féroë et de l'Islande.

Toutes ces parties solides, émergées au-dessus de la surface unie de l'Océan, figurent, suivant la belle expression de *Charles Ritter*, les bas-reliefs de la Terre. Les montagnes forment le squelette de chaque masse. Les terrasses s'étendent autour d'elles, et les plaines bordent la mer.

Une chaîne de montagnes peut être comparée à un prisme triangulaire, couché sur une de ses faces latérales. L'arête supérieure du prisme est ordinairement échancrée par des ouvertures plus ou moins profondes, qui servent aux communications et qui donnent à l'ensemble l'aspect d'une suite de montagnes séparées. L'axe



de ces prismes est, en général, rectiligne. La présence même de ces reliefs indique l'existence d'une fissure ou *faille* dans la croûte solide du globe, sur laquelle le soulèvement du prisme s'est opéré dans les temps antérieurs. Parfois deux failles, ouvertes à des époques successives, se sont croisées, et le second prisme soulevé, en traversant le premier, a porté à une élévation colossale le point d'intersection. On trouve des exemples d'un pareil *nœud* de montagnes dans l'intersection des deux chaînes des Alpes au Mont-Blanc et dans le Tsoungling d'Asie, au croisement du Bolor et de l'Hindou-Kho.



Les failles qui sillonnent la surface du globe affectent toute espèce d'orientation. Elles offrent cependant entre elles des rapports qu'il n'est pas difficile de saisir. Ainsi, à travers le grand continent d'Asie, trois chaînes à peu près parallèles s'étendent de l'orient à l'occident : l'Altaï, le Thian-Chan qui se lie au Caucase, et le Kouen-Lun, qui se prolonge par l'Hindou-Kho et le Taurus jusqu'à l'extrémité de l'Asie Mineure. L'immense chaîne des Cordillères parcourt toute l'Amérique

depuis le cap Horn jusqu'au détroit de Behring, en se maintenant à peu près sous un même grand cercle de la sphère. De l'autre côté du détroit de Behring, cette chaîne se continue à travers la Sibérie et la Chine, toujours sous le même grand cercle; en sorte qu'elle forme une vaste ceinture autour de l'hémisphère océanique de la planète, et une espèce d'anneau gigantesque dans une demi-circonférence du globe.

Dans une chaîne de montagnes, les deux faces découvertes du prisme constituent les versants. Leur inclinaison générale dépasse rarement un angle de 5°. Le pied des versants se raccorde avec la plaine, c'est-à-dire avec un terrain à peu près uni et à peu près horizontal. Mais, entre deux chaînes de montagnes, les plaines peuvent se trouver elles-mêmes à une grande élévation au-dessus du niveau des mers : elles prennent alors le nom de *plateaux*. C'est ainsi que le plateau du Thibet s'élève à plus de 5,000 mètres entre l'Himalaya et le Kouen-Lun, et le plateau du haut Pérou à près de 4,000, entre les deux branches parallèles des Cordillères.

Les plateaux et les plaines basses constituent la plus grande partie de la surface solide de la Terre. Les terrains à peu près horizontaux couvrent, d'après l'évaluation de *Berghaus*, plus des deux tiers de la superficie totale des terres. Ces terrains forment d'immenses régions dans l'Amérique du Sud, depuis le pied des Cordillères jusqu'aux rives de l'Océan Atlantique; en Asie, où ils constituent la Sibérie presque entière; et dans l'Europe même, où ils bordent la mer du Nord et la Baltique, pour s'étendre ensuite à travers la partie septentrionale de la Russie.

On peut donc se représenter les bas-reliefs que porte le globe comme de vastes régions faiblement exhaussées au-dessus de la surface générale de l'Océan, et sillonnées par des rides prismatiques qui ne dépassent pas 7,000 ou 8,000 mètres d'élévation. Ces inégalités du relief solide de la planète peuvent à peine se comparer, suivant la remarque de *Biot*, aux aspérités de la peau d'une orange. Et d'après les calculs d'*Alexandre de Humboldt*, si toutes les montagnes étaient nivelées et que les terres fussent également réparties sur toute l'étendue des

continents, le relief uniforme des parties solides atteindrait seulement 500 mètres.

Mais ce sol, qui nous sert de demeure, n'est pas dans un état de fixité absolue. Les eaux courantes rongent et nivellent les terres; les rochers se dénudent et s'éboulent. Dans certaines contrées, le terrain s'élève ou s'abaisse par la suite des temps. Le temple de Sérapis, à Pouzzoles, avait été construit sur la terre ferme, au bord de la mer. Aujourd'hui encore il est situé hors de l'eau. Mais les traces que les pholades et les dactyles ont laissées sur le fût des colonnes, jusqu'à une ligne de niveau nettement dessinée, montrent que durant une longue période le sol du temple s'était abaissé au-dessous du niveau de la mer. L'île de Santorin s'est formée dans les temps historiques en s'élevant du fond des eaux. De nos jours un rocher sous-marin s'est exhaussé progressivement dans la vaste baie que forme cette île. Mais l'exemple le plus remarquable est celui de la péninsule scandinave, qui éprouve par la suite des siècles un mouvement de bascule, s'élevant à son extrémité nord et s'abaissant à son extrémité sud. Des lignes tracées sur les rochers qui bordent la Baltique ont mis hors de doute ce singulier phénomène.

On peut suivre d'ailleurs, sur la côte de la Norvège, plusieurs lignes naturelles qui marquent les anciens niveaux de la mer. Le sol de la Scandinavie a éprouvé plusieurs soulèvements successifs. Le relief actuel des parties solides du globe n'est que le résultat de soulèvements antérieurs, qui appartiennent aux périodes géologiques. Nous avons voulu montrer seulement que des mouvements lents du terrain, qui altèrent le relief des terres et qui changent le rivage de la mer, se produisent encore de nos jours, bien que dans de moindres proportions. Les atterrissements causés par les grands fleuves, la fixation des végétaux dans les baies tranquilles, la diminution progressive des lacs, changent également le rapport des terres et des eaux.

A ces actions lentes et progressives il faut joindre les bouleversements subits, produits par les tremblements de terre et par les volcans. En 1851, une île nouvelle (l'île Julia des Fran-

çais, île **Graham** des Anglais), qui est rentrée depuis dans le sein des eaux, s'éleva entre la côte de Sicile et celle d'Afrique. Toutefois les changements qui surviennent aujourd'hui dans le relief des parties solides du globe ne modifient plus la figure générale des continents : les traits caractéristiques des grandes masses émergées n'en sont plus altérés.

TEMPÉRATURE DE LA TERRE.

Les mineurs ont reconnu depuis longtemps que la température augmente à mesure que l'on s'enfonce plus profondément dans le sein de la terre. Mais il fallait que le thermomètre fût inventé pour qu'on pût déterminer avec précision la loi de cet accroissement.

Robert Boyle fut le premier qui porta le thermomètre dans des mines profondes : il constata l'augmentation graduelle de la chaleur à mesure que l'on s'enfonce. Cette augmentation est si rapide qu'il règne une température constante de plus de 55° dans la célèbre mine de Valencia, au Mexique, qui atteint 700 mètres de profondeur. Dans les principales houillères de notre pays, où les travaux descendent à 400 mètres environ au-dessous du sol, le thermomètre enfoncé dans la roche marque constamment plus de 20°.

Les expériences qui ont été faites dans différentes contrées ont démontré que l'accroissement de la température est proportionnel à la profondeur, et qu'en partant de la température moyenne de la surface on peut l'évaluer à un degré centigrade pour 55 à 40 mètres d'enfoncement. Si l'on admettait que cette augmentation uniforme se poursuit indéfiniment dans l'intérieur de la planète, on pourrait déterminer les profondeurs auxquelles les différentes substances entrent en fusion ou en ébullition. On trouverait, par exemple, que l'eau se réduirait en vapeur à un peu plus de trois kilomètres au-dessous du sol.

Au-dessous de la croûte superficielle du globe, composée de terrains si divers, la roche granitique paraît régner dans toutes les régions de la planète. C'est ce que semblent indiquer les fragments incrustés dans la lave des volcans encore actifs,

fragments qui proviennent d'énormes profondeurs. Or, depuis les expériences de *Mitscherlich*, on sait que le point de fusion des substances réfractaires avait été exagéré, et l'on peut admettre que le granit devient liquide à une température d'environ 1300°. Il suffirait donc de descendre à 40 ou 50 kilomètres dans l'intérieur de la Terre pour atteindre l'extrémité inférieure de la croûte solide et pour rencontrer le noyau central à l'état de liquéfaction ignée.

Quelle que étonnante que paraisse cette conclusion, elle n'en est pas moins la déduction logique de la loi d'accroissement uniforme de la température avec la profondeur. On estime que la croûte solide qui recouvre le noyau incandescent du globe n'a pour épaisseur que $\frac{1}{100}$ environ du rayon de la planète. Ce noyau liquide doit être soumis, comme nos mers, au phénomène des marées; mais ces marées, d'ailleurs peu puissantes, se réduisent à des pressions contre la paroi inférieure de l'enveloppe.

La masse liquéfiée s'est souvent injectée de bas en haut dans l'épaisseur de la croûte. Les coulées qu'elle y a déposées conservent encore de nos jours une chaleur propre et ne sont pas toutes entièrement refroidies. On a creusé en Italie, il y a quelques années, un puits profond, dans lequel l'accroissement de la température est d'un degré pour moins de vingt mètres. Ce puits se trouve précisément dans le voisinage d'une de ces masses injectées.

Il suffit de descendre à la profondeur d'un petit nombre de mètres pour trouver une température presque invariable, que les ardeurs du soleil ou les froids de l'hiver cessent d'influencer, et qui est, à fort peu près, la température moyenne du lieu. Les caves de nos habitations jouissent déjà de cette température presque constante, et c'est le contraste de ce terme moyen avec la température extérieure qui les fait paraître fraîches en été et chaudes en hiver. Les puits, dont les eaux séjournent à une profondeur constante et généralement peu considérable, fournissent avec une assez grande exactitude la température moyenne du pays. Les sources présentent à peu près le même phénomène. Cependant, d'après *Wahlenberg*, dans les contrées

septentrionales leur température est un peu supérieure à la moyenne du lieu.

Les sources sont produites, en effet, par des eaux qui ont accompli un cours souterrain. Dans le trajet, le filet liquide a traversé des couches d'autant plus chaudes qu'il a pénétré à une plus grande profondeur. S'il descend, au contraire, des parties élevées de la montagne, il apporte la température froide des régions supérieures. La température d'une source fournit en quelque sorte l'histoire de son trajet souterrain.

Au Mont-d'Or, en Auvergne, une source thermale de 43° et une source froide de 10° jaillissent à quelques mètres de distance : l'une vient évidemment des profondeurs du terrain et l'autre des couches moyennes de la montagne. L'eau du puits artésien de Grenelle, qui s'élève rapidement d'une profondeur de plus de 500 mètres, arrive au jour avec une température de 25°. Parmi les sources naturelles, les *Aguas calientes de las Trincheras*, au sud de Porto-Cabello, ont 97° de chaleur. La source la plus chaude de l'Europe, celle de Chaudes-Aigues, a 80°.

Non-seulement les sources thermales ne paraissent point s'épuiser, car on a pu reconnaître presque toutes celles que les anciens ont décrites, mais leur température s'est conservée, depuis qu'on l'observe, sans notables variations.

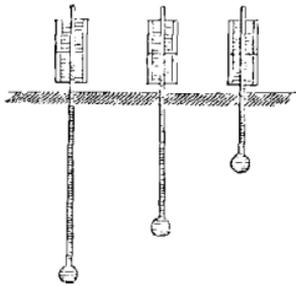
Si la profondeur était plus grande encore, l'eau serait réduite en vapeur, comme au Geysir d'Islande. Mais ce phénomène se lie déjà à celui des éruptions volcaniques, que nous devons laisser aux géologues.

L'échelle croissante des températures dans la croûte solide du globe fournit ainsi l'explication des phénomènes qui se rattachent aux eaux souterraines. La distribution de la chaleur y affecte une invariabilité que les siècles mêmes ne troublent pas ; et si le globe se refroidit encore au milieu de l'espace glacé où il est suspendu, c'est avec une lenteur qui efface tout effet sensible dans la durée des temps historiques.

Mais à la partie tout à fait supérieure de la croûte, les rayons solaires modifient chaque jour et chaque année la température du sol. Le flux de chaleur qui parvient, durant la

journée, à la superficie du terrain, s'y enfonce en s'affaiblissant rapidement. Des thermomètres enterrés à quelques décimètres de profondeur montent chaque jour par l'action du soleil et s'abaissent par suite du refroidissement nocturne, comme les thermomètres placés à l'air libre.

Pour observer commodément ces mouvements de la chaleur, on enterre la boule du thermomètre dans la couche dont on



veut étudier les variations de température, et l'on emplit le tube prolongé de l'instrument de manière à faire toutes les lectures de l'échelle au-dessus de la surface du sol. Dans cette combinaison, la colonne traverse, il est vrai, des couches d'une température différente, mais le volume du liquide renfermé dans le tube est peu considérable par rapport au volume de la boule ;

et si l'on connaît la température des diverses couches intermédiaires, on pourra calculer une correction, toujours faible, qui restituera la précision aux observations.

C'est avec de semblables thermomètres, et en tenant compte de la dilatation ou de la contraction de la colonne renfermée dans le tube, que la marche de la chaleur solaire dans l'intérieur du sol a été étudiée. *Forbes* à Édimbourg et *Quetelet* à Bruxelles ont fait les premières séries régulières d'observations. Le flux diurne de chaleur diminue rapidement d'amplitude avec la profondeur. Il suffit d'enterrer de quelques centimètres la boule de l'instrument, pour réduire son oscillation diurne à un petit nombre de degrés. Avant d'être arrivé à un mètre de profondeur, la chaleur versée pendant la journée a cessé complètement d'être sensible.

Mais si le flux diurne s'efface au delà d'une couche d'un mètre d'épaisseur, le flux annuel pénètre à une profondeur plus considérable. Au-dessous de la première couche d'un mètre on n'aperçoit plus les différences du jour et de la nuit, mais on éprouve encore très-distinctement celles de l'été et de l'hiver.

Toutefois l'amplitude du flux annuel diminue elle-même avec rapidité : à dix mètres elle n'est plus guère dans nos climats que d'un degré.

Fourier avait trouvé par la théorie que les profondeurs auxquelles les différents flux de chaleur deviennent insensibles sont proportionnelles aux racines carrées des périodes. Ainsi, comme la période annuelle renferme 365 périodes diurnes, le flux annuel doit s'effacer, à 19 fois (racine carrée de 365) la profondeur où s'efface le flux diurne. L'expérience a pleinement confirmé cette loi. A vingt mètres de profondeur, le thermomètre ne varie plus d'un centième de degré dans l'intervalle de six mois.

On a donné le nom de *couche invariable* à celle qui sert pour ainsi dire de limite à la pénétration du flux annuel. On vient de voir que cette couche se rencontre dans nos climats à la profondeur d'environ vingt mètres. Mais sous les tropiques, où les différentes saisons offrent de moins grandes variations de température, où l'état du thermomètre est plus constant, la couche invariable doit se rapprocher de la surface. *Boussingault* avait remarqué qu'au Pérou et à la Nouvelle-Grenade, il suffit de creuser à un mètre, ou même à un demi-mètre de profondeur, pour rencontrer presque exactement, en toute saison, la température moyenne de l'année. Cependant les observations de *Caldecott*, faites à Trevandrum près de la pointe méridionale de l'Inde, et transmises à l'Académie de Bruxelles, montrent que dans certaines contrées des tropiques, où les excursions du thermomètre exposé à l'air libre sont plus grandes, le flux annuel fait descendre le niveau de la couche invariable.

Au reste, le flux diurne et le flux annuel de chaleur ne pénètrent dans le sol qu'avec une très-grande lenteur. A quelques décimètres de profondeur, la chaleur versée pendant le jour ne parvient que pendant la nuit suivante, en sorte que les heures du maximum et du minimum sont complètement renversées. Il en est de même pour les saisons à huit ou dix mètres de profondeur.

La nature des terrains, leur conductibilité pour la chaleur, influent d'ailleurs sur la facilité avec laquelle les flux diurne et

annuel les traversent. La roche semble transmettre la chaleur un peu plus rapidement et plus profondément que le sable.

Outre la propagation verticale de la chaleur solaire dans le sein de la Terre, il faut encore tenir compte de sa propagation latérale de parallèle à parallèle. De même que la chaleur pénètre verticalement dans le sol de haut en bas, de même aussi le sol échauffé des tropiques transmet latéralement vers les régions polaires une partie de son excès de température. Il s'établit donc, dans la couche superficielle du globe, un courant de chaleur permanent, qui transporte vers les pôles de la Terre une partie de la chaleur versée par le soleil sur le sol des tropiques. Arrivée aux pôles, cette chaleur se dissipe par le rayonnement. Or, si lente que soit la propagation du calorique dans le sol, cette vaste circulation superficielle a dû finir par s'établir après un certain nombre de siècles. Elle concourt à adoucir le climat des régions polaires dans une proportion qui n'est pas encore assignée.

CHAPITRE V.

LES EAUX.

HYDROGRAPHIE GÉNÉRALE.

L'océan liquide a couvert autrefois la planète entière. Il a laissé des traces de son séjour dans toutes les contrées de la Terre. Les continents et les îles se sont élevés en différents temps du fond de la mer, et ont fourni progressivement aux végétaux terrestres, aux animaux et à l'homme, une base fixe et une demeure. Les eaux recouvrent encore aujourd'hui près des trois quarts de la planète ; mais quand on considère l'extrême sécheresse qui règne dans l'intérieur des grands continents et l'aridité de la végétation dans ces contrées centrales, on reconnaît, avec *Alexandre de Humboldt*, que la prédominance des mers est une condition de la fécondité du globe et du développement de sa population organique.

Nous avons déjà dit que la surface du globe peut être partagée en deux hémisphères, l'un continental, dans lequel les terres prédominent, l'autre aquatique, qui est presque entière-

ment occupé par les eaux. Ce dernier comprend toutes les régions australes de la planète. Au delà du 40° degré de latitude sud, l'Océan règne pour ainsi dire sans partage ; sous le 40° degré nord, les terres occupent déjà plus de la moitié du parallèle. Au nord de l'équateur, la masse des parties solides est trois fois plus considérable qu'au sud de ce même cercle.

L'hémisphère océanique forme une immense nappe d'eau qui n'est entrecoupée que par la chaîne d'îles qui unit l'Amérique du Sud à la Nouvelle-Hollande. Mais dans l'hémisphère continental, les mers forment des vallées distinctes et des bassins. Ainsi l'Océan Atlantique ne paraît constituer qu'une immense vallée, creusée par le choc des eaux dans trois directions successives. A partir du 40° degré de latitude sud ses côtes opposées sont parallèles. En venant du midi, la vallée se dirige d'abord du sud-ouest au nord-est, jusqu'au cap Saint-Roque du Brésil, qui correspond au golfe de Guinée. Elle prend ensuite la direction du sud-est au nord-ouest, jusqu'au golfe du Mexique qui fait face au cap Blanc d'Afrique, et elle retrouve enfin sa direction primitive jusque dans les régions polaires, entre les côtes parallèles du Groenland et de la Norwège.

Les mers intérieures forment des bassins distincts, limités par les péninsules des continents ou par des chaînes d'îles. A la côte orientale d'Asie, les îles limitent une série de bassins maritimes : la mer d'Okhotsk, celle du Japon, la mer Jaune, la mer de Chine. Le tronçon principal de la Méditerranée se subdivise lui-même en trois bassins parfaitement séparés : la mer Égée est fermée par une courbe qui passe par Rhodes, Candie, Cérigo et le cap Malée ; la mer des Syrtes se termine entre le cap Bon d'Afrique et le cap Grantola de Sicile, par une ligne qu'occupent l'île Pantellaria et le bas-fond Adventure-Bank, ligne sur laquelle l'île Julia s'est soulevée en 1854 ; enfin la mer de Sardaigne et des Baléares est close au détroit de Gibraltar.

Les eaux occupent les parties déprimées de l'écorce solide du globe ; elles remplissent les intervalles qui sont restés entre les soulèvements. Durant les périodes géologiques, les mouvements des masses solides ont nécessairement apporté des variations considérables dans le niveau de l'Océan ; mais aujourd'hui ce

niveau est devenu constant. Rien n'annonce d'ailleurs que le volume des eaux augmente ou diminue par la suite des temps. Il faut se garder de prendre des atterrissements locaux, produits par l'accumulation des sables et du limon, pour un effet de l'abaissement des mers. Aigues-Mortes, où saint Louis s'est embarqué pour l'Orient, est aujourd'hui à plusieurs kilomètres du rivage, sans que le niveau général de la Méditerranée ait changé. De même l'envahissement de la mer sur les côtes de la Hollande n'est que le résultat de l'érosion des dunes qui sont minées par les vagues.

On n'a pas jusqu'ici de notions complètes sur la profondeur de la nappe océanique qui recouvre la plus grande partie du globe. De grandes étendues de mer n'ont pas cent mètres de profondeur. Ailleurs la ligne de sonde s'enfonce aussi longtemps que le navigateur peut la dérouler. Dans les mers des tropiques, le plomb de sonde a été descendu à plus de huit kilomètres, sans rencontrer le fond. Le lit solide sur lequel les eaux reposent doit offrir les mêmes inégalités que les terres émergées ; on comprend qu'il existe dans le fond de la mer d'immenses cavités. On peut affirmer cependant que la profondeur moyenne de l'Océan n'est que de quelques centaines de mètres. *Laplace* observe, en effet, que la densité de l'eau étant 1, et celle de la croûte solide $2 \frac{3}{4}$ environ, l'attraction d'une couche d'eau est moindre que celle d'une couche semblable de terrain. Or, les expériences du pendule, faites dans les régions continentales ou dans les régions maritimes, n'offrent pas assez de différence entre elles pour que l'on puisse conclure à une grande profondeur de la mer. Les accroissements de pesanteur causés par le relief solide sont comparables aux diminutions produites par la présence des mers. Les cavités dans lesquelles l'Océan repose n'offrent donc pas en profondeur des proportions supérieures à celles que nos montagnes présentent en élévation.

Les eaux de l'Océan et de toutes les mers qui communiquent avec lui se sont accumulées dans les parties basses de la croûte solide. Les mers fermées et les lacs reposent dans des cavités isolées, à des niveaux très-différents. Les vallées alpines, qui n'offrent que de faibles débouchés, servent souvent de réservoirs

à des lacs d'étendue diverse. C'est ainsi que la surface des eaux dans le lac de Kachmire est élevée de plus de 1,600 mètres au-dessus du niveau de l'Océan, et que les lacs de Mexico sont situés à plus de 2,000 mètres de hauteur. En revanche, certaines parties du relief solide, qui ne sont pas en communication avec l'Océan, offrent des cavités qui descendent au-dessous du niveau général des mers. La mer Caspienne, avec une certaine étendue du bassin qui l'entoure, est de quelques mètres plus basse que la mer Noire et que la mer Méditerranée. Dans la Judée, la vallée du Jourdain forme une crevasse profondément enfoncée au sein du globe : le lac de Tibériade est à 200 mètres au-dessous du niveau de la mer, et la mer Morte à 400 mètres.

Toutes les nappes d'eau qui existent sur le globe, océan ou lacs, éprouvent par l'évaporation une déperdition continuelle. Tout bassin qui ne serait pas alimenté diminuerait donc peu à peu, et finirait par se dessécher complètement. Mais les eaux enlevées dans l'air par l'évaporation forment des nuages qui se résolvent en pluie, et l'atmosphère rend à la mer ce qu'elle lui avait enlevé. Il s'établit donc une circulation continue, dont les termes sont : l'évaporation des mers et des lacs, la formation des nuages, le transport de ces nuages dans l'intérieur des continents, la chute de la pluie, la pénétration des eaux pluviales dans le sol, leur issue par les sources et fontaines, enfin leur retour à la mer par les cours d'eau.

L'évaporation est d'autant plus rapide que la température est plus élevée, que la pression barométrique est moindre et que l'air est plus souvent renouvelé par l'agitation du vent. Dans les régions polaires, l'évaporation est le moins sensible. Dans nos climats, elle n'abaisserait guère les niveaux que d'un demi-mètre, pendant le cours d'une année. Mais sous les tropiques, ses effets s'élèveraient à plusieurs mètres.

L'eau enlevée par l'évaporation se dissout d'abord dans l'atmosphère sous forme de vapeur transparente; mais quand la température s'abaisse, et que la dose de vapeur surpasse le degré de saturation (p. 402), la vapeur qui ne peut plus être tenue en dissolution repasse à l'état liquide. Elle se dépose alors sous

forme de rosée, ou, prenant une constitution vésiculaire, elle forme les nuages et les brouillards.

Bien que l'eau soit plus pesante que l'air, les nuages restent suspendus dans l'atmosphère. *Saussure* attribuait ce phénomène à l'état vésiculaire des particules d'eau. Il supposait que ces petites sphères creuses, occupant plus de volume que des sphères pleines, acquerraient par là une légèreté suffisante pour se soutenir dans l'atmosphère comme autant d'aérostats. Mais la suspension des nuages est due avant tout à leur électricité, qui les repousse loin du sol. Chaque fois que le nuage se résout en pluie, c'est-à-dire chaque fois que les vésicules tombent vers la terre et se réunissent en gouttes, l'électricité se dégage. Il y a plus ; suivant un physicien américain, *Stevell*, il suffirait de décharger l'électricité du nuage, de la ramener dans le sol par l'intermédiaire d'un courant d'air chaud ascendant, pour mettre fin à la suspension du nuage et le faire tomber sous forme de pluie. Il est du moins constaté que la réunion des grands foyers allumés provoque la chute de la pluie, que la pluie tombe fréquemment, par exemple, dans les pays où l'on pratique en grand la carbonisation du bois, et que dans la ville de Manchester, depuis la multiplication des usines, il ne se passe presque plus un jour sans pluie.

Quoi qu'il en soit des causes qui déchargent l'électricité des nuages, il existe une connexion certaine entre l'écoulement de l'électricité et la chute de la pluie. Si les gouttes, en tombant, traversent un air humide, elles augmentent de volume en condensant l'eau atmosphérique autour d'elles. Plus rarement, en traversant dans leur chute des couches d'air très-sèches, elles s'évaporent et s'amincissent.

Les pluies qui tombent directement dans les lacs et dans les mers servent immédiatement à leur alimentation. C'est cette alimentation directe qui restitue à l'Océan la plus grande partie des eaux qu'il perd chaque jour par l'évaporation. Mais la pluie qui tombe dans l'intérieur des terres finit également par revenir à la mer.

L'eau qui tombe sur le sol pénètre dans l'intérieur du terrain, ou bien coule à sa surface. La partie qui pénètre ne s'enfonce

pas indéfiniment; elle ne peut traverser que les terrains meubles, qui offrent des canaux ou des interstices. Mais quand l'eau arrive à une certaine profondeur, et qu'elle rencontre dans l'épaisseur de la croûte solide des couches imperméables, il lui devient impossible de pénétrer plus avant. Elle coule alors sur la paroi supérieure de ces couches, formant dans le sein de la terre des courants et des nappes d'eau, parfaitement semblables aux rivières et aux lacs de la surface.

Ce sont ces courants et ces nappes que nous rencontrons dans le percement des puits artésiens. Ce sont ces masses d'eau souterraines, arrêtées par les schistes, que nos mineurs traversent, dans la plupart de nos houillères, pour aller chercher le combustible à des profondeurs plus considérables encore. Enfin c'est dans ces retraites souterraines que rentrent, à l'époque des sécheresses, les eaux de certains lacs.

Les eaux qui circulent dans l'intérieur de la terre, au-dessus d'une couche imperméable, suivent nécessairement l'inclinaison de cette couche; et si cette inclinaison conduit la couche vers le flanc d'un coteau, les eaux arriveront nécessairement à sortir de terre, et produiront une source.

Il résulte des lois de ces phénomènes qu'il ne peut pas y avoir de source sur le sommet même des montagnes, ni sur le point tout à fait culminant des plateaux. On trouve toujours, en effet, que le débit des sources les plus élevées est inférieur à la quantité moyenne de pluie que reçoit la contrée qui domine la source.

Mais comme beaucoup d'eaux souterraines sont conduites plus bas que le niveau de la mer par les couches imperméables sur lesquelles elles coulent, il faut admettre que des sources nombreuses débouchent dans le lit de la mer. Et c'est, en effet, ce que l'expérience justifie. On a pu reconnaître, dans la mer, un certain nombre de sources d'eau douce. On cite, entre autres, celle de la baie de Xagua à l'île de Cuba, et les sources chaudes voisines de l'île Navaza.

Les sources terrestres sont le point de départ des cours d'eau qui sillonnent la surface des parties solides du globe, et qui portent en dernier ressort à la mer les eaux que l'évaporation

lui avait enlevées. Les cours d'eau constituent, suivant leur importance, les ruisseaux, les rivières et les fleuves; mais les mêmes lois les régissent, dans toute leur étendue, depuis la source jusqu'à l'embouchure.

Les cours d'eau se développent, avec des sinuosités plus ou moins prononcées, suivant une ligne de pente qui aboutit au niveau de la mer. Ceux qui descendent des contrées montagneuses qui occupent le cœur des continents ont un développement immense. L'Amazone a plus de 5,000 kilomètres de longueur. Leur largeur augmente, en général, à mesure qu'on se rapproche de l'embouchure. Les grands fleuves d'Europe, le Danube, l'Elbe, le Rhin, n'ont que 400 à 500 mètres de largeur, dans la partie moyenne de leur cours. La Plata a 400 kilomètres entre Monte-Video et Punta de Piedras, et 50 à 60 entre Sacramento et Buenos-Ayres.

La pente des rivières est d'abord très-rapide, dans le voisinage de la source. Avec des pentes de plus de 5 mètres par kilomètre, les cours d'eau sont torrentueux. Mais l'inclinaison du lit diminue à mesure qu'on s'éloigne de la source, et elle devient insensible à l'embouchure même. L'Indus, qui descend des hauteurs du Gurhwal, éprouve une chute immense dans la partie supérieure de son cours. L'Escaut n'a plus que 15 mètres de pente, depuis son entrée en Belgique jusqu'à Flessingue.

La vitesse des eaux courantes dépend principalement de la pente, en chaque point de leur lit. Il faut cependant tenir compte encore de la vitesse acquise par les eaux supérieures, qui exercent une pression afin de se frayer un passage, et de la résistance qu'opposent les obstacles du lit. A la partie inférieure de l'Amazone, la pente est insensible durant plusieurs centaines de kilomètres; les eaux ne s'écoulent que par la pression des eaux supérieures.

Ces puissantes veines liquides, qui débouchent des continents dans la mer, répandent au milieu des eaux salées d'immenses masses d'eau douce. L'Amazone s'annonce au large par ses eaux douces. Le Rio Zaïre d'Afrique produit le même phénomène, dans le temps des pluies, jusqu'à 100 kilomètres du rivage. Aux bouches de l'Orénoque, une couche d'eau douce de 5 à 4 mètres

recouvre l'eau salée et plus pesante de la mer. Ces veines liquides luttent avec violence contre la marée. Le Gange résiste avec fureur à l'introduction des eaux de la mer, et le Rio Mearim de la province de Maranhao est célèbre par un phénomène du même genre.

Mais de même que les pluies ont, dans beaucoup de contrées, des saisons régulières, de même aussi les sources alimentent les fleuves avec plus ou moins d'abondance. Les cours d'eau ont des crues et des baisses réglées; et lorsque les crues sont telles que le lit du fleuve ne suffit plus à contenir la masse des eaux, celle-ci déborde et envahit toute la vallée. Les inondations du Nil fécondent l'Égypte, les pluies tombent au commencement de l'hiver dans la haute Éthiopie; le Nil déborde régulièrement en janvier, et répand son limon sur la contrée. Il y a deux mille ans les habitants de l'Égypte étaient avertis de la crue prochaine du fleuve par la réapparition de l'étoile de Sirius, qui se levait avec l'aurore. L'Orénoque a aussi ses débordements réguliers; ses hautes eaux élèvent de 15 à 20 mètres le niveau du fleuve, et forment un magnifique ruban de 3 kilomètres de largeur.

CONSTITUTION DES MASSES D'EAU.

L'Océan liquide est un sujet d'étude inépuisable pour le physicien comme pour le géologue. La mobilité des eaux, leur circulation, leur retour à la mer, joints aux modifications incessantes qu'elles éprouvent dans leur composition, dans leur température et par suite dans leur pesanteur spécifique, offrent une variété de phénomènes sans exemple.

L'un des principaux caractères distinctifs de l'eau de mer, c'est la *salure*. Cette eau renferme, à l'état de dissolution, $\frac{1}{25}$ environ de son poids de chlorure de sodium, auquel se joignent quelques autres sels, dans des proportions beaucoup moindres. L'évaporation, qui enlève la vapeur d'eau pure, n'entraîne pas avec elle les sels que le liquide renferme, en sorte que par l'évaporation seule non-seulement le niveau des mers baisserait progressivement, mais leur salure augmenterait sans cesse et le sel finirait par se déposer comme dans les

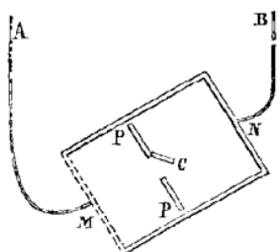
crystallisoirs de nos salines. En compensation, les pluies et les rivières rendent de l'eau douce à la mer, et la proportion de salure est maintenue constante par le même phénomène qui restitue invariablement le niveau.

Par suite de la communication de toutes les grandes mers entre elles, et au moyen du brassage continuel que les courants établissent, on pouvait prévoir que la salure de la mer serait à peu près uniforme. L'eau de l'Océan a été recueillie en différents parages dans plusieurs expéditions maritimes, et notamment par *Adolphe Erman* dans son voyage autour du monde. L'analyse a constaté que les différences de salure qui existent entre les diverses régions de l'Océan sont fort minimales. On remarque cependant qu'il existe deux zones de plus grande salure vers le 22^e parallèle nord et vers le 18^e parallèle sud, et que l'eau la plus douce se rencontre à quelques degrés au midi de l'équateur.

Quelques lacs tiennent en suspension des matières diverses : les eaux de la mer Morte sont fortement chargées de substances étrangères ; les lacs amers d'Égypte tiennent en dissolution une certaine quantité de natron ; enfin l'on mentionne dans les deux hémisphères de nombreux lacs salés.

L'eau présente la propriété remarquable de dissoudre une certaine proportion d'air atmosphérique, qui se dégage lorsqu'on la chauffe fortement. Dans chaque litre d'eau que l'on puise à la mer ou aux rivières, une portion d'air est enfermée. L'Océan liquide s'est approprié, en la dissolvant, une petite partie du volume de l'océan aérien, de même que l'océan aérien enlève et s'approprie le résultat de l'évaporation des mers. On savait depuis longtemps que la quantité d'air qui peut être dissoute par un litre d'eau augmente avec la pression à laquelle cette eau est soumise. Or, dans les profondeurs de la mer, la pression doit être énorme. Chaque couche de dix mètres d'eau d'épaisseur équivaut au poids d'une atmosphère. La charge des eaux supérieures augmentant toujours à mesure que l'on descend, la pression devient bientôt immense. Il était donc naturel de penser que la proportion d'air renfermée dans l'eau du fond de la mer serait supérieure à la proportion contenue dans l'eau de la sur-

face. C'est, en effet, ce que l'analyse a démontré. Mais la difficulté était de puiser de l'eau de mer à de grandes profondeurs, et de la ramener à la surface, sans laisser échapper l'air qu'elle contenait et que la diminution de la pression cessait de retenir dans le liquide. *Biot* a imaginé, pour l'expédition de la *Bonite*,



un appareil très-ingénieux qui résout cette difficulté. C'est un vase cylindrique ouvert à son extrémité M, et fermé à son extrémité N. Lorsque ce vase a été descendu au fond de la mer à l'aide du cordon AM, on le retourne sens dessus dessous au moyen du cordon BN, qui sert à le remonter. A l'instant du renversement,

une plaque PP, percée d'une soupape C, descend par son propre poids, et vient fermer l'entrée M du cylindre. La soupape C se referme ensuite, et à mesure que l'appareil remonte, la pression toujours croissante du liquide intérieur ne fait que serrer davantage cette soupape.

Au moyen de cet appareil, on a pu puiser de l'eau depuis la surface de l'Océan jusqu'à plusieurs kilomètres de profondeur. On a pu s'assurer que l'eau de mer offre à peu près la même transparence dans toute sa masse. L'eau pure des mers de l'Inde est d'une transparence remarquable : on distingue le fond de sable blanc à vingt mètres de profondeur. Cette eau est parfaitement incolore ; mais à mesure que l'eau prend une teinte par suite du mélange de quelque substance étrangère, elle perd de sa limpidité. Il y a de grandes zones dans l'Océan qui présentent une teinte verte ou une teinte rougeâtre, parce qu'un nombre immense d'animalcules colorés les habitent. Les rivières qui descendent des pays de montagnes roulent des eaux vertes, qui tiennent en suspension des matières végétales. A leur embouchure, ces eaux vertes tranchent d'une manière remarquable sur la mer, qui réfléchit l'azur du ciel. Mais dans la partie inférieure de leurs cours, beaucoup de fleuves traversent des terrains d'alluvions, et se chargent d'un sable jaunâtre.

Au reste, quelle que soit la transparence des eaux de la mer,

la lumière solaire s'affaiblit rapidement en traversant ses couches. Avant d'arriver à cent mètres de profondeur, elle est devenue complètement insensible, en sorte que les régions inférieures de l'Océan sont plongées dans d'épaisses ténèbres. C'est à cause de cette absence de lumière que les plantes sous-marines qui tapissent le flanc des rochers s'arrêtent à une faible profondeur. Quelques vers polygastriques habitent ces régions obscures. Les animalcules phosphorescents y font leur demeure habituelle, et quand quelque circonstance météorologique attire leurs essaims vers la surface, ils viennent nous donner le magnifique spectacle de la Phosphorescence de la mer. Des milliers d'étincelles jaillissent de la crête des vagues, des globes lumineux roulent sous les eaux. La mer paraît au loin comme une nappe de feu.

La température qui règne dans les régions les plus profondes des mers est peu supérieure au point de congélation de l'eau. On sait que ce liquide a son maximum de densité vers 4 degrés centigrades. La pesanteur spécifique de l'eau augmente à mesure qu'elle se refroidit, jusqu'à ce point de 4°; après quoi la pesanteur spécifique diminue de nouveau jusqu'au moment de la congélation. Or, si l'eau froide est plus pesante que l'eau chaude, il faut que toutes les particules refroidies se précipitent vers le fond. Les eaux froides des régions polaires, celles qui proviennent de la fonte des glaces, se répandent naturellement dans le fond de la mer et non pas à la surface, à cause de leur excès de pesanteur.

Aussi l'expérience a-t-elle constaté que la température décroît à mesure qu'on s'enfonce dans l'Océan ou dans un lac. Cet effet est surtout sensible dans les mers, où les eaux froides peuvent être amenées d'une grande distance. La basse température qui règne dans le fond de l'Océan liquide ressent à peine l'influence du cours des saisons.

Pour mesurer la température des différentes couches de la mer, on a descendu, à des profondeurs inégales, des thermomètres à *minima*, qui indiquent d'eux-mêmes le degré le plus bas auquel ils sont parvenus. On a observé que la température décroît d'autant plus lentement que la mer est plus profonde.

Sur les bas-fonds, le refroidissement de l'eau, avec la profondeur, est extrêmement rapide. Les bas-fonds sont littéralement recouverts d'une couche d'eau froide, soit que les nappes sous-marines qui suivent le fond de la mer s'infléchissent pour passer au-dessus de ces obstacles, soit que la précipitation des particules refroidies soit arrêtée par le voisinage du fond.

La température ne décroît pas seulement, dans le sein des mers, en allant de la surface vers le fond, elle décroît aussi, comme sur toute la superficie du globe, en allant de l'équateur vers les pôles. Mais cette dernière diminution donne lieu, pour l'Océan, à un phénomène particulier, celui des Glaces polaires. Le point de congélation de l'eau de mer, à cause de la salure, est de quelques degrés au-dessous de zéro. L'agitation des eaux retarde aussi la congélation, qui ne s'effectue, en pleine mer, que lorsqu'elle est depuis longtemps accomplie dans les baies tranquilles et le long du rivage.

Les glaces forment vers les deux pôles de la Terre deux espèces de calottes sphériques d'une immense étendue. Chacune de ces calottes se resserre dans la saison qui correspond à son été et se développe de nouveau dans la saison qui lui ramène l'hiver. L'espace occupé par les glaces est plus considérable dans les régions australes que dans les régions boréales. Il faut attribuer cette différence en faveur du pôle nord au voisinage des grands continents qui se prolongent jusque sous l'équateur, et qui transmettent de proche en proche une partie de la chaleur versée sous les tropiques. Les glaces perpétuelles du pôle septentrional ne dépassent guère le 70^e parallèle, tandis que les glaces du pôle sud s'avancent jusqu'au 65^e.

Lorsqu'on se rend des mers tempérées vers les mers polaires, la première apparition que l'on rencontre est celle des glaces flottantes. Des montagnes de glace de dimensions parfois colossales flottent à la surface de la mer. La glace surnage, en effet, en vertu de sa légèreté spécifique ; seulement, comme la densité de la glace n'est pas de beaucoup inférieure à celle de l'eau, il n'y a que la tête de la masse solide qui s'élève au-dessus du niveau des flots, et la plus grande partie de la montagne de glace est cachée sous les eaux. En pénétrant dans des eaux d'une

température plus douce, ces blocs immenses se fondent peu à peu dans leur partie immergée. Il arrive souvent, quand cette partie noyée a été suffisamment amincie, que la tête l'emporte tout à coup par son surcroît de masse, et que le bloc chavire, en troublant au loin le repos des eaux.

Les navigateurs se dirigent, non sans quelque danger, au travers de ces montagnes flottantes que le vent et les courants transportent. Mais, en approchant davantage du pôle, ils rencontrent des champs continus de glaces, qui ferment le passage sur une immense étendue. Ces champs eux-mêmes se détachent au printemps, et voguent, en se fondant peu à peu, vers les régions tempérées. Le craquement de ces glaces, qui éclatent par l'excès du froid, trouble seul le repos de ces tristes parages.

On a vu des glaces flottantes transportées jusque sur les côtes de l'Écosse. Les navires qui font la traversée de Liverpool à Halifax ou à New-York rencontrent quelquefois des glaces perdues. Dans l'hémisphère sud, on en a vu flotter jusqu'au 57° parallèle. La débâcle se fait généralement chaque été. Cependant les glaces s'accumulent souvent pendant plusieurs années, dans les régions reculées ; puis elles se détachent et ouvrent la mer au bout d'un certain intervalle. On a eu en 1819 un exemple d'un de ces grands mouvements des glaces.

Le climat des hautes montagnes rappelle, comme on sait, celui des contrées polaires. Les glaces forment, dans la partie supérieure des hautes vallées, des amas considérables qui portent le nom de Glaciers. Plusieurs de ces glaciers éprouvent un mouvement de transport : leur limite inférieure descend, en refoulant devant elle les arbres et les chalets. On admet aujourd'hui que les glaciers se nourrissent par leur partie supérieure, où se déposent et se congèlent les eaux atmosphériques, et que les tranches de glace descendent peu à peu la vallée, jusqu'à ce qu'elles parviennent, après bien des années, à la limite inférieure, où elles se fondent et s'écoulent en ruisseaux. L'auberge construite sur le glacier de l'Aar est transportée chaque année de quelques mètres vers le bas de la vallée.

Mouvements des eaux. — La mobilité de l'élément liquide lui permet d'obéir à chaque instant aux forces diverses qui le

sollicitent. Les vents, qui ne produisent que des rides sur les pièces d'eau peu considérables, font naître à la surface des mers des Vagues parfois très-puissantes. Les marées se joignent aux vents pour développer la formation des ondes. La surface de l'Océan est dans une agitation perpétuelle et ne présente jamais la surface mathématique de niveau. Il faut cependant faire de grandes différences entre les diverses régions des mers, sous le rapport de l'agitation des vagues. La mer justement nommée Pacifique est plus tranquille et plus unie que l'Océan Austral et que l'Atlantique. Dans l'Atlantique même il existe une zone entre les côtes d'Afrique et celles du Brésil, où la mer est si calme qu'on pourrait la traverser en canot. Dans les grandes tempêtes, les vagues transforment la surface de la mer en une suite de montagnes liquides et de vallées. Ces montagnes, que les navires doivent franchir successivement, peuvent s'élever à plus de dix mètres de hauteur.

L'agitation des vagues est surtout sensible à la surface : le mouvement des eaux s'affaiblit, à mesure que l'on s'enfonce dans les profondeurs de la mer. D'après les recherches qu'*Aimé* a faites dans le port d'Alger, l'eau soulevée qui constitue la vague revient sur elle-même, et décrit, en retombant, la partie inférieure et concave d'une courbe elliptique. Mais à mesure que l'on descend au-dessous de la surface, l'amplitude de ces mouvements diminue : chaque particule d'eau décrit encore une courbe fermée, s'élevant sur la branche supérieure et convexe pendant le passage de l'onde, et redescendant le long de la branche inférieure et concave pendant la période de dépression ; mais les courbes s'aplatissent de plus en plus. Enfin, au fond même de l'eau, les particules n'ont plus qu'un mouvement de va-et-vient ; elles s'avancent dans le sens de l'onde pendant son passage, et retournent à leur position primitive pendant la période d'abaissement qui sépare deux ondes consécutives.

La translation des vagues n'est donc pas, à proprement parler, un transport de la masse des eaux dans une direction donnée ; le relief seul de l'onde voyage, mais l'eau s'exhausse et s'abaisse sur place par une simple oscillation.

Ce mode de propagation des vagues peut donner une idée de

la propagation des marées. Le flot de marée n'est pas autre chose qu'une intumescence produite par une cause extérieure, intumescence qui fait chaque jour deux fois le tour de la planète.

Si la Terre existait seule dans l'espace, et qu'aucune attraction étrangère n'agit sur elle, elle se maintiendrait constamment dans sa figure ellipsoïdale d'équilibre. La surface des eaux appartiendrait constamment à cet ellipsoïde. Mais s'il existe un astre extérieur d'une attraction sensible, la Lune, par exemple, la

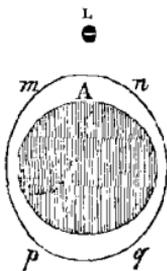


figure d'équilibre est modifiée. Le noyau solide n'obéit pas à cette force nouvelle, parce que toutes ses parties sont liées entre elles. Mais l'Océan liquide, dont les parties sont mobiles, en est nécessairement affecté. La mer prend une figure allongée, dont les deux protubérances sont situées sur la ligne de l'astre attractif. En effet, dans la région A du globe, dont la lune est le plus rapprochée, l'attraction extérieure qui s'exerce sur l'eau est plus puissante que celle qui s'exerce sur le noyau solide, parce que la couche d'eau mn est plus près de la lune L que le centre de la Terre. En vertu de cet excès d'attraction, la mer doit s'élever relativement à ses rivages.

Dans la région opposée, au contraire, l'attraction de la lune sur le noyau solide est supérieure à l'attraction sur la couche d'eau pq, parce que l'astre attirant est plus rapproché du centre de la Terre que de cette couche d'eau. Le rivage doit par conséquent s'y enfoncer sous la mer, et l'effet relatif est encore le même.

La marée n'est donc pas autre chose qu'une protubérance liquide, formée par l'attraction d'un astre. La protubérance occupe à la fois les deux parties opposées de notre globe, et suit toujours, dans son cours apparent, l'astre qui l'a produite.

Le Soleil possède aussi une force suffisante pour soulever les eaux, et pour donner naissance à un flot de marée. Toutefois c'est l'action de la lune qui est prépondérante. La marée solaire, en se combinant avec la marée lunaire, ne fait que la modifier légèrement, soit dans sa puissance, soit dans l'instant de son retour.

Si la densité de la mer était supérieure à la densité moyenne du globe, si l'Océan liquide était formé de mercure par exemple, le flot de marée aurait un transport réel de rotation autour de la planète. Le passage de ce flot gigantesque ravagerait deux fois par jour les terres continentales émergées. Mais, dans les conditions de la nature, ce n'est que le relief du flot qui se transporte, et non l'eau elle-même. Les particules liquides se portent vers le sommet du flot de marée, pour constituer l'intumescence, mais elles retournent à leur position primitive lors de la basse mer. Ces particules oscillent, mais ne se transportent pas.

Dans les lacs et dans les mers de peu d'étendue, la marée est insensible : l'attraction de la lune ne diffère pas assez d'une extrémité à l'autre. Entre l'ancien continent et l'Amérique, *Fitzroy* suppose que l'oscillation des eaux se fait d'un côté à l'autre de l'Atlantique. En pleine mer, les marées sont peu sensibles ; on ne peut les reconnaître que par le sondage. Sur les côtes, le flot subitement arrêté atteint une plus grande élévation ; les marées montent à plus de 20 mètres aux rivages de l'Acadie. Enfin, en s'engageant dans les bras de mer et dans les fleuves, la marée éprouve un retard souvent considérable, par la résistance et les sinuosités des canaux.

Ainsi l'observateur placé sur les bords de la mer voit l'eau s'élever de quelques mètres au-dessus de son niveau moyen, deux fois dans les vingt-quatre heures. La mer reste pleine ou étale pendant quelques minutes, après quoi elle se met à descendre jusqu'au prochain retour du flot. L'élévation de la marée et l'heure précise de son retour dépendent des situations respectives de la lune et du soleil. Les plus hautes marées arrivent à l'époque de la lune nouvelle ou de la lune pleine, parce qu'alors les deux astres agissent simultanément. Les marées les moins considérables tombent, au contraire, dans les quadratures.

Les vagues et les marées ne déplacent pas véritablement les eaux ; elles ne font naître dans la mer que de simples oscillations, tandis que les Courants attestent un véritable mouvement de transport. La distribution de la température doit produire, au sein de l'Océan liquide, une vaste circulation. Nous avons

vu (p. 79) que l'eau froide, par son excès de pesanteur, gagne constamment le fond des mers. L'eau chaude, au contraire, occupe la surface. Dans les régions polaires, l'eau refroidie par le rayonnement se précipite dans les profondeurs de l'Océan. Le vide que cause cette précipitation attire naturellement vers le pôle les eaux chaudes de la surface. Les eaux que le soleil a échauffées sous les tropiques se portent donc par la surface vers les régions polaires, s'y enfoncent dans l'épaisseur de l'Océan à mesure qu'elles se refroidissent, et remontent enfin à la surface sous les tropiques, rappelées par la chaleur du soleil.

Indépendamment de cette circulation intérieure, il existe un grand nombre de courants qui ont des causes particulières. La direction habituelle des vents et la propagation graduelle de la marée tendent à pousser la masse entière des eaux de l'orient vers l'occident. Les variations de la pesanteur spécifique suivant la latitude, la profondeur, la salure, déterminent au sein de l'Océan le mouvement des veines liquides. Ainsi, sous l'influence constante des vents alizés, il existe dans les mers, vers les régions tropicales, un courant dirigé de l'est à l'ouest, que l'on nomme courant équatorial, et dont la vitesse est, suivant *Daussy*, de 18 $\frac{1}{2}$ kilomètres en 24 heures. Ce courant, après avoir traversé les mers de l'Inde, contourne l'extrémité méridionale de l'Afrique, coupe obliquement l'Atlantique, se réfléchit dans le golfe du Mexique, et, sous le nom de Gulf-Stream, traverse une seconde fois cette mer pour venir s'éteindre aux côtes de l'Islande et de la Norwège. Le Gulf-Stream apporte dans nos mers tempérées les eaux chaudes des régions tropicales; on le reconnaît, aussitôt qu'on y pénètre, par l'élévation de la température de l'eau. Au contraire, un courant d'eau froide, qui découle du pôle austral, longe les côtes du Chili et du Pérou, pour se détourner tout à fait vers l'ouest après avoir dépassé la latitude de Payta. Dans l'Atlantique, cinq grandes veines liquides ont établi leur cours régulier : le Gulf-Stream, le courant équatorial, celui du golfe de Guinée, celui des côtes du Brésil, et celui de l'Afrique méridionale. On présume que la masse mobile des eaux a une grande profondeur, car le courant de la côte méridionale d'Afrique s'infléchit sur le banc de Lagullas, par

100 à 130 mètres de fond. Mais ces immenses fleuves océaniques sont séparés par des masses d'eau stagnante.

Les courants ont pour effet immédiat de modifier la température des climats côtiers, dans les régions qu'ils avoisinent. Ils influent puissamment sur le tracé des routes navigables, et sur les relations des peuples. Tout le monde se rappelle que les objets jetés sur les côtes des Açores par une branche bifurquée du Gulf-Stream, furent l'une des plus puissantes incitations de *Colomb* à la traversée de l'Atlantique. Les eaux avaient apporté sur les rivages de Fayal, de la Graciosa et de Flores, des troncs de pins, des cadavres, et même des canots couverts de peaux et remplis d'hommes d'une race inconnue. Des graines tropicales et des corps d'arbres parviennent de temps à autre jusqu'aux côtes de l'Islande, des Hébrides et de la Norvège. Des Esquimaux ont été portés aux Orcades, dans leurs frêles esquifs. On cite même des bafils naufragés, partis du cap Lopez d'Afrique, qui traversèrent l'Océan de l'est à l'ouest, entre les parallèles de 2 et de 12°, au moyen du courant équatorial, et qui revinrent échouer sur les côtes d'Europe, après avoir traversé une seconde fois l'Atlantique, portés par le Gulf-Stream, entre le 43^e et le 55^e degrés de latitude.

Les courants sont maintenant assez étudiés, grâce aux belles recherches du major *Rennel*, pour que les navigateurs ne craignent plus d'être entraînés loin de leur route. Bien que l'on manque en pleine mer de points de comparaison, et que l'on vogue dans ces eaux courantes comme on pourrait le faire dans des eaux fixes, il est cependant possible de reconnaître par des remarques attentives la présence des veines mobiles. Ainsi, par exemple, les paquets d'herbes marines qui flottent à la surface de l'eau ont tous leurs filaments tournés dans le même sens, et dans le silence des calmes on peut distinguer le bruit des filets d'eau qui coulent.

Ces mouvements des eaux sont probablement accompagnés de petites différences de niveau. Le Hollandais *Varenius*, qui a eu l'honneur d'être commenté par *Newton*, soupçonna le premier que les diverses mers qui communiquent entre elles ne sont peut-être pas exactement de niveau. On ne trouve pas de

différence sensible entre l'Atlantique et l'Océan Pacifique des deux côtés de l'Isthme de Panama. La Méditerranée et l'Atlantique sont aussi à peu près au même niveau, aux deux extrémités de la chaîne des Pyrénées. Il en est de même du golfe de Gènes et de l'Adriatique. Mais la mer Rouge, au fond du golfe de Suez, est d'environ 7 mètres plus élevée que la Méditerranée à Alexandrie.

Néanmoins cette différence s'explique lorsqu'on considère que l'alimentation des différentes mers est inégale, que les variations locales de la pression atmosphérique refoulent ou exhausent les eaux, enfin que des courants immenses s'écoulent d'une mer vers l'autre. L'Océan liquide est dans une mobilité et dans une inconstance perpétuelle, bien qu'il tende vers un état d'équilibre stable, dont il ne s'écarte d'ailleurs que dans des limites étroites. Mais par la puissance de sa masse, par son étendue, sa continuité, la communication de ses diverses parties entre elles, c'est le principal agent des phénomènes qui se sont passés et qui se passent encore aujourd'hui sur la surface de notre globe.

CHAPITRE VI.

L'AIR.

Barométrie. — L'océan aérien, qui forme la dernière enveloppe de la planète, offre la plus grande analogie avec l'Océan liquide, dans sa constitution et dans ses mouvements intérieurs. C'est, comme nous l'avons dit (p. 44), une sphère creuse de 70 à 80 kilomètres d'épaisseur, qui repose à la surface des mers et des terres, et dans le sein de laquelle nos montagnes s'élèvent comme des bas-fonds.

L'océan aérien est une sphère gazeuse, formée d'un mélange d'azote et d'oxygène, auxquels se joint une faible proportion d'acide carbonique et de vapeurs ammoniacales. De même que la composition et la salure de la mer sont sensiblement uniformes dans toute son étendue, de même aussi la composition de l'atmosphère est partout à peu près identique. La diffusion des deux gaz principaux qui forment l'enveloppe aérienne est même si complète, que l'on ne remarque pas que l'azote domine dans

les régions supérieures de l'atmosphère, bien qu'il soit un peu plus léger que l'oxygène.

C'est la pression de l'atmosphère qui modère l'évaporation de la mer et qui empêche l'Océan liquide de se réduire spontanément en vapeur. C'est sa pesanteur qui élève l'eau dans les corps de pompe où l'on fait le vide. Cependant, la pesanteur de l'air ne fut bien reconnue et démontrée qu'après l'invention du baromètre par *Torricelli*, disciple de *Galilée*.

Que l'on prenne un tube de verre d'environ un mètre de longueur, fermé par l'une de ses extrémités, qu'on le remplisse



de mercure, puis qu'on le renverse de manière à amener en haut l'extrémité fermée du tube, en bouchant avec le doigt l'extrémité ouverte. Que l'on introduise ensuite l'extrémité inférieure dans une cuvette également remplie de mercure, et que l'on enlève alors le doigt afin de rendre la liberté à la colonne contenue dans le tube.



Le mercure ne descendra point au niveau du liquide de la cuvette : il se soutiendra à sept ou huit décimètres au-dessus de ce niveau, tandis que le vide se fera dans la partie supérieure du tube, qu'on nomme la chambre du baromètre. C'est qu'en effet l'atmosphère exerce librement sa pression sur le liquide de la cuvette, tandis qu'elle ne peut en exercer aucune à la surface supérieure de la colonne contenue dans le tube, parce que ce tube est fermé par en haut. La pesanteur de l'air soutient donc une colonne de mercure de sept ou huit décimètres de hauteur, d'où l'on doit conclure que le poids de la couche aérienne tout entière qui enveloppe le globe équivaut au poids d'une couche de mercure de sept à huit décimètres d'épaisseur.

De même que la pesanteur de l'atmosphère soutient, dans le tube du baromètre, une colonne de mercure de 75 centimètres de hauteur, de même elle est capable de soutenir, dans un corps de pompe où l'on fait le vide, une colonne d'eau équiva-

lant au même poids. Or, comme l'eau est $15 \frac{1}{2}$ fois plus légère que le mercure, la pression atmosphérique refoulera l'eau à une hauteur $15 \frac{1}{2}$ fois plus considérable que celle à laquelle elle refoule ce métal. On sait, en effet, que l'eau s'élève à un peu plus de dix mètres dans les corps de pompe, par la seule pression de l'atmosphère, et qu'elle se soutient à une semblable hauteur dans le baromètre à eau.

Le poids total de la couche aérienne représente donc un peu plus de 10 mètres d'eau, comme il représente 75 centimètres de mercure.

L'invention du baromètre n'a pas eu seulement une grande importance pour l'étude des gaz et des vapeurs, dont elle a permis de mesurer la pression à tout instant; elle a introduit dans la météorologie une donnée nouvelle, celle de la force élastique de l'atmosphère.

Le poids de la couche aérienne étant représenté par une épaisseur de mercure de 75 centimètres, il serait facile de calculer que la pression de l'océan gazeux, au fond duquel nous vivons, est d'un peu plus de mille kilogrammes par mètre carré de surface. Si nous résistons à cette énorme pression, c'est que nos organes sont pénétrés constamment par l'air atmosphérique, qui se fait équilibre à lui-même du dedans au dehors. Mais lorsque nous descendons dans la cloche à plongeur, où la pression s'augmente du poids de toute la couche d'eau que nous laissons au-dessus de nous, l'augmentation de la pression extérieure trouble la circulation du sang et détermine la céphalalgie. Quand on s'élève rapidement en ballon, la diminution de la pression dans les couches supérieures que l'on traverse ne suffit plus à équilibrer la force élastique de l'air contenue dans nos organes; cet air se détend, presse du dedans au dehors, et, entre autres effets, cause à l'aéronaute une surdité momentanée.

Pascal avait compris que la pression atmosphérique que l'on éprouve à la surface du sol est le produit intégral de la pesanteur de toute l'enveloppe aérienne. Il en avait conclu que cette pression doit diminuer à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, parce que, dans chaque couche que l'on atteint, il ne reste plus que la pression des couches situées au-dessus de celle où l'on

observe. L'expérience vint confirmer pleinement les prévisions de *Pascal*. Son beau-frère *Périer*, ayant porté le baromètre au sommet du Puy-de-Dôme par 1465 mètres d'altitude, et au Pied-de-Sancy dans les monts Dorés à 1887 mètres d'élévation au-dessus de la mer, vit que la colonne mercurielle du baromètre se raccourcit à mesure qu'on s'élève.

A chaque couche que l'on atteint, on est débarrassé de la pression de toutes les couches inférieures que l'on a dépassées en s'élevant; et comme l'air atmosphérique est éminemment compressible, les couches inférieures, chargées du poids presque total de l'atmosphère, sont, à égale épaisseur, d'une densité et d'une pesanteur beaucoup plus grandes. Par sa charge propre, par sa compressibilité, l'atmosphère se compose d'une succession de couches concentriques, dont la densité décroît rapidement à partir de la surface des mers. La théorie indique que la pression est déjà réduite de moitié entre 7000 et 8000 mètres de hauteur. L'ascension d'*Alexandre de Humboldt* au Chimborazo, et les voyages aérostatiques de *Brioschi* et de *Cay-Lussac* sont venus confirmer ces calculs.

Il est facile de comprendre, d'après la loi connue du décroissement de la pression à mesure qu'on s'élève, comment le baromètre a pu devenir un instrument de nivellement. Cette diminution régulière équivaut, dans les régions inférieures de l'atmosphère, à dix mètres environ de différence de niveau pour un abaissement d'un millimètre de la colonne de mercure. La relation qui existe entre l'élévation de l'observateur au-dessus de la mer et la pression atmosphérique n'est troublée que par les variations accidentelles de la force élastique de l'air.

On avait reconnu que la température à laquelle l'eau entre en ébullition dépend de la pression atmosphérique qui s'exerce à la surface du liquide. L'eau bout à une température d'autant plus basse que la pression de l'air est moindre. Sur les montagnes, elle entre successivement en ébullition à 90°, à 80°, suivant l'élévation au-dessus de la mer. *Wollaston* avait proposé en conséquence de remplacer, dans les opérations de nivellement le baromètre, qui est un instrument fragile et d'un grand volume, par un thermomètre au moyen duquel on déterminerait le point

d'ébullition de l'eau. Mais, dans ces dernières années, on est parvenu à substituer au baromètre à mercure un baromètre anéroïde d'un très-petit volume et qui ne renferme plus de liquide. Ce baromètre se compose d'une sorte de sphère creuse, en métal, dont on extrait l'air intérieur. Cette sphère vide se trouve alors soumise à la seule pression de l'air extérieur, qui tend à l'écraser, et qui la comprime avec d'autant plus de puissance que la pression est elle-même plus forte. Les déformations de la sphère creuse sont transmises à une aiguille, qui tourne sur un cadran, et qui donne ainsi la mesure de la pression atmosphérique.

Lorsqu'on observe assidûment le baromètre pendant un certain nombre de jours, on reconnaît que la pression de l'atmosphère n'est pas absolument constante. Dans nos climats, elle varie sur l'échelle du baromètre, dans un intervalle d'environ cinq centimètres. Cette amplitude d'oscillation est même dépassée dans quelques circonstances extraordinaires. On peut établir la pression moyenne de l'atmosphère, en chaque lieu du globe, par une série régulière d'observations, comme on le fait pour la température (p. 26).

Il résulte d'observations semblables que la pression atmosphérique au niveau des mers, n'est pas exactement la même par toute l'étendue de la terre. On la trouve un peu moindre sous les tropiques, et un peu plus forte vers les pôles. Cet effet doit être attribué à la force ascensionnelle de l'air chaud, dans les contrées équatoriales, ainsi que nous l'exposons plus loin (p. 98).

Mais lorsqu'on établit séparément les moyennes barométriques pour les différentes heures du jour, on reconnaît dans la pression de l'atmosphère une période réglée. Entre les tropiques surtout, cette période est si régulière que l'on pourrait, en quelque sorte, recourir au baromètre comme à une horloge. En Europe, il suffit d'un mois d'observations horaires pour mettre pleinement en évidence cette période diurne.

Le baromètre atteint son point le plus bas vers quatre heures du matin; il remonte jusqu'à neuf ou dix heures, pour redescendre ensuite jusqu'à quatre heures de l'après-midi. Il se met ensuite à remonter de nouveau, et redescend enfin depuis dix

heures du soir jusqu'au matin. Cette oscillation s'observe par toute la terre, avec quelques variations d'heures et d'amplitude produites par la succession des saisons. La grandeur de ces mouvements va toutefois en s'affaiblissant à mesure qu'on se rapproche des pôles.

Nul doute que la période journalière du baromètre n'ait pour principe, comme celle de l'aiguille aimantée (p. 45), le retour régulier des rayons solaires. Mais faut-il attribuer ces variations périodiques à l'action et à la réaction immédiate de la dilatation de l'air par la chaleur, ou bien faut-il les rapporter avec *Peltier* à l'électricité des courants aériens que la chaleur solaire met en mouvement?

Indépendamment de cette période diurne, le baromètre subit des oscillations accidentelles d'une étendue plus considérable, qui masquent souvent, ainsi que nous venons de le dire, ses variations régulières. Ces hausses et ces baisses accidentelles embrassent des durées inégales, qui vont d'ordinaire à plusieurs jours. Dans nos contrées on estime à dix ou douze jours la durée complète d'une pareille oscillation. On peut se représenter ces mouvements en les comparant aux grandes vagues de la mer. Les ondes atmosphériques sont produites d'une manière à peu près semblable, par la condensation de l'air; et c'est la condensation, et non la masse aérienne entière qui se transmet de proche en proche.

L'océan aérien est soumis comme l'Océan liquide aux fortes attractions de la lune et du soleil. Il doit offrir également le phénomène des marées. Mais en vertu de sa mobilité même et de sa faible densité, le flot de marée y demeure presque insensible. L'expérience n'a pas conduit à découvrir l'existence de ce flot, et la théorie montre, en effet, qu'il ne ferait au baromètre que 48 millièmes de millimètre. On a trouvé seulement que les phases de la lune ne sont pas tout à fait sans action sur l'état moyen de la pression atmosphérique. Les différences restent néanmoins dans des limites excessivement resserrées.

Thermographie atmosphérique. — La distribution de la chaleur au sein de l'atmosphère est la cause principale des mouvements intérieurs qui se produisent dans l'océan aérien. Or la

température de l'air dépend surtout de la nature de la surface sur laquelle il repose, de la température du sol avec lequel il est en contact.

Bien que les rayons solaires soient considérablement affaiblis en traversant l'atmosphère (p. 28), le flux de chaleur pénètre cependant dans toute son épaisseur cette couche gazeuse et diaphane, tandis qu'il ne s'enfonce qu'à une vingtaine de mètres dans le terrain. Les corps opaques absorbent plus de chaleur et de lumière que les corps transparents, qui se laissent au contraire traverser par la lumière et par le calorique. L'air s'échauffe donc très-peu par l'action directe des rayons solaires, tandis qu'il prend facilement, par le contact, la température des masses sur lesquelles il repose.

Or, ces masses elles-mêmes acquièrent pendant le jour des degrés de chaleur inégaux, suivant leur opacité ou leur transparence. Les masses transparentes de la mer ne s'échauffent qu'avec lenteur; mais leur température se conserve mieux durant la nuit, parce que les particules refroidies plongent successivement par leur excès de pesanteur (p. 79). Les masses opaques des continents retiennent, au contraire, à leur surface, toute la chaleur du soleil, et s'échauffent avec rapidité.

L'échauffement du terrain dépend, en outre, de l'état de la superficie, et de la couleur du sol. Dans les contrées marécageuses, une partie de la chaleur solaire est employée à l'évaporation de l'humidité; le terrain s'échauffe plus difficilement. Les terres noires absorbent considérablement de chaleur. Dans nos contrées, un thermomètre enterré en été, et à l'heure la plus chaude du jour, dans une terre végétale noire, monte à plus de 40°. Les sables éclatants exercent une action différente. Comme ils réfléchissent une portion considérable de la chaleur qui frappe leur surface, ils rejettent dans les couches inférieures de l'atmosphère cette chaleur réfléchie. C'est à leur réverbération qu'il faut attribuer l'ardeur excessive de l'air, dans l'intérieur du désert.

En général, la température de l'air qui repose sur la mer est plus constante: elle s'élève moins pendant la journée, et s'abaisse moins pendant la nuit. L'échauffement le plus considérable se

produit à la surface des terres nues et sablonneuses, où la couche d'air inférieure reçoit à la fois la chaleur directe du soleil, et la chaleur renvoyée par la surface réfléchissante du sol. Quant au refroidissement nocturne, accéléré comme on l'a vu (p. 24) par les aspérités et les parties déliées des corps, il est le plus énergique dans les régions boisées, dont le calorique s'échappe par les mille extrémités du feuillage.

Si la couche inférieure de l'océan aérien reçoit principalement sa chaleur de la surface sur laquelle elle repose, il est naturel de penser que la température décroît à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère; et c'est ce que l'expérience confirme en effet. La chaleur communiquée par le sol reste pour la plus grande partie dans les couches d'air inférieures. L'océan aérien présente donc le phénomène inverse de l'Océan liquide, et le maximum de température s'observe à la limite de l'air et des eaux.

Une autre cause concourt à la diminution de la chaleur dans les hautes couches atmosphériques, c'est que la capacité de l'air pour la chaleur augmente à mesure qu'il se dilate. Or, par suite de la diminution de la pression lorsqu'on s'élève, l'air pris à la surface doit occuper un volume d'autant plus considérable que le niveau où il se transporte est plus élevé. En se dilatant, il transforme une plus grande quantité de calorique en chaleur latente, et sa température s'abaisse spontanément.

Le décroissement de la température avec la hauteur offre une marche assez régulière. Dans quelques circonstances atmosphériques exceptionnelles, l'observation a constaté une inversion des températures. Mais pour l'ordinaire, le thermomètre baisse d'un degré centigrade pour 150 à 180 mètres d'élévation.

Le relief de la croûte solide du globe, qui pénètre à des élévations plus ou moins grandes dans l'épaisseur de l'océan aérien, éprouve les effets immédiats de ce décroissement des températures. Les plateaux offrent une température moyenne inférieure à celle des plaines basses et des bords de la mer. La végétation y est plus tardive; les dernières neiges y sont plus persistantes. C'est ainsi que dans nos Ardennes, dont le faite s'élève de 400 à 600 mètres au-dessus de la mer, l'hiver est beaucoup plus ri-

goureux que dans les Flandres, et que la neige reste jusqu'en mai ou en juin sur les Hautes-Fagnes de Spa et de Malmedy.

Au reste, la diminution de la chaleur par l'élévation au-dessus du niveau de la mer est attestée de la manière la plus frappante par le phénomène des neiges perpétuelles. A mesure qu'on s'élève sur le flanc des Alpes, on voit successivement disparaître les plantes les plus délicates. Les arbres fruitiers s'arrêtent les premiers, ainsi que les campagnes cultivées. Les grands arbres, nos hêtres et nos chênes, ne dépassent pas 1000 et 1400 mètres. Les céréales accompagnent l'homme jusqu'à ses plus hautes demeures. Enfin les arbres nains et les plantes herbacées atteignent seuls la limite des glaciers.

La même succession des végétaux et des climats se retrouve sur les flancs des Cordillères, de l'Himalaya et de toutes les grandes montagnes. Le sommet de ces chaînes est couvert de neiges éternelles. La limite de ces neiges montre à l'œil de l'observateur la couche de l'océan aérien dont la température ne s'élève jamais au-dessus de zéro.

Selon la remarque faite pour la première fois par le père d'Acosta, après la découverte de l'Amérique, le niveau de cette couche est d'autant plus élevé qu'on approche davantage de l'équateur. Entre les tropiques, les neiges perpétuelles ne paraissent guère qu'à 5000 mètres d'altitude, tandis qu'elles descendent à 5000 dans les Alpes.

Toutefois, si le refroidissement des couches d'air produit celui des climats, sur les reliefs qui se dressent comme des bas-fonds dans l'océan aérien, ces immenses masses solides réagissent sur la température de l'air. Lorsqu'on s'élève sur un vaste plateau, comme au Mexique ou au Tibet, la chaleur ne décroît pas aussi rapidement que si l'on s'élevait sur un pic isolé ou dans la nacelle d'un aérostat. Ce phénomène n'est nulle part aussi sensible que dans la chaîne de l'Himalaya. Du côté du sud, où les montagnes sont dégagées et s'élèvent immédiatement des plaines basses de l'Inde, les neiges éternelles commencent à 4000 mètres; sur le versant nord, au contraire, qui confine au plateau élevé du Tibet, elles demeurent à plus de 5000 mètres.

Anémographie. — Les vents sont les courants de l'océan

aérien. Pendant que les courants de la mer transportent des graines et du bois flotté, les vents portent au loin les semences ailées et le pollen des fleurs. Ils brassent constamment les régions inférieures de l'atmosphère en restituant le mélange des gaz qui la composent. Mais leur influence consiste surtout à élever ou à abaisser la température, à apporter la sécheresse ou l'humidité. Si la chaleur solaire, régulière et permanente dans ses effets, est l'élément fondamental des climats, les mouvements des masses atmosphériques sont la principale origine des variations passagères.

Il faut considérer dans les vents deux éléments distincts : la direction et la vitesse. La direction est indiquée par la Girouette. Pour plus d'exactitude, on rend mobile la tige ou axe de cet instrument, et l'on peut observer à chaque instant la direction du vent, de l'intérieur même du bâtiment, au moyen d'une aiguille attachée à cette tige, et qui parcourt un cadran.

La direction du courant aérien, indiquée par la girouette, varie presque constamment. Cependant, malgré des oscillations nombreuses, on peut reconnaître que cette direction change en général dans le même sens. Dans notre hémisphère, si le vent soufflait d'abord de l'est et qu'il arrive, au bout d'un certain temps, à souffler de l'ouest, c'est ordinairement par le sud qu'il a passé dans l'intervalle ; et pour revenir à l'est il passera ensuite par le nord. En sorte que la girouette tourne lentement sur elle-même, toujours dans le même sens, accomplissant huit à dix rotations dans une année.

Ce mouvement de la girouette s'exécute dans le sens de la marche apparente du soleil. Pour nous, elle va de l'est au sud, à l'ouest et au nord, pour revenir à son point de départ. Dans l'hémisphère opposé, la direction du mouvement serait inverse.

Mais le temps que la girouette demeure dans le voisinage de chaque point cardinal est fort différent. Tandis que les vents d'est et de sud-est sont rares dans nos climats, les vents d'ouest et de sud-ouest règnent une grande partie de l'année. Dans l'Europe moyenne, c'est le vent d'ouest-sud-ouest qui domine. A la fin de l'année, la masse d'air qui nous entoure s'est réellement transportée dans la direction de l'est-nord-est.

La force du vent dépend essentiellement de sa vitesse. Elle peut croître depuis le calme parfait jusqu'à 60 mètres par seconde. Mais cette vitesse extrême, que l'on n'observe que dans les plus violentes tempêtes, et qui est sept ou huit fois la vitesse des convois ordinaires de nos chemins de fer, est rarement atteinte dans les zones tempérées.

On mesure l'intensité du vent en présentant au courant aérien une plaque d'une certaine surface, qui appuie contre un ressort. La contraction du ressort fait connaître à chaque instant la force du vent. Il existe à l'Observatoire de Bruxelles un Anémomètre complet, qui enregistre mécaniquement, par la trace que laissent deux crayons sur un papier mobile, la direction et la force du vent.

Le résultat le plus remarquable que l'observation de l'intensité du vent ait fourni, c'est que cette intensité est beaucoup plus considérable pendant le jour que pendant la nuit. La force du vent reste faible et à peu près constante depuis la soirée jusqu'au lever du soleil. Elle augmente alors progressivement jusqu'à midi ou une heure, instant où la vitesse du vent est à peu près double de ce qu'elle était pendant la nuit. Puis elle commence à s'affaiblir peu à peu.

Cette période diurne de l'intensité du vent est l'un des signes les plus sensibles auxquels on peut reconnaître, dans la chaleur du soleil, la cause première des mouvements de l'air. Comme d'Alembert l'avait reconnu, c'est en effet la distribution de la chaleur solaire qui est l'origine du système général des vents.

Une vaste circulation existe dans l'atmosphère comme dans la mer. L'air se dilate au contact des surfaces puissamment échauffées des zones tropicales; il acquiert de la légèreté, il s'élève vers les régions supérieures de l'atmosphère. L'existence de cet immense anneau ascendant qui enveloppe l'équateur appelle nécessairement, par le vide formé, l'air froid et plus pesant des régions polaires. Cet air se rend vers les tropiques en rasant la surface du sol. Son mouvement appelle à son tour l'air chaud des régions équatoriales élevées, qui se rend vers les pôles par les parties hautes de l'atmosphère, et qui se précipite à mesure qu'il s'est suffisamment refroidi.

Il existe donc deux courants, ou plutôt deux nappes superposées, dans l'épaisseur de l'atmosphère : une nappe chaude supérieure, qui coule des tropiques vers les pôles; et une nappe froide inférieure, qui revient des pôles vers l'équateur. La première transporte l'électricité résineuse, et la seconde l'électricité vitrée.

La marche régulière de la nappe inférieure donne naissance aux vents alizés. Ces vents seraient dirigés exactement du nord ou du sud, suivant l'hémisphère dans lequel on les observerait, si le globe terrestre était en repos. Mais, en réalité ils soufflent du nord-est dans l'hémisphère septentrional, et du sud-est dans l'hémisphère méridional, à cause du mouvement de rotation de la terre.

L'atmosphère partage sans doute complètement le mouvement de rotation du globe; le choc des objets terrestres contre la masse aérienne serait d'une violence destructive si l'atmosphère ne se mouvait pas avec la terre. Mais les différents parallèles du globe n'ont pas la même vitesse de rotation. La circonférence parcourue chaque jour est beaucoup plus grande à l'équateur que sous les latitudes élevées. Quand l'air des régions polaires s'approche de l'équateur, il rencontre des parallèles dont la vitesse de rotation augmente sans cesse. Et comme il atteint chaque zone successive avec la vitesse qu'il avait prise sous la zone précédente, il est toujours en retard sur la vitesse de rotation du parallèle où il arrive. Les objets terrestres frappent donc cette nappe d'air plus paresseuse dans le sens de la rotation du globe, c'est-à-dire de l'ouest à l'est, et cet effet se combine avec le transport réel de la masse d'air du pôle vers l'équateur.

Les vents de nord-est règnent souvent dans nos contrées. C'est le passage de la nappe froide, qui retourne vers les tropiques. Mais par nos latitudes, la nappe chaude s'est déjà considérablement abaissée, et souvent elle descend jusqu'au sol même. Cette nappe ne nous paraît pas venir directement du sud. Elle a traversé des parallèles plus étendus et d'une plus grande vitesse de rotation. Elle arrive dans nos contrées avec un excès de vitesse dans le sens du mouvement diurne. Ce n'est plus

L'observateur qui frappe de l'ouest à l'est la masse d'air retardée; c'est la masse d'air accélérée qui frappe les objets de l'ouest à l'est. Aussi nos vents dominants ne sont-ils point des vents du sud, mais du sud-ouest.

On vient de voir que dans l'Europe moyenne les deux grandes nappes de la circulation aérienne touchent le sol par intervalles. La pénétration, la combinaison de ces deux nappes, produit la succession régulière des vents. Le vent vient du nord-est lorsque la nappe froide règne sans partage; mais à mesure que la nappe chaude s'abaisse et lutte contre la première, elle introduit des forces composantes qui tendent de plus en plus vers le sud. Lorsqu'elle est victorieuse et qu'elle fait seule ressentir ses effets, le vent souffle du sud-ouest.

En même temps que la distribution de la chaleur sur le globe engendre le système général de la circulation de l'air, les inégalités accidentelles de température donnent naissance à des mouvements locaux dans l'atmosphère. Les brises régulières qui règnent sur les côtes, et qui sont des vents de mer pendant le jour et des vents de terre pendant la nuit, n'ont pas d'autre cause que l'inégal échauffement de l'air qui repose sur la mer, ou sur la terre. Ainsi, pendant le jour la couche aérienne qui se trouve en contact avec le sol s'échauffe bien plus rapidement que celle qui repose sur la mer. Un courant ascendant se forme au-dessus de la terre ferme, et ce mouvement de l'air aspire, comme un foyer d'appel, les masses d'air voisines moins échauffées. L'air se porte de la mer vers la terre.

La nuit, au contraire, le rayonnement calorifique du sol est plus rapide que celui des eaux. L'air en contact avec la terre ferme se refroidit plus rapidement que l'air en contact avec la mer. L'air froid et plus pesant des régions terrestres s'écoule vers la côte, en vertu de la pression qu'il exerce. Le vent vient de la terre.

Un des plus curieux exemples de ces vents réguliers est celui de l'Harmatant (air matant) des côtes de Guinée, qui apporte chaque jour l'atmosphère lourde et suffocante de l'intérieur de l'Afrique.

Un échauffement ou un refroidissement notable de quelque

point des continents détermine pareillement un mouvement local de l'air, mouvement qui se propage à la ronde en s'affaiblissant jusqu'à ce que l'équilibre soit rétabli. S'il se produit un foyer temporaire de chaleur, l'air se raréfie, s'élève, aspire les masses environnantes. Celles-ci se précipitent pour combler le vide formé. Il est à remarquer, dans ces vents d'aspiration, décrits pour la première fois par *Franklin*, que l'air commence à se mouvoir d'autant plus tard qu'on est plus éloigné du centre aspirateur, en sorte que le mouvement se propage dans le sens inverse où le vent souffle.

C'est à des aspirations semblables que sont dus la plupart des ouragans, les tornados des mers du Mexique, les typhons des mers de la Chine. L'électricité se joint aux actions mécaniques pour produire les trombes, qui s'élèvent comme d'immenses colonnes d'eau, tantôt agitées et dévastatrices, tantôt si tranquilles que l'observateur en peut approcher sans danger.

Les foyers de refroidissement offrent des phénomènes opposés à ceux de l'aspiration. L'air refroidi s'écoule de toutes parts par la surface du sol; la pression se transmet de proche en proche, et le vent se propage dans le même sens où il souffle. Il arrive souvent en hiver qu'un pôle temporaire de froid se constitue dans les régions boisées et marécageuses de la Pologne. La température s'abaisse, dans ces contrées, de 6 ou 8° au-dessous de la température normale. Le vent du nord-est nous apporte alors, durant quelques jours, une température glacée.

Hygrométrie et Hyétographie. — La vapeur d'eau dissoute par l'atmosphère joue un rôle important dans les phénomènes météorologiques. La tension de cette vapeur serait capable, à elle seule, de soutenir le baromètre à quelques millimètres de hauteur, en sorte que la pression atmosphérique s'augmente de la pression propre exercée par la vapeur d'eau. Il résulte des expériences récentes de *Regnaut* que la force élastique de la vapeur d'eau qui se développe dans une atmosphère aérienne est sensiblement égale à la force élastique qu'elle acquerrait d'elle-même, hors de la présence de l'air; c'est-à-dire dans le vide et dans un espace clos. La pression barométrique nous en

servons à chaque instant est la somme de la pression de l'air sec et de celle de la vapeur d'eau.

A chaque degré de température correspond une tension particulière que la vapeur prendrait dans le vide et en vase clos. Cette tension décroît avec la chaleur. Elle devient très-faible lorsqu'on approche du point de congélation. Mais elle se continue cependant dans les températures inférieures à zéro. C'est alors la glace même qui s'évapore lentement.

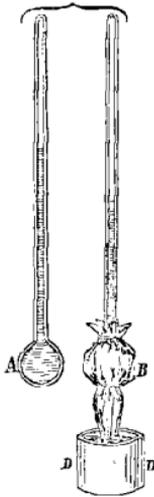
Un mètre cube d'air sec peut se charger d'une quantité de vapeur égale à celle qui se formerait dans un espace vide d'un mètre cube de capacité. Mais il s'en faut de beaucoup que l'atmosphère contienne constamment cette dose limite. Quand l'air renferme toute la quantité de vapeur qu'il peut dissoudre, on dit qu'il est à *saturation*. En général le degré d'humidité de l'air se trouve compris et oscille entre la sécheresse absolue et la saturation.

On a proposé trois méthodes différentes pour déterminer ce degré d'humidité. *Deluc* et *Saussure* employaient des substances susceptibles de s'allonger à mesure que la dose de vapeur augmente, telles que les brins de baleine ou les cheveux, dont ils mesuraient l'allongement en les faisant agir sur un bras de levier. Ces instruments se nomment des *hygromètres*. Ils présentent un défaut capital : c'est que l'allongement des substances hygrométriques n'est pas proportionnel à l'augmentation de la dose de vapeur d'eau.

Le procédé de *Daniel* est plus rigoureux, mais il exige une véritable expérience. Il a pour principe d'amener l'air à saturation en abaissant sa température. On comprend, en effet, que si l'air n'est point saturé, la quantité de vapeur qu'un mètre cube de cet air renferme serait cependant suffisante pour porter à saturation un autre mètre cube d'air pris à une température plus basse. On pourra donc toujours arriver, par un refroidissement suffisant, à saturer une masse d'air qui renferme la vapeur. Or il est facile d'apercevoir, dans une masse d'air qui se refroidit, l'instant où cette masse atteint la saturation ; car toute la vapeur qui excède la dose de saturation doit alors se précipiter, et elle ternit comme la rosée, en se déposant, les

surfaces polies et brillantes. Pour mesurer le degré d'humidité de l'air, on prend donc un vase en argent, on l'emplit d'éther ou de tout autre liquide d'une évaporation rapide, et l'on tient au milieu de ce liquide un petit thermomètre. L'éther, en s'évaporant, se refroidit rapidement; le thermomètre baisse, et les parois du vase éprouvent également l'action réfrigérante du liquide. Tout à coup l'air extérieur, en contact avec ces parois, les ternit en y déposant son humidité. Cet effet se produit à l'instant où l'abaissement de température a amené à saturation l'air qui ne contenait pas, à une température plus élevée, toute la vapeur d'eau dont il était capable. Amener l'air à cette température réduite où commence la précipitation de son humidité, l'amener, comme on dit, au point de rosée, c'est le forcer à accuser d'une manière visible la dose de vapeur transparente qu'il contenait. Comparer la température du point de rosée à celle de l'air libre suffit pour déterminer la proportion actuelle de vapeur d'eau.

Mais l'instrument le plus commode et le plus sûr pour obser-



ver l'humidité de l'air, c'est le *psychomètre* proposé par *August*. Cet instrument se compose de deux thermomètres entièrement semblables, dont l'un, A, a la boule sèche, et dont l'autre, B, a la boule humide. Le premier accuse la température actuelle de l'air; le second se tient toujours à une température inférieure, parce qu'il est refroidi sans cesse par l'évaporation qui s'opère à la surface de la boule. Or, la rapidité de cette évaporation est d'autant plus grande que l'air est plus sec, et par conséquent plus avide d'eau. La différence des températures marquées par les deux thermomètres ira donc en augmentant à mesure que l'air sera plus sec, et l'on tirera de cette différence, par un calcul facile, la proportion d'humidité. Afin d'entre-

tenir sans cesse la fraîcheur à la surface de la boule B, on l'enveloppe d'un linge qui plonge dans une petite cuvette DD remplie d'eau, et qui élève le liquide jusqu'à la boule de l'instrument en vertu de la succion capillaire.

Les observateurs munis d'instruments propres à mesurer le degré d'humidité de l'air ont pu étudier la distribution de la vapeur d'eau dans les différentes couches de l'atmosphère, dans les diverses contrées du globe, et dans toutes les saisons de l'année. On a reconnu que la proportion de vapeur diminue à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. Sur les plateaux élevés, la sécheresse est déjà un obstacle considérable à la végétation. Si nos montagnes étaient de quelques milliers de mètres plus élevées, les neiges perpétuelles se réduiraient elles-mêmes en vapeur, suivant l'opinion de *Bouguer*, à cause de l'excessive sécheresse qui régnerait à cette altitude.

Comme nous l'avons dit (p. 72), la vapeur d'eau se développe surtout dans les régions tropicales, à la faveur de la haute température et des vents réglés. C'est principalement à la surface des mers que l'air se charge d'humidité. Mais si cet air demeure immobile, l'évaporation s'arrête nécessairement lorsque les couches inférieures sont saturées. Si l'air se meut, au contraire, ce n'est plus seulement la masse locale qui se charge de vapeur d'eau, mais la veine mobile tout entière. C'est par une circonstance semblable que les objets humides sèchent plus vite au vent que dans un air tranquille. C'est encore par un effet analogue que les vents produisent d'ordinaire une impression de froid, parce qu'ils activent l'évaporation qui se fait à la surface de la peau.

Puisque l'atmosphère se charge principalement d'humidité lorsqu'elle repose sur la mer, les veines aériennes présenteront des propriétés hygrométriques bien différentes, selon qu'elles auront passé au-dessus de l'Océan ou au-dessus des terres. Les vents maritimes sont des vents humides ; les vents continentaux sont des vents secs. Nos vents d'est, qui ont traversé le continent d'Asie, apportent la sécheresse. Nos vents d'ouest au contraire, qui arrivent de l'Atlantique, viennent répandre l'humidité sur nos contrées. Ils se débarrassent si promptement de l'eau qu'ils tenaient suspendue, qu'arrivés de l'autre côté de l'Oural ils sont déjà des vents secs.

De même les vents qui viennent de l'équateur portent vers les poles l'humidité, les nuages ; tandis que ceux qui viennent des

pôles sont secs et arides. L'air est en général transparent, dans chaque hémisphère, lorsque le vent qui souffle est de la même dénomination que l'hémisphère ; chez nous donc par le vent du nord.

L'action de la température sur l'état hygrométrique de l'air est surtout manifeste dans les périodes annuelle et diurne de l'humidité. La proportion de vapeur augmente en été et diminue en hiver. Elle augmente de même chaque jour, jusqu'à deux ou trois heures de l'après-midi, pour diminuer ensuite, comme la température, jusqu'au lendemain matin.

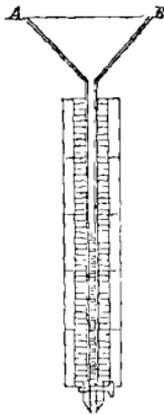
La vapeur transparente que charrie l'atmosphère finit par retourner à l'état liquide. Sa transformation la plus simple s'observe dans le dépôt de la rosée. L'air étant refroidi, la proportion de vapeur qu'il contenait dépasse le point de saturation ; la vapeur excédante repasse à l'état liquide, et mouille les objets sur lesquels elle se dépose, jusqu'à ce que la chaleur du jour vienne rendre à l'atmosphère une plus grande capacité pour la vapeur. Les parties déliées et très-froides des corps, les feuilles, les épis, précipitent pendant la nuit la vapeur d'eau de l'air qui les touche, comme le vase de l'hygromètre de *Daniel*.

Quand l'abaissement de la température de l'air est subit et général, la vapeur peut se précipiter en masse et former le brouillard. On voit souvent des brouillards locaux, dont les contours sont nettement définis, au-dessus des prairies, des rivières, des bas-fonds de l'Océan. Les brouillards ont la même constitution que les nuages, dont nous avons décrit plus haut (p. 73) la suspension.

Pendant la journée, à mesure que l'air s'est échauffé à la surface du sol, il s'élève en vertu de sa légèreté spécifique. En s'élevant il se refroidit (p. 93). Il arrive un instant où la température plus basse, qui est la conséquence du niveau atteint, détermine le point de rosée, la précipitation de la vapeur. On voit alors se former de gros nuages, dont la surface inférieure est parfaitement plane, et marque la tranche de niveau dans laquelle la précipitation commence. Ces nuages ressemblent à des montagnes entassées, posées toutes sur une base plane. Mais lorsque la vapeur se précipite dans des régions plus élevées, dans les courants tout à fait supérieurs de l'atmosphère, les nuages affectent

des formes déliées, et s'orientent dans le sens du courant, comme des mèches flottantes de cheveux.

Après une suspension plus ou moins prolongée, les nuages inférieurs se résolvent en pluie. L'action directe des rayons solaires et les courants brûlants qui s'élèvent des déserts peuvent toutefois les vaporiser de nouveau. La pluie tombe en gouttes de divers volumes, et avec une abondance inégale.



On mesure dans des udomètres l'épaisseur de la couche qu'elle aurait formée à la surface du sol. L'udomètre reçoit la pluie dans un entonnoir qui se termine par un tube gradué. La masse d'eau reçue à la surface AB de l'entonnoir forme dans le tube une colonne dont on peut aisément mesurer l'élevation. Cette élévation est amplifiée dans le rapport des sections de l'entonnoir et du tube.

C'est à l'aide d'instruments semblables que l'on a pu évaluer l'épaisseur annuelle de la couche de pluie. Cette couche est de six à huit décimètres pour la Belgique. Elle atteint un mètre à Marseille et croît en général, à mesure qu'on avance vers les tropiques. Il faut bien remarquer cependant que la couche d'eau pluviale dépend principalement de la proximité de la mer. Il suffit de jeter les yeux sur la carte hyétométrique de l'Atlas de *Berghaus*, où les quantités de pluie sont représentées par l'énergie des teintes, pour reconnaître que les eaux atmosphériques se déchargent surtout sur les côtes; il n'en parvient qu'une faible quantité à l'intérieur des continents.

La pluie nous apporte la température et l'électricité des régions d'où elle provient. Aussi presque toutes les pluies sont-elles plus froides que le sol sur lequel elles tombent. *Quetelet* a trouvé entre l'électricité résineuse et l'électricité vitrée des pluies le rapport de 1 à 4.

Lorsque la température de l'air où la pluie se forme est inférieure au point de congélation, l'eau cristallise et produit la neige. Les petits prismes de glace, qui se réunissent sous des angles de 60 et de 120 degrés, forment des flocons plus ou moins réguliers, d'une blancheur éblouissante,

Dans des circonstances pareilles, mais avec un jeu encore inconnu de l'électricité, se forme la grêle, dont les ravages sont parfois si terribles. *Volta* expliquait l'accroissement progressif des grêlons par leur transport prolongé à travers les couches humides de l'atmosphère. Il supposait que la masse de grêle est quelque temps ballottée entre deux couches de nuages superposées et puissamment électriques. Le bruit que l'on entend souvent dans l'air à l'approche des chutes de grêle s'expliquerait alors par ce transport violent des grêlons.

Du reste, l'électricité paraît jouer un rôle important dans tous les phénomènes de suspension qui se passent au sein de l'atmosphère. Dans les chaudes journées d'été, les nuages dessinent au ciel, dit *Dove*, l'image projetée du terrain au-dessus duquel ils planent. Les cendres des volcans sont transportées parfois à des distances immenses, qui supposent quelque cause particulière de suspension. Ainsi, l'on a vu passer au-dessus de la Barbade, à une hauteur prodigieuse (car le courant marchait en sens inverse de l'alizé), les cendres du volcan de St-Vincent.

Optique atmosphérique. — C'est à travers la couche atmosphérique, qui recouvre la planète comme un voile à demi transparent, que nous recevons la lumière. C'est la couleur propre de l'air qui teint les rayons en un beau bleu d'azur. La coloration ne devient sensible que quand l'épaisseur d'air traversée est considérable. Aussi peut-on juger de la distance relative qui nous sépare des montagnes éloignées, d'après l'intensité de la teinte bleuâtre qui s'interpose.

Le fond bleu de l'atmosphère dessine au-dessus de nos têtes la voûte du ciel, que les anciens comparaient à une tenture élatante. Cette voûte n'est pas autre chose que la sphère aérienne qui enveloppe le globe de la Terre. Quand l'air est bien sec, sa couleur bleue s'assombrit; lorsqu'il est chargé d'humidité, elle blanchit, au contraire, de plus en plus. Les vésicules aqueuses qui sont suspendues dans l'atmosphère renvoient de la lumière blanche, dans laquelle la teinte propre de l'air finit par se fondre. Il est facile d'observer, par les matinées humides, la bande grisâtre que les brumes dessinent au voisinage de l'horizon.

On a imaginé divers appareils, nommés *cyanomètres*, pour

mesurer l'intensité de l'azur du ciel. *Saussure* comparait la coloration de l'atmosphère à des bandes de papier, peintes en bleu au moyen de solutions de plus en plus concentrées, et formant ainsi une échelle de teintes. L'azur du ciel pouvait être assimilé chaque fois à l'un des numéros de l'échelle, et son intensité se trouvait ainsi exprimée en nombres. Mais la difficulté de faire produire à ces solutions diverses des effets d'une progression exactement régulière, a engagé *Arago* à employer un appareil de polarisation (Voyez le Traité de *Physique*), dans lequel le rayon bleu passe, durant la rotation d'un cristal, par toutes les intensités de couleur.

La vapeur d'eau qui blanchit la teinte de l'atmosphère enlève également à notre enveloppe aérienne une partie de sa transparence. Il y a des jours où l'on aperçoit nettement les objets qui sont situés à l'horizon ; tandis qu'à d'autres époques les phares mêmes, obscurcis par le brouillard, ne peuvent plus être distingués à quelques kilomètres de distance. Les nuits sont si claires sur l'Océan Pacifique, que les navigateurs les comparent à nos clairs de lune, vers le temps du premier quartier. *Alexandre Burnes* parle avec admiration de la transparence de l'atmosphère dans la contrée de Bokhara.

Saussure mesurait le degré de transparence de l'air par une méthode très-ingénieuse. Il s'éloignait d'un disque de papier blanc, placé sur un fond noir, jusqu'à ce qu'il perdît le disque de vue. Il remplaçait ensuite ce premier cercle blanc par un second disque d'un diamètre double. Si la transparence de l'air eût été parfaite, il aurait cessé de distinguer le second disque à une distance double de la première. Mais toujours il le perdait auparavant, parce que la couche d'air interposée, en augmentant d'épaisseur, affaiblissait de plus en plus les rayons lumineux. Le rapport de la seconde distance à la première donnait donc la mesure de la diaphanéité actuelle de l'air.

La lumière qui pénètre dans l'atmosphère éprouve, comme dans tous les milieux, une réfraction et une réflexion. Par la réfraction, les rayons se brisent et s'infléchissent : ils nous font paraître les objets dans une direction quelque peu différente de celle qu'ils occupent réellement. Par l'effet de la réfraction at-

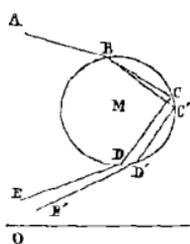
mosphérique, les astres se lèvent un peu plus tôt et se couchent un peu plus tard. Les objets terrestres les plus éloignés paraissent un peu plus exhaussés qu'ils ne le sont en réalité. La réfraction est surtout très-sensible dans le voisinage de l'horizon, et elle acquiert, dans certaines circonstances atmosphériques, une intensité remarquable. C'est ainsi que dans nos polders, par un commencement de brouillard, le terrain paraît, dans l'éloignement, presque au même niveau que le sommet des digues. C'est à la faveur de ces fortes réfractions que l'on a quelquefois aperçu du haut du Mont-Trinité, près de Tournai, la flèche de la cathédrale d'Anvers, qui resterait toujours cachée par la rondeur de la terre, si le rayon lumineux n'était pas détourné.

La réflexion qui s'opère sur les particules d'air transmet également la lumière dans les lieux où elle n'arriverait pas directement. C'est cette réflexion qui donne naissance aux crépuscules. Le matin, avant que le soleil soit visible pour l'observateur placé à la surface du globe solide, les rayons lumineux atteignent déjà les hautes régions de l'atmosphère, au-dessus de la tête de l'observateur. Ces hautes régions réfléchissent vers le sol une partie de la lumière qui les illumine. Si l'air des régions supérieures n'était pas éclairé avant l'observateur, et ne réfléchissait pas la lumière, le lever du soleil ne serait pas précédé de l'aurore. La lumière des crépuscules n'est que la lumière solaire, réfléchié par les couches supérieures de l'enveloppe aérienne; et c'est la durée des crépuscules, observée déjà par *Al-Hazen*, qui a servi à calculer l'élévation des dernières particules d'air réfléchissantes.

Quand la densité de deux couches d'air superposées varie brusquement, la surface de séparation de ces deux couches produit l'effet d'un miroir. La nappe fortement échauffée qui repose immédiatement sur le sable du désert, renvoie l'image des objets supérieurs qui s'élèvent au-dessus de son niveau. Il semble de loit que les hommes, les animaux, les palmiers, soient au milieu d'une nappe d'eau. On distingue auprès de chaque objet son image renversée, et cette image se forme par réflexion à la surface d'une couche d'air qui recouvre le sol, comme elle se formerait à la surface de l'eau. C'est le phénomène du mirage, si fréquent en Libye, et déjà mentionné par *Diodore*.

La réfraction et la réflexion de la lumière donnent également naissance à des phénomènes fort remarquables, lorsqu'elles ont pour siège les vésicules d'eau suspendues dans l'atmosphère, ou les petits cristaux glacés dans lesquels ces vésicules se transforment à une élévation suffisante.

Dans les gouttes d'eau sphériques, la lumière se décompose dans ses rayons primitifs, et produit le phénomène remarquable de l'Arc-en-ciel, un des premiers objets d'admiration des peuples pasteurs. La lumière blanche du soleil, en pénétrant dans la petite sphère aqueuse *M*, se réfracte et se décompose. Le rayon *AB* s'infléchit légèrement suivant *BC*, et comme l'inflexion n'est pas la même pour tous les rayons élémentaires qui étaient réunis dans le faisceau de lumière blanche, les rayons colorés se séparent et forment le pinceau *BC'*. A la surface intérieure de



la petite sphère d'eau, la lumière se réfléchit suivant *CD*, puis au sortir de la sphère elle éprouve une seconde réfraction qui sépare encore davantage les rayons des différentes couleurs. Le pinceau *CC' D'D* parvient alors vers le sol, dans la direction *EE'*, en s'épanouissant de plus en plus. Les gouttes d'eau font sur la lumière l'effet du prisme. L'observateur placé en *O* reçoit les rayons du soleil après leur réflexion et leur décomposition. Et comme le même phénomène s'opère dans toutes les petites sphères aqueuses qui se trouvent dans les mêmes situations relatives par rapport au soleil et à l'observateur, nous apercevons dans l'air un arc immense coloré.

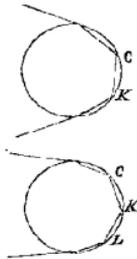
Antonio de Dominis acquit le premier la certitude de l'origine hydroscopique de l'arc-en-ciel, en élevant successivement devant lui de petites sphères en verre, tandis qu'il tournait le dos au soleil. Il vit que, dans des positions convenables pour renvoyer les rayons lumineux, ces sphères se coloraient des teintes brillantes de l'arc-en-ciel, et reproduisaient, dans le cabinet, le phénomène de la nature.

Il résulte de la théorie de l'arc-en-ciel que ce phénomène est toujours situé dans la partie de l'horizon opposée à celle que le

soleil occupe. L'arc est complet ou brisé suivant l'étendue des régions aériennes dans lesquelles les circonstances atmosphériques nécessaires à sa production sont satisfaites. Il peut même arriver que le cercle entier devienne visible, et que l'arc-en-ciel, prolongé par sa partie inférieure qui s'interpose devant les objets terrestres, vienne se fermer aux pieds de l'observateur.

L'arc-en-ciel étant un phénomène de position, qui n'a pas d'existence réelle dans l'espace, chaque observateur voit son arc-en-ciel particulier dans des gouttelettes d'eau différentes.

Au reste, si l'arc-en-ciel le plus brillant et le plus remarquable est produit par une seule réflexion en C (figure précédente) de la lumière solaire dans l'intérieur de la sphère aqueuse, il peut exister d'autres arcs colorés, formés par la lumière réfléchi deux, trois, quatre fois, etc., à l'intérieur de la sphère. Le rayon solaire réfléchi en C, puis en K, avant de sortir de la gouttelette, donne naissance à l'arc-en-ciel secondaire; le rayon réfléchi en C, en K et en L produit l'arc-en-ciel tertiaire, et ainsi de suite. On peut souvent reconnaître avec un peu d'attention deux arcs-en-ciel concentriques.

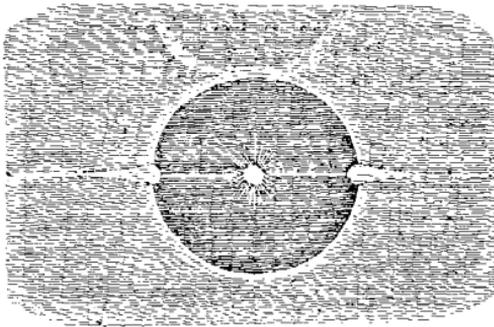


Dans les hautes régions de l'air, l'eau soutenue dans l'atmosphère se congèle, à cause de l'abaissement de la température; elle prend alors la forme de petites aiguilles de glace innombrables. Ces aiguilles, examinées au microscope, offrent la figure de prismes hexagonaux, et cette forme prismatique est celle dans laquelle la cristallisation naturelle de l'eau s'opère. Ces milliers d'aiguilles dévient, par leur réfraction, la lumière qui les traverse, et donnent naissance à des cercles éclatants, nommés *halos*, autour du soleil ou de la lune. Pour comprendre la formation de ces cercles, il faut se rappeler que les rayons réfractés qui sortent d'un prisme prennent une direction déterminée, qui dépend de la situation relative du prisme et du rayon incident. A mesure que cette situation change, le rayon réfracté change également de direction, mais avec une rapidité variable. Sous une certaine position du prisme, il faut imprimer à ce prisme de grands mouvements pour déplacer d'une quantité sensible le rayon réfracté. Les aiguilles de glace qui

flottent dans l'atmosphère sont tournées en tous sens, et réfractent par conséquent dans toutes les directions la lumière qui les traverse ; mais toutes celles qui se rapprocheront de cette position particulière dont nous venons de parler enverront les rayons dans des directions fort peu différentes ; en sorte que la lumière qui aura passé par ces prismes sera renforcée, à cause de son accumulation vers une même direction, tandis que celle qui passe par les prismes différemment tournés se disperse et s'affaiblit.

Au reste, les halos ne se composent pas seulement de cercles concentriques au soleil ou à la lune, mais aussi d'autres cercles, qui coupent les premiers, parallèles à l'horizon. Aux intersections de ces cercles lumineux brillent les faux soleils ou *parhélies* et les fausses lunes ou *parasélènes*.

La condition essentielle de la production des halos est, comme on vient de le voir, l'existence de cristaux glacés dans l'atmosphère.



Cette condition est souvent satisfaite à la fois dans une région fort étendue, et l'on observe simultanément le halo dans des localités éloignées entre elles. Ce phénomène est d'ailleurs plus fréquent qu'on ne le

pense communément. Il n'est pas rare de l'apercevoir en regardant le soleil par réflexion, sur un verre noirci, lorsque quelques filaments blanchâtres de nuages se souliennent dans les hautes régions d'une atmosphère sereine.

CONCLUSION.



Tous les grands phénomènes de la physique du globe concourent, en chaque point de la terre, à former le climat. C'est le climat qui règle les productions et les cultures, qui arrête la propagation des plantes, qui s'oppose aux migrations des animaux; par suite, c'est aussi le climat qui détermine les travaux de l'homme. Chaque grande région naturelle du globe présente un type propre, des produits originaux et une industrie distincte.

Différentes causes concourent à l'adoucissement du climat.

En vertu de ce fait que les terres s'échauffent plus que l'eau, les vents qui ont passé au-dessus des masses continentales apportent relativement plus de chaleur. La température augmente, dans notre hémisphère, quand les vents du sud ont traversé une grande étendue de continents. C'est ainsi que l'occident de l'Europe, qui reçoit des vents du sud qui ont passé au-dessus des régions brûlantes de l'Afrique, est plus tempéré que la Chine, dont les vents du midi viennent de la mer (voyez p. 33).

Les courants de l'Océan, qui traversent différentes zones en conservant une partie de leur température, concourent aussi à modifier les climats. C'est à l'influence de la grande veine liquide du gulfstream formée dans les mers chaudes du Mexique, et qui

vient mourir sur les côtes des îles Britanniques et de la Norvège, qu'il faut attribuer la douceur des hivers dans ces contrées. Dans certaines parties du Cornouailles et du Devonshire, les myrtes, les camelias, les fuchsias passent l'hiver en pleine terre, bien que leurs fruits ne mûrissent pas en été.

Les courants de l'atmosphère ou les vents influent puissamment sur la distribution de la température. Le courant supérieur du sud-ouest, qui vient des régions tropicales, réchauffe nos climats. Sur les côtes occidentales, c'est un vent de mer, chargé d'humidité, dans lequel le refroidissement forme des nuages aussitôt qu'il pénètre au-dessus du continent. Ces nuages s'opposent au rayonnement nocturne (voyez p. 24), et adoucissent ainsi les froids de l'hiver. Sur les côtes orientales, au contraire, les vents du sud-ouest sont des vents de terre, des vents secs, par lesquels l'atmosphère reste sereine.

La nature du terrain est une dernière cause d'inflexion des lignes isothermes. Les contrées sèches sont plus chaudes que les contrées marécageuses, dans lesquelles l'évaporation des eaux absorbe une portion de la chaleur. Les contrées cultivées sont plus chaudes que les contrées boisées, parce que les masses de feuillage développent l'évaporation pendant le jour et rayonnent le calorique avec force pendant la nuit. Sur les côtes septentrionales de la Sibérie, le rivage est plus libre et les glaces sont moins persistantes le long des parties qui ont reçu quelque culture. Les forêts ont aussi pour effet d'accroître la circulation des eaux en augmentant l'évaporation, et par suite la quantité de pluie. Les rivières, suivant une remarque déjà faite par *Linné*, sont plus nombreuses et plus abondantes dans les contrées sauvages que dans les contrées cultivées.

Si la température est adoucie par le confinement à des terres tropicales, par l'exposition à des courants chauds de la mer, par le contact de la nappe atmosphérique qui marche de l'équateur vers les pôles, enfin par un sol desséché et cultivé, la température est, au contraire, abaissée par les conditions inverses. De là les inflexions des lignes isothermes, et les différences des climats à égalité de latitude. Le degré de l'humidité, la direction dominante des vents, concourent encore à diversifier les climats.

Nous sommes conduits ainsi à entrer dans une foule de considérations locales, dont il faudrait chercher pour chaque point l'effet résultant. Mais quand on examine les phénomènes de la physique du globe dans leur ensemble, ce qui nous frappe c'est la vaste circulation qui existe dans l'atmosphère et dans la mer. Au moyen de cette circulation, chacune de ces enveloppes est continuellement brassée, et les altérations locales de sa constitution s'effacent. C'est ainsi que l'atmosphère de nos villes est purifiée sans cesse par les vents qui apportent l'air des campagnes. En même temps, les nappes mobiles qui se meuvent dans l'air et dans l'eau réchauffent les régions polaires en y transportant la chaleur des tropiques, et tempèrent les contrées équatoriales en y portant la fraîcheur des hautes latitudes. L'effet de cette grande circulation au sein des éléments fluides est donc de rétablir l'ordre troublé, de s'opposer aux écarts extrêmes, et de faire régner une certaine unité sur toute la surface du globe.

Mais à cette circulation de l'équateur aux pôles et des pôles à l'équateur, il s'en joint une autre, fort remarquable, qui s'accomplit dans le sens opposé à la rotation de la terre, et qui suit ainsi la marche apparente du soleil. Chaque jour le soleil verse un flux de chaleur sur notre globe; ce flux de chaleur tombe successivement sur toutes les parties éclairées de la terre. Tous les thermomètres montent et s'abaissent dans le cours des vingt-quatre heures à commencer par ceux qui sont à l'orient. Ce mouvement se propage selon la marche apparente du soleil.

A mesure que la température monte, la vapeur d'eau se forme, le vent s'élève. Le baromètre lui-même, par des causes encore peu certaines, atteste une oscillation périodique dans la pression de l'air. Cette oscillation se propage aussi, à la suite du soleil, de l'orient vers l'occident. Sous l'influence du flux diurne de chaleur, les courants électriques se développent dans les couches supérieures du terrain, et les aiguilles aimantées se déplacent toutes tour à tour, dans le cours d'une journée, à commencer encore par celles qui sont à l'orient.

On peut donc voir se propager sur le globe, de l'est à l'ouest, avec la lumière que verse le soleil, toutes les altérations périodiques de chaque jour, dans la température, dans la quantité de

vapeur, dans la pression atmosphérique, dans l'électricité de l'air, dans la force du vent, dans les mouvements réguliers de l'aiguille aimantée. Et comme ces variations périodiques, qui suivent le soleil, dérivent toutes directement ou indirectement du flux de chaleur versé par cet astre, on observe généralement qu'elles sont moins prononcées en hiver qu'en été, aux pôles qu'à l'équateur.

Ces variations périodiques reparaissent et s'effacent chaque jour. Mais les vents alizés et le courant équatorial de l'Océan sont des mouvements durables, permanents, qui s'accomplissent également dans le sens de la marche du soleil. Les vents alizés (voyez p. 99) sont la nappe inférieure de l'atmosphère, dont le mouvement se combine avec l'effet de la rotation de la terre. Sous leur influence et sous celle du flot de marée, les masses d'eau tropicales sont poussées d'orient en occident, et forment le grand courant équatorial (voyez p. 85). C'est ce courant, dans les temps primitifs du monde, à une époque où les phénomènes s'exerçaient avec plus de rudesse, qui a rongé les côtes orientales des continents. Les îles des mers de la Chine, les Antilles avec leurs dispositions allongées de l'est à l'ouest, sont les restes de cette antique érosion.

La marche de la civilisation elle-même semble suivre le même sens de propagation. L'Asie, dit *Ch. Ritter*, regarde lever le soleil, c'est l'enfance; l'Europe le regarde coucher, c'est la vieillesse.

La circulation de nos deux éléments mobiles, l'air et l'eau, moins puissante sans doute qu'elle ne l'était autrefois, suffit cependant à lier toutes les parties entre elles. Elle fournit à l'intérieur des continents l'humidité nécessaire aux végétaux; elle pousse et transporte nos vaisseaux; elle protège la vie organique et l'activité de l'homme sur toute la surface de la planète.

NOTE

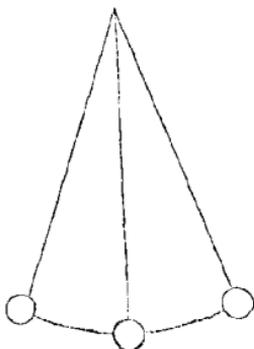
SUR L'EXPÉRIENCE DE M. FOUCAULT

DÉMONTRANT LA ROTATION DE LA TERRE

(AJOUTÉE PENDANT L'IMPRESSION).



Depuis l'apparition du traité d'*Astronomie*, et pendant l'impression de ce petit volume, M. *Foucault* a fait connaître une expérience des plus intéressantes, qui rend la rotation de la terre sensible à l'œil. Nous avons pensé que nos lecteurs en trouveraient ici l'exposé sommaire avec plaisir.

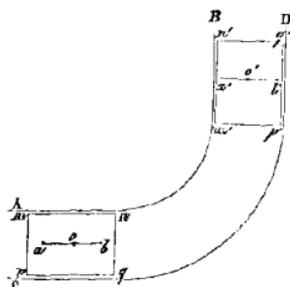


Prenons un pendule formé d'une boule pesante suspendue à un fil flexible d'une certaine longueur, et mettons ce pendule en oscillation en l'écartant de sa position de repos, puis en le lâchant tout à coup. La direction marquée par les deux points extrêmes de la courbe du pendule est ce que l'on appelle la direction des oscillations.

On peut faire osciller un pendule dans une direction quelconque, qui dépend uniquement du sens dans lequel on a écarté la boule au commencement de l'expérience. Or, d'après une pro-

priété générale de la matière, en vertu de laquelle la matière ne peut pas prendre de mouvement par elle-même, les oscillations étant une fois commencées dans un certain sens, il faudra que cette direction demeure invariable dans l'espace aussi longtemps que le pendule restera en mouvement. Par conséquent, si l'enceinte au milieu de laquelle le pendule oscille tourne sur elle-même, le sens des oscillations, qui ne varie pas dans l'espace, répondra successivement à des points différents de cette enceinte.

On peut faire aisément cette expérience sur un chemin de fer, au moment du passage d'une courbe. Supposons que AB , CD représentent les deux lignes de rails d'un chemin de fer. Dans la voiture $mnpq$ suspendons au-dessus du point o une boule pesante, et mettons ce pendule en oscillation dans le sens ab .



Quand la voiture aura passé la courbe et sera arrivée en $m'n'p'q'$, le pendule continuera à osciller dans le sens $a'b'$ parallèle à ab , parce que la voiture seule a tourné par l'application d'une force

extérieure, tandis que le pendule, qui oscillait en liberté a gardé invariablement sa direction première. Le sens absolu des oscillations est le même ; mais, depuis la conversion de l'enceinte où il est suspendu, le pendule oscille transversalement au lieu d'osciller longitudinalement.

Cette expérience bien simple est l'image exacte de celle de M. *Foucault* : seulement au lieu d'un waggon il faut prendre le globe même de la terre. Supposons-nous debout au pôle de la sphère terrestre. Par l'effet de la rotation du globe, nos yeux parcourront en vingt-quatre heures toute une circonférence de l'enceinte étoilée. Au-dessus de ce même point du pôle, suspendons un pendule et mettons-le en oscillation. Les oscillations conserveront invariablement leur direction primitive, pendant que tous les objets fixés à la terre tourneront autour du pôle. Si l'on opère, par exemple, à l'intérieur d'un édifice, les différentes

murailles de l'édifice viendront successivement dans les vingt quatre heures, se présenter dans la direction des oscillations du pendule. Si, à l'instant de midi, les oscillations étaient dirigées au soleil, elles ne cesseraient pas pendant tout le jour de se diriger à cet astre qu'elles sembleraient suivre dans leur déplacement apparent.

Sous l'équateur on ne pourrait pas répéter la même expérience. Ici la rotation ne s'accomplit pas autour de la verticale, mais perpendiculairement à cette droite. Le mouvement du pendule ne peut donc pas manifester la rotation de la terre, et les oscillations restent constamment dirigées aux mêmes objets terrestres.

Entre le pôle et l'équateur, la vitesse du déplacement apparent décroît progressivement. Au pôle seul l'édifice qui renferme le pendule décrit exactement un tour en vingt-quatre heures. Par nos latitudes, il faut plus de trente heures à l'édifice pour accomplir sa rotation autour du pendule.

Ainsi se trouve confirmé de nouveau le mouvement diurne de la terre autour de son axe, qui ramène la succession du jour et de la nuit. Ce mouvement est rendu sensible à l'œil. Il suffit de laisser osciller un pendule en pleine liberté. Si les balanciers de nos horloges ne nous ont pas mis sous les yeux depuis longtemps ce phénomène, c'est parce qu'ils sont liés par des tiges au corps de l'ouvrage, et qu'ils n'oscillent pas librement.