nière permanente, les rayons d'une source puissante, telle que la lumière électrique, ou mieux encore du soleil (fig. 1090). Ces rayons sont concentrés par une lentille A sur le miroir plan, et, après leur réflexion, ils sont rendus parallèles par une lentille B, convenablement placée, et viennent alors tomber sur le miroir aplanétique M, qui les concentre à son tour sur le sélénium S, placé en son foyer. Tant que la plaque est en repos, le faisceau lumineux est transmis sans la moindre variation d'intensité ; dès qu'on parle dans l'embouchure E du transmetteur, les vibrations de la voix impriment au miroir plan des déplacements et des changements de forme qui produisent des variations correspondantes dans l'intensité du faisceau réfléchi.

Cet appareil reproduit avec une grande netteté soit la parole articulée, soit les airs de musique ; mais la distance à laquelle il a pu jusqu'ici fonctionner est très faible, même quand on emploie la lumière solaire. Il est évident, en outre, qu'il ne peut servir dans les cas où il n'y a pas de corps opaque interposé entre les deux stations. Ces graves inconvénients compensent largement l'économie qu'on réalise par la suppression des fils de ligne : de sorte que les photophones, si intéressants au point de vue théorique, n'auront probablement dans la pratique qu'un emploi très limité.

MÉTÉOROLOGIE

ET

CLIMATOLOGIE

CHAPITRE PREMIER

MÉTÉORES.

1165. **Objet de la météorologie.** — On nomme *météores* les phénomènes qui se produisent dans l'atmosphère, et *météorologie* la partie de la physique qui a pour objet l'étude des météores.

Les météores se divisent en : 1° *météores aériens :* les vents, les cyclones, les tornados, les trombes ; 2° *météores aqueux :* les nuages, les brouillards, la pluie, la rosée, le serein, la neige, la grêle ; 3° *météores électriques :* les orages, la foudre, les aurores boréales, et 4° *météores lumineux :* l'arc-en-ciel, les halos, les parhélies.

La météorologie est une application de la physique aux phénomènes de l'atmosphère. Elle a reçu d'importants développements depuis une trentaine d'années, et elle offre aujourd'hui au marin, à l'agriculteur, à l'hygiéniste, des applications d'un haut intérêt.

MÉTÉORES AÉRIENS.

1166. **Vents, leur cause.** — Les *vents* sont des courants aériens qui ont pour cause des différences de température et par suite de densité entre des régions de l'atmosphère plus ou moins distantes. L'air échauffé au contact du sol s'élevant par le même effet que les gaz de la combustion dans nos cheminées, il se produit une convection semblable à celle qu'on a vue se former dans les liquides chauffés par leur partie inférieure. De là des courants ascendants d'abord ; puis, se dilatant à mesure que la pression diminue, l'air se refroidit et cesse de s'élever. Les courants deviennent alors horizontaux et se dirigent, dans les hautes régions de l'atmosphère, des régions chaudes vers les régions froides ; ce sont des *vents d'impulsion*. Au contraire, dans les basses régions, l'air chaud qui s'élève faisant appel comme dans le tirage des cheminées, des courants se produisent des parties froides vers les parties chaudes ; ce sont les *vents d'aspiration*.

1167. **Direction et vitesse des vents.** — Quoique les vents soufflent dans toutes les directions, on en distingue huit principales, qui sont le *nord*, le *nord-est*, l'*est*, le *sud-est*, le *sud*, le *sud-ouest*, l'*ouest* et le *nord-ouest*. Les

marins partagent en outre les intervalles entre ces 8 directions en 4, ce qui fait en tout 32 directions, qu'on distingue respectivement sous le nom de *rumbs*. Le tracé de ces 32 rumbs sur un cercle, en forme d'étoile, est connu sous le nom de *rose des vents*.

La direction du vent se détermine à l'aide de girouettes; quant à sa vitesse, elle se mesure au moyen de l'*anémomètre*. On nomme ainsi un petit moulinet à ailettes que le vent fait tourner; du nombre de tours faits en un temps donné on déduit la vitesse. Dans nos climats, la vitesse moyenne est de 5 à 6 mètres par seconde. Avec une vitesse de 2 mètres, le vent est modéré; avec 10 mètres, il est frais; avec 20 mètres, il est fort; de 25 à 30 mètres, il y a tempête; et de 30 à 40 mètres, ouragan.

1168. **Vents réguliers ou alizés.** — On nomme *vents réguliers* des vents qui soufflent toute l'année dans une direction constante. Ces vents, connus aussi sous le nom de *vents alizés*, s'observent loin des côtes, sans interruption, dans la zone torride, soufflant du nord-est au sud-ouest dans l'hémisphère boréal, et du sud-est au nord-ouest dans l'hémisphère austral. Ils règnent, des deux côtés de l'équateur, jusqu'à 30 degrés de latitude.

Les vents alizés ont pour cause l'aspiration permanente qui se produit sous l'équateur par suite du fort échauffement de l'air à la surface des continents et des mers. Au-dessus de celle-ci l'air est en outre presque saturé de vapeurs d'eau qui en diminuent la densité. Par cette double cause, la pression est toujours moindre dans les régions équatoriales que dans les régions nord et sud, et de là, dans chaque hémisphère, deux courants de sens contraires : l'un d'air chaud, dirigé de l'équateur vers le pôle, et occupant les hautes régions de l'atmosphère; l'autre, d'air froid, dirigé du pôle vers l'équateur, et occupant les régions inférieures, à cause de sa plus grande densité. Si la terre était immobile, ces courants avanceraient en chaque point suivant un méridien; mais il n'en peut être ainsi, à cause de la rotation de la terre de l'occident vers l'orient. En effet, l'atmosphère participant à ce mouvement, à mesure que le courant parti du pôle avance vers le sud, il pénètre dans des couches d'air animées d'une vitesse de rotation plus grande que la sienne; il avance donc vers l'orient plus lentement que les couches qu'il traverse. Par suite, il s'infléchit vers l'ouest d'autant plus qu'il approche davantage de l'équateur, et de là un vent soufflant du nord-est. En résumé, le courant polaire souffle d'abord du nord, puis du nord-est, et enfin de l'est; telle est, dans les deux hémisphères, l'origine des vents alizés.

Dans les hautes régions de l'atmosphère, un phénomène semblable se produit, mais en sens contraire : le courant parti de l'équateur, en avançant vers le nord, va toujours, à cause de sa plus grande vitesse, en s'inclinant vers l'est, et tend à se transformer de plus en plus en vent d'ouest, de sud qu'il est d'abord; c'est l'*alizé supérieur*, ou *contre-alizé*.

Dans le cas où la terre ne tournerait pas sur son axe et où l'échauffement serait le même au nord et au sud de l'équateur, la figure 1091 montre la marche des alizés et des contre-alizés dans les deux hémisphères. N et S étant les deux pôles de la terre, OE l'équateur, T et T′ les tropiques, la nappe ascendante se produit en C dans la région équatoriale, et, arrivée dans les hautes régions de l'atmosphère, elle se partage en deux nappes A, A′, l'une vers le nord, l'autre vers le sud, lesquelles se rapprochent de la terre à mesure qu'elles se refroidissent : ce sont les contre-alizés. Puis, dans la partie inférieure de l'atmosphère, par suite de l'appel de la nappe ascendante C, il se produit deux nappes B, B′, allant des zones tempérées vers l'équateur : ce sont les alizés proprement dits.

En C, le courant ascendant qui lie l'alizé au contre-alizé est bien déterminé et n'éprouve que de légers déplacements vers le nord ou vers le sud, suivant les saisons et suivant qu'il se forme au-dessus des mers ou au-dessus des continents. Le courant descendant qui, dans chaque hémisphère, relie l'alizé supérieur à l'alizé inférieur n'est pas aussi bien limité : après avoir dépassé le tropique, le contre-alizé ne se rabat pas en entier pour joindre l'alizé inférieur; une partie seulement revient vers l'équateur, tandis que l'autre continue à avancer vers le pôle jusqu'à une latitude assez élevée, comme le représentent les lignes ponctuées de la figure. Il existe donc en réalité, dans chaque

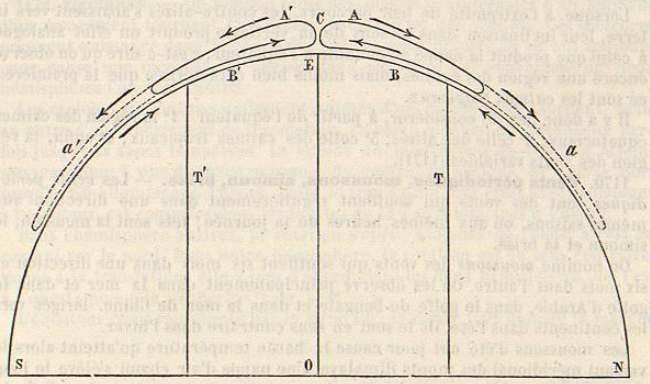

Fig. 1091.

hémisphère, deux circuits, l'un entre l'équateur et le tropique, c'est le *circuit direct;* l'autre du tropique vers le cercle polaire, c'est le *circuit dérivé*. Le circuit direct atteignant une grande hauteur, ses deux vents restent superposés et ne se rencontrent pas; mais, le circuit dérivé étant peu élevé, ses deux vents marchent sensiblement de niveau dans deux lits qui se déplacent, tantôt juxtaposés, tantôt se rencontrant, et donnant alors naissance aux bourrasques et aux tempêtes des zones tempérées.

La figure 1091 représente la marche des circuits directs et dérivés dans l'hypothèse de l'immobilité de la terre autour de son axe. Dans ce cas, en effet, les circuits seraient tout entiers dans un même plan; mais, comme on a vu plus haut que, par suite de la rotation de la terre, l'alizé avance vers l'ouest et le contre-alizé vers l'est, les deux alizés ne sont pas contenus dans un même plan, et la figure ci-dessus n'est que la projection de leurs circuits sur un même méridien. En outre, on a supposé la distribution de la chaleur symétriquement la même des deux côtés de l'équateur, et, dans ce cas, la nappe ascendante figurée en C serait exactement au-dessus de l'équateur. Mais l'hémisphère nord est plus chaud que l'hémisphère sud; d'où il résulte que cette nappe est déplacée vers le nord de l'équateur. Les circuits directs et dérivés subissant le même déplacement, les alizés A et B s'étendent au delà du tropique nord, tandis que les alizés A′ et B′ n'atteignent pas le tropique sud. En réalité, dans la figure ci-dessus, les différents circuits doivent donc être avancés un peu vers le nord.

1169. **Région des calmes.** — Les alizés des deux hémisphères, quoique convergents vers l'équateur, n'y donnent naissance qu'à un vent très léger. En effet, leur direction devenant alors verticale, leur résultante horizontale tend à devenir nulle; de là des calmes qu'on désigne sous le nom de *calmes*

surtout au centre, ce qui est un effet de la force centrifuge engendrée par le mouvement tournant.

Ces redoutables phénomènes, heureusement peu fréquents, s'observent surtout dans les mers de Chine et des Indes, où ils sont connus sous le nom de *typhons*, et aussi aux Antilles. Ils sont toujours signalés par d'épouvantables désastres sur mer et sur terre.

1173. **Tornados.** — Les *tornados* sont des rafales violentes qu'on ne rencontre que dans la région des calmes équatoriaux, où ils accompagnent en général les orages si fréquents dans cette zone. Comme les cyclones, ils sont animés d'un mouvement tournant dû à l'inégalité de vitesse des alizés. Ils s'annoncent par un petit nuage blanc qui apparaît à une grande hauteur. Ce nuage s'accroit, descend lentement, et en s'approchant de la terre s'entoure d'une nuée sombre, qui obscurcit bientôt toute l'atmosphère. Enfin, de la partie la plus noire, au milieu des éclats de la foudre, s'élance avec une extrême violence le tourbillon qui constitue le tornado.

1174. **Trombes.** — Les *trombes* sont des amas de vapeurs en suspension dans les couches inférieures de l'atmosphère, qu'elles traversent, animées le plus souvent d'un mouvement giratoire assez rapide pour déraciner les arbres, renverser les maisons, briser et détruire tout ce qu'elles rencontrent.

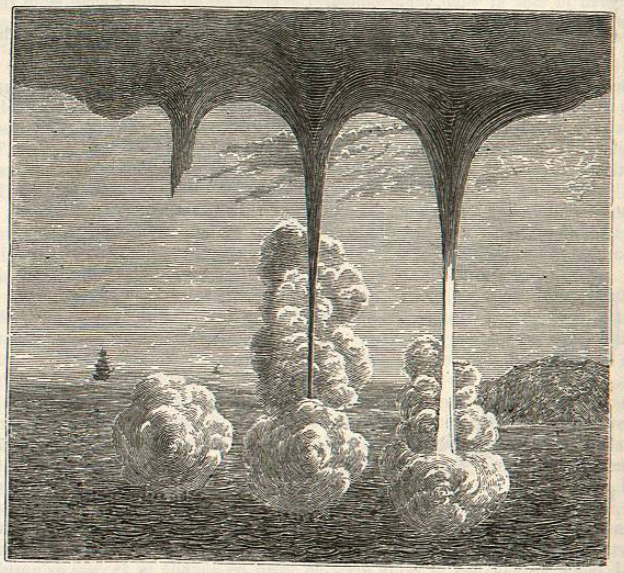

Fig. 1093.

Ces météores, qui sont généralement accompagnés de grêle et de pluie, lancent souvent les éclairs et la foudre, en faisant entendre, sur toute la zone qu'ils parcourent, le bruit d'une charrette roulant sur un chemin rocailleux. Un grand nombre de trombes ne possèdent pas de mouvement giratoire, et le

quart environ de celles qu'on observe prennent naissance dans une atmosphère calme.

Les trombes se manifestent aussi bien sur les mers que sur les continents, et alors le phénomène présente un aspect remarquable. Les eaux s'agitent et s'élèvent en forme de cône, tandis que, les nuages s'abaissant eux-mêmes sous la forme d'un cône renversé, les deux cônes se réunissent par leurs sommets et forment une colonne continue de la mer aux nues (fig. 1093). Cependant, même en pleine mer, l'eau des trombes n'est jamais salée, ce qui prouve qu'elles sont surtout formées de vapeurs condensées, et non de l'eau de la mer élevée par aspiration.

Les trombes n'ont qu'une faible durée, leur parcours ayant peu de développement, quelques kilomètres seulement. Quant à leur étendue ou largeur, on en a observé dont le diamètre ne dépassait pas 200 mètres. Néanmoins elles acquièrent souvent une violence telle, qu'elles renversent les maisons, déracinent les plus gros arbres et les emportent à plus de 100 mètres.

Kæmtz admet qu'elles sont dues à deux vents opposés qui passent l'un à côté de l'autre, ou bien à un vent très vif qui règne dans les hautes régions de l'atmosphère. Peltier leur a attribué une origine électrique, opinion généralement admise aujourd'hui.

MÉTÉORES AQUEUX.

1175. **Nuages.** — Les *nuages* sont des amas de vapeurs condensées en gouttelettes d'une petitesse extrême, à une hauteur plus ou moins grande dans l'atmosphère. Ils résultent toujours de la condensation des vapeurs qui s'élèvent de la terre. D'après les apparences qu'ils présentent, on divise les nuages en quatre espèces principales, qui sont les *cirrus*, les *cumulus*, les *stratus* et les *nimbus*. Ces quatre sortes de nuages sont représentées dans la figure 1094, et désignées respectivement par 4, 3, 2 et 1 oiseau au vol.

Les *cirrus* sont de petits nuages blanchâtres, offrant l'aspect de filaments déliés, assez semblables à de la laine cardée. Ce sont les nuages les plus élevés, et, vu la basse température des régions qu'ils occupent, on les regarde comme formés de particules glacées ou de flocons de neige. Leur apparition précède souvent un changement de temps.

Les *cumulus* sont des nuages arrondis, présentant l'aspect de montagnes entassées les unes sur les autres. Ils sont plus fréquents en été qu'en hiver, et, après s'être formés le matin, ils se dissipent généralement le soir. Si, au contraire, ils deviennent alors plus nombreux, et surtout s'ils sont surmontés de cirrus, on doit s'attendre à de la pluie ou à des orages.

Les *stratus* sont des couches nuageuses horizontales, occupant les basses régions de l'atmosphère, et paraissant très étroites par un effet de perspective. Ils se forment au coucher du soleil et disparaissent à son lever; fréquents en automne, ils sont rares au printemps.

Enfin, les *nimbus*, ou nuages de pluie, sont des nuages qui n'affectent aucune forme caractéristique; ils se distinguent seulement par une teinte d'un gris unifome et par des bords frangés.

La hauteur des nuages est très variable; en moyenne elle est de 1200 à 1400 mètres en hiver et de 3000 à 4000 en été. Mais elle est souvent beaucoup plus grande : Gay-Lussac dans son ascension aérostatique, en juillet, à une hauteur de 7016 mètres au-dessus du niveau de la mer, observa au-dessus de lui des cirrus qui paraissaient être à une hauteur considérable. M. d'Abbadie a observé en Éthiopie des nuages orageux dont la hauteur n'était que de 212 mètres au-dessus du sol.

Pour expliquer la suspension des nuages dans l'atmosphère, on admet géné-

ralement que les nuages et les brouillards sont formés de gouttelettes d'eau extrêmement petites, pleines et flottant dans l'atmosphère : elles y sont soutenues par les courants d'air chaud ascendants, de même que les poussières légères sont élevées par les vents. Quant à l'immobilité que présentent les nuages dans le sens de la verticale, elle ne serait qu'apparente. Le plus souvent les nuages tombent lentement; mais alors leur partie inférieure se dissipe continuellement dans les couches plus chaudes qu'elle traverse, tandis que leur partie supérieure s'accroit sans cesse par l'addition de nouvelles vapeurs

Fig. 1094.

qui se condensent : ce qui explique comment ils paraissent conserver une hauteur constante.

1176. **Formation des nuages.** — Plusieurs causes contribuent à la formation des nuages. 1° La basse température des hautes régions de l'atmosphère. En effet, il se dégage constamment de la terre et des eaux, sous l'influence du soleil, des vapeurs qui s'élèvent dans l'air en vertu de leur moindre densité; ces vapeurs, rencontrant des couches d'air de plus en plus froides, descendent bientôt à la température de saturation, et c'est alors que, se condensant en gouttelettes infiniment petites, elles donnent naissance aux nuages.

2° Les courants d'air chaud et humide, qui s'élèvent pendant le jour dans l'atmosphère, subissant une pression de plus en plus faible, il en résulte une dilatation qui est une source de froid intense, et qui amène la condensation des vapeurs. C'est par cette raison que les hautes montagnes, arrêtant les courants aériens et les forçant à s'élever, sont une cause abondante de pluie.

3° Un courant d'air chaud et humide, qui se mélange avec un air plus froid, subit un refroidissement qui entraîne encore la condensation des vapeurs. C'est ainsi que les vents chauds et humides du sud et du sud-ouest, en se mélangeant à l'air plus froid de nos latitudes, donnent de la pluie. Les vents du nord et du nord-est, qui sont froids, tendent aussi, en se mélangeant à notre atmosphère, à en condenser les vapeurs; mais comme, par l'effet même de leur basse température, ces vents sont très secs, le mélange résultant atteint rarement la saturation, et généralement ils ne donnent pas de pluie.

1177. **Pluie. — Pluviomètre.** — La *pluie* est la chute, à l'état de gouttelettes, de l'eau provenant de la condensation, dans les hautes régions de l'atmosphère, des vapeurs qui s'élèvent du sol. Le plus souvent ce ne sont pas les nuages qu'on voit flotter dans l'air qui donnent la pluie; mais celle-ci se produit au moment même de la condensation des vapeurs, et les gouttelettes atteignent une grosseur d'autant plus forte qu'elles tombent d'une plus grande hauteur.

On mesure la quantité de pluie qui tombe annuellement dans un lieu au moyen du *pluviomètre* ou *udomètre*. C'est un vase cylindrique M (fig. 1095 et 1096), fermé à sa partie supérieure par un couvercle B, qui a la forme d'un entonnoir dans lequel tombe l'eau de pluie. Celle-ci pénètre ensuite dans le vase par un petit trou, de manière à être soustraite le plus possible à l'évaporation. De la partie inférieure part un tube de verre A dans lequel l'eau s'élève à la même hauteur qu'à l'intérieur, hauteur qu'on lit sur une grande échelle graduée en millimètres, placée sur le côté du tube. L'appareil étant placé dans un lieu découvert, si, au bout d'un mois, par exemple, la hauteur de l'eau dans le tube est de $0^m,05$, cela indique que dans le vase l'eau a atteint cette hauteur, et, par conséquent, que si l'eau tombée était étendue sur le sol, sans évaporation ni infiltration, il y en aurait une couche de $0^m,05$.

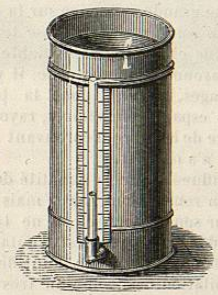

Fig. 1095.

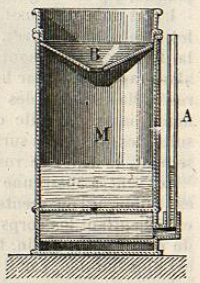

Fig. 1096.

Un grand nombre de circonstances locales peuvent faire varier la quantité d'eau qui tombe dans divers pays; mais, toutes choses égales d'ailleurs, c'est dans les pays chauds qu'il doit pleuvoir davantage, car la vaporisation y est plus abondante. On observe en effet que la quantité de pluie croît des pôles à l'équateur. A Paris, la hauteur d'eau qui tombe annuellement est de $0^m,564$; à Bordeaux, de $0^m,650$; à Madère, de $0^m,767$; à la Havane, de $2^m,32$; à Saint-Domingue, de $2^m,75$.

La quantité de pluie varie avec les saisons. A Paris, en hiver, la hauteur d'eau qui tombe est de $0^m,107$; au printemps, de $0^m,174$; en été, de $0^m,161$; en automne, de $0^m,122$. C'est donc en hiver qu'il tombe le moins d'eau.

1178. **Brouillards.** — Les *brouillards* sont des masses de vapeur d'eau qui, condensées dans l'atmosphère, en occupent les basses régions et en troublent la transparence. Ce sont de vrais nuages, qui se forment à la surface du sol par le refroidissement des couches inférieures de l'atmosphère. Les *brumes* sont des brouillards très épais.

1179. **Rosée, serein, gelée blanche.** — La *rosée* n'est autre chose que de la vapeur qui se condense et se dépose en gouttelettes sur les corps pendant la nuit. Ce phénomène est dû au refroidissement qu'éprouvent par l'effet du rayonnement nocturne les corps placés à la surface du sol. Leur température s'abaissant alors de plusieurs degrés au-dessous de celle de l'air, il arrive, surtout dans les saisons chaudes, que cette température devient inférieure à celle à laquelle l'atmosphère serait saturée. C'est alors que les couches d'air en contact avec les corps, et sensiblement à la même température qu'eux, laissent déposer une partie de la vapeur qu'elles contiennent; phénomène analogue à celui qui se produit quand dans une pièce chaude et humide on apporte une carafe d'eau fraîche : les vapeurs de l'air se condensent sur ses parois.

D'après cette théorie, qui est due au physicien anglais Wells, toutes les causes qui favorisent le refroidissement des corps doivent aussi augmenter le dépôt de rosée : c'est ce que l'expérience vérifie. Ces causes sont : le pouvoir émissif des corps, l'état du ciel et l'agitation de l'air. Les corps qui ont un grand pouvoir émissif, se refroidissant davantage, doivent condenser plus de vapeur. En effet, le dépôt de rosée est généralement nul sur les métaux, dont le pouvoir émissif est faible, surtout s'ils sont polis; tandis que la terre, le sable, le verre, les plantes, qui ont un grand pouvoir émissif, se recouvrent abondamment de rosée.

L'état du ciel a aussi une grande influence sur la rosée. S'il est sans nuages, les espaces planétaires, qui sont à une très basse température, n'envoient vers la terre qu'une quantité de chaleur inappréciable, et, le sol se refroidissant alors rapidement par le rayonnement nocturne, il y a un abondant dépôt de rosée. Mais s'il y a des nuages, ceux-ci, dont la température est beaucoup moins basse que celle des espaces planétaires, rayonnent vers le sol, et, par suite, les corps à la surface de la terre n'éprouvant plus qu'un faible refroidissement, le dépôt de rosée n'a pas lieu.

Le vent a aussi une influence sur la quantité de vapeur qui se dépose. S'il est faible, il l'augmente en renouvelant l'air ; mais s'il est fort, il la diminue en échauffant les corps par son contact, et en ne laissant pas à l'air le temps de se refroidir. Enfin, le dépôt de rosée est d'autant plus abondant que l'air est plus humide, car il est plus près de son point de saturation.

Le *serein* est une précipitation d'eau en pluie très fine, sans qu'il y ait apparence de nuage. Ce phénomène se produit pendant les grandes chaleurs, dans les lieux humides, au coucher du soleil, quand les couches inférieures de l'air se refroidissent au-dessous du point de saturation.

La *gelée blanche* et le *givre* résultent, comme la rosée, des vapeurs contenues dans l'atmosphère, lorsque ces vapeurs se condensent sur des corps à une température au-dessous de zéro. La forme floconneuse que présentent les petits cristaux dont le givre est formé, fait voir qu'ici les vapeurs se congèlent immédiatement sans passer par l'état liquide. Le givre se dépose, de même que la rosée, sur les corps qui rayonnent davantage, tels que les tiges et les feuilles des végétaux, et le dépôt se fait principalement sur les parties tournées vers le ciel.

1180. **Neige, grésil, verglas.** — La *neige* est de l'eau solidifiée en petits cristaux étoilés, diversement ramifiés et flottant dans l'atmosphère. Ces cristaux proviennent de la congélation des gouttelettes qui forment les nuages, lorsque leur température descend au-dessous de zéro. Ils sont d'autant plus réguliers, qu'ils se sont formés dans un air plus calme. Pour les observer, on les reçoit sur un corps noir et on les regarde avec une forte loupe. La régularité et en même temps la variété de leurs formes sont vraiment admirables. La figure 1097 fait voir quelques-unes des formes que présentent les cristaux de neige, quand on les observe au microscope. Leurs variétés s'élèvent à plusieurs centaines.

Il neige d'autant plus dans un lieu qu'il est plus voisin des pôles ou plus élevé au-dessus du niveau des mers. Vers les pôles, la terre est constamment couverte de neige; il en est de même sur les hautes montagnes, où règnent des neiges perpétuelles, même sous l'équateur.

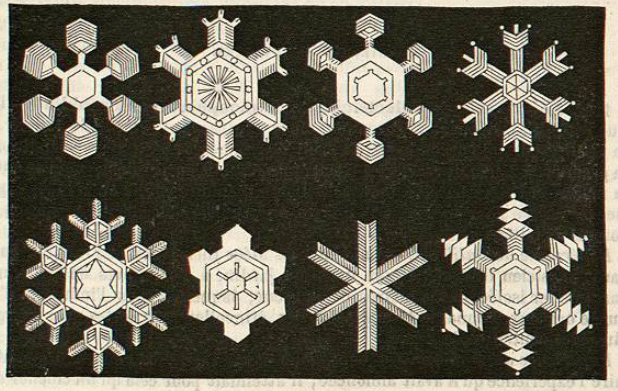

Fig. 1097.

Le *grésil*, qui est aussi de l'eau solidifiée, est formé de petites aiguilles de glace pressées les unes contre les autres d'une manière confuse. On attribue sa formation à la congélation brusque des gouttelettes des nuages dans un air agité.

Le *verglas* est une couche de glace unie et transparente qui se dépose sur le sol. La condition nécessaire pour sa formation est que, la température du sol étant au-dessous de zéro, après quelques jours d'un froid continu, il vienne à tomber un peu de pluie : celle-ci se congèle aussitôt; mais s'il en tombe une plus grande quantité, le sol s'échauffe et le verglas ne se forme pas.

1181. **Grêle.** — La *grêle* est un amas de globules de glace compacts, plus ou moins volumineux, qui tombent de l'atmosphère. Dans nos climats, la grêle s'observe principalement pendant le printemps et l'été, et aux heures les plus chaudes de la journée; il en tombe fort rarement la nuit. La chute de la grêle est toujours précédée d'un bruissement particulier.

La grêle est généralement le précurseur des orages; il est rare qu'elle les accompagne, plus rare qu'elle les suive. La grosseur des grêlons est très variable : elle atteint fréquemment celle d'une noisette. On en a observé de la grosseur d'un œuf de pigeon, du poids de 200 à 300 grammes. Aucune théorie n'explique d'une manière satisfaisante la formation des grêlons, et surtout comment ils peuvent atteindre un tel poids avant de tomber. Dans la théorie de Volta, les grêlons sont successivement attirés par deux nuages chargés d'électricités contraires ; mais si les grêlons étaient ainsi attirés, à plus forte raison les deux nuages le seraient l'un par l'autre et se confondraient.

De Saussure admettait que les grêlons commencent à se former dans les hautes régions de l'atmosphère, et augmentent de volume en tombant. De la Rive pense que la grêle provient de gouttes d'eau refroidies au-dessous de zéro et se solidifiant brusquement (678). M. Dufour admet aussi que les grêlons sont dus à la congélation brusque de globules d'eau flottant dans la région des

nuages, et y ayant conservé l'état liquide à une température inférieure à zéro. Quelques globules venant à se solidifier, dès qu'ils heurtent d'autres globules encore liquides, ceux-ci se solidifiant instantanément, ainsi qu'on l'a vu traitant de la surfusion (678), les nouveaux globules se soudent aux premiers, ce qui explique le volume qu'atteignent les grêlons.

MÉTÉORES ÉLECTRIQUES.

1182. **Découverte de l'électricité de l'atmosphère par Franklin.** — Dès que l'étincelle électrique fut connue, on la compara à la lueur de l'éclair, et le pétillement qui l'accompagne au bruit du tonnerre; mais c'est Franklin qui le premier, à l'aide des batteries électriques, établit un parallèle complet entre la foudre et l'électricité, et indiqua dans un mémoire publié en 1749 les expériences à faire pour soutirer aux nuages orageux leur électricité au moyen de pointes métalliques.

Expérience de Dalibard. — Guidé par les idées théoriques de Franklin, Dalibard, physicien français, dressa dans un jardin, à Marly, près de Paris, une barre de fer isolée, de 33 mètres de hauteur, laquelle, sous l'influence d'un nuage orageux, donna, le 19 mai 1752, des étincelles assez fortes pour charger plusieurs bouteilles de Leyde.

Expérience de Franklin. — Cependant Franklin, de son côté, se disposait à faire l'expérience qu'il avait annoncée; il attendait pour cela qu'un clocher qui était en construction fût terminé, lorsqu'il eut la pensée de faire usage d'un cerf-volant muni d'une pointe métallique, qui pouvait atteindre à de plus hautes régions dans l'atmosphère. En juin 1752, par un temps d'orage, et avant de connaître l'expérience de Dalibard, il se rendit dans un champ, près de Philadelphie, en compagnie de son jeune fils. Là, ayant lancé le cerf-volant, il attacha une clef à la corde, et à la clef un cordon de soie destiné à isoler l'appareil; puis il fixa le cordon de soie à un arbre. Ayant présenté la main à la clef, il ne recueillit d'abord aucune étincelle, et il commençait à désespérer du succès, quand, une légère pluie étant survenue, la corde devint bon conducteur, et la clef donna l'étincelle désirée. L'émotion du célèbre physicien fut si vive, ainsi qu'il le raconte lui-même dans ses lettres, qu'il ne put retenir ses larmes.

Franklin, qui avait découvert le pouvoir des pointes, mais qui en ignorait la théorie, admettait que le cerf-volant soutirait au nuage son électricité; mais, d'après la théorie de l'électrisation par influence, le phénomène doit s'expliquer par l'influence que le nuage orageux exerçait sur le cerf-volant et sur la corde.

1183. **Appareils pour apprécier l'électricité de l'atmosphère.** — Les premiers appareils dont on ait fait usage pour reconnaître la présence de l'électricité dans l'atmosphère sont : l'électromètre à boules de sureau, à pailles ou à feuilles d'or, l'appareil de Dalibard, des flèches lancées dans l'atmosphère, et même des cerfs-volants ou des ballons captifs.

Les appareils dont on se sert actuellement sont :

1° L'électromètre de Saussure;

2° Le collecteur d'électricité de Thomson;

3° L'électromètre bifilaire de Palmieri.

1184. **Électromètre de Saussure.** — Pour observer l'électricité pendant un temps serein, où la tension est généralement faible, on emploie de préférence l'électromètre que Saussure avait appliqué à ce genre de recherches. C'est un électromètre semblable à celui déjà décrit, mais dont la tige qui porte les feuilles d'or ou les pailles est surmontée d'un conducteur de 60 centimètres de hauteur, terminé en boule ou en pointe (fig. 1098). Pour préserver l'appareil de la pluie, on le couvre d'un chapeau métallique d'un décimètre de diamètre. La cage de verre, qui est carrée, n'a que 5 centimètres de côté, et un cadran divisé, appliqué sur sa face antérieure, indique l'angle d'écart des feuilles d'or ou des pailles. Cet électromètre ne donne des signes d'électricité atmosphérique qu'autant qu'on l'élève dans l'atmosphère, de façon qu'il se trouve dans des courants d'air dont l'état électrique soit supérieur au sien. Une élevation de 3 décimètres suffit pour obtenir une divergence de 20 degrés par suite de l'excès d'électricité. D'après Saussure, jusqu'à 25 degrés, les déviations sont proportionnelles aux charges électriques.

1185. **Collecteur de l'électricité atmosphérique de Thomson.** — En traitant des appareils qui servent à constater la présence de l'électricité dans l'atmosphère, tels que les électromètres de Saussure, de Palmieri, de Pelletier, les flèches de Becquerel, on a vu que tous ne donnent des signes d'électricité qu'à la condition qu'on les élève dans l'atmosphère. On arrive au même résultat, avec le *collecteur d'électricité* de Thomson, par l'écoulement d'un filet d'eau.

Cet appareil consiste en un vase métallique A de 60 litres de capacité, isolé sur trois tubes de verre pleins, ou d'ébonite, fixés au sommet d'une colonne de fonte creuse de deux mètres de hauteur (fig. 1099). Le tout est établi à l'extérieur, dans un lieu découvert, et un chapeau de tôle B garantit les tubes de la pluie. Le vase A se remplit d'eau par un tube latéral C en communication avec un réservoir plus élevé; on fait ensuite écouler l'eau du vase par une tubulure à robinet fixée à sa base. Le filet liquide qui s'écoule étant en équilibre électrique avec la couche d'air qui lui correspond, chaque gouttelette qui tombe emporte avec elle une certaine quantité d'électricité; et c'est alors, en compensant ses pertes, que l'appareil suit les variations de potentiel de l'air et les transmet à un électromètre très sensible. A cet effet, du vase A part un fil de cuivre aérien, recouvert d'une double gaine de gutta-percha, et porté jusqu'à l'électromètre par des tiges de verre qui l'isolent. L'électromètre employé à l'Observatoire de Montsouris est celui de M. Branly, que nous avons décrit précédemment (945).

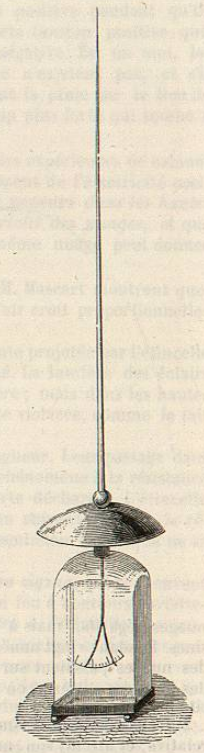

Fig. 1098.

1186. **Électromètre bifilaire de Palmieri.** — Enfin, pour observer l'électricité de l'atmosphère et mesurer sa tension, M. Palmieri, directeur de l'Observatoire du Vésuve, a adopté un électromètre bifilaire en communication avec l'atmosphère par un long conducteur mobile, qu'on élève plus ou moins au-dessus du lieu de l'observation.

1187. **Distribution de l'électricité dans l'atmosphère et dans les nuages.** — Après des observations continuées pendant plusieurs années, et à l'aide de l'électromètre à conducteur mobile, M. Palmieri est arrivé aux résultats suivants, qui diffèrent en plusieurs points de ceux admis jusqu'ici par les météorologistes.