

Biblioteka im. Hieronima
Łopacińskiego w Lublinie

18230

1000072807





18230

RESEARCHES ON THE

AND

OF THE

OF THE

1830

1121

PETITE
ENCYCLOPÉDIE POPULAIRE

DES SCIENCES
ET DE LEURS APPLICATIONS

LE BEAU ET LE MAUVAIS TEMPS

18230
584

PETITE ENCYCLOPÉDIE POPULAIRE

PAR AMÉDÉE GUILLEMIN

LE BEAU



ET

LE MAUVAIS TEMPS

OUVRAGE

ILLUSTRÉ DE 77 FIGURES

GRAVÉES SUR BOIS



PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET C^{ie}

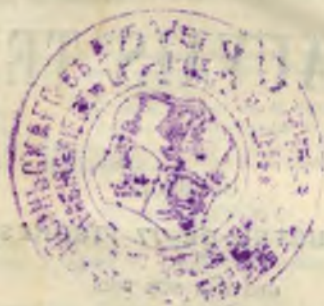
79, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 79

—
1887

Droits de propriété et de traduction réservés



551.5



122



PARIS

LIBRAIRIE HACHETTE ET C^o

23, Boulevard des Capucines, Paris

1907

INTRODUCTION

« Quel temps fait-il aujourd'hui? Pleuvra-t-il ou fera-t-il beau demain? »

Questions banales s'il en fut, qui se retrouvent dans presque toutes les conversations des gens qui n'ont rien à se dire, et qu'on entend tous les jours, en dépit des moqueries, sortir de la bouche de ceux-là mêmes qui se piquent de fuir les lieux communs. Et cela se conçoit.

Comment, en effet, se désintéresser d'un élément jouant un si grand rôle dans notre vie quotidienne? A moins de vivre dans le pays des rêves ou des chimères, d'avoir l'esprit absorbé par quelque gros problème de métaphysique ou d'algèbre, comment n'être pas affecté à un degré quelconque par le temps qu'il fait, beau ou mauvais, lumineux ou sombre, en un mot, gai ou triste? Le moyen de rester indifférent à l'aspect si variable du ciel, qui donne à toute chose sa physionomie et sa couleur, et dont l'influence sur notre santé physique et morale, pour n'être pas toujours évidente, n'est pas moins incontestable!

Influence de tous les instants, d'ailleurs. Qui de nous ne la ressent avec joie, quand, par une claire matinée

de printemps ou d'été, nous aspirons à pleins poumons l'air frais et embaumé, que le soleil s'élève et brille dans un ciel sans nuage? Les champs et les bois resplendent sous la parure d'une végétation nouvelle; tout ce qui a vie paraît jouir, comme nous, de la plénitude de l'existence, plénitude qui se manifeste au dehors par une exubérance de force et d'activité. A d'autres époques, ou dans d'autres circonstances, cette influence du temps sur notre moral est plutôt déprimante : c'est le cas de ces sombres journées de novembre où une brume épaisse, envahissant l'air, rétrécit l'horizon; une lumière blafarde nous permet à peine de voir à quelques pas devant nous : un mortel ennui nous envahirait alors comme le brouillard, si notre pensée, réagissant avec force, ne parvenait, en se concentrant, à se créer un foyer intérieur dont la clarté compense les ténèbres du dehors, ou si quelque occupation active ne nous forçait à surmonter l'impression de monotonie causée par le temps.

Dans nos contrées de la zone tempérée, aux saisons si heureusement contrastées, où les jours qui se suivent et se ressemblent sont si rares, les influences du temps sont variables comme le temps même, qu'on voit souvent changer dans le cours de la même journée. Ces variations n'agissent-elles pas comme un stimulant sur les facultés aussi bien morales qu'intellectuelles des populations qui habitent ces zones, et n'expliquent-elles pas dans une certaine mesure le rôle prépondérant qu'elles ont toujours joué dans le développement des arts et des sciences, et, en somme, dans celui de la civilisation? Cela revient à admettre l'influence des milieux sur les êtres organisés, théorie aujourd'hui généralement reconnue pour vraie, au moins dans une certaine mesure; or les éléments météorologiques du climat, c'est-à-dire le temps

qu'il fait en chaque lieu, doivent être comptés parmi les plus importants de ceux qui constituent le milieu.

D'ailleurs, outre l'influence morale du temps, si facile à constater pour chacun de nous, qui nierait son influence physique? Notre santé n'est-elle pas sous l'impression immédiate des variations de la température; un excès de froid ou d'humidité, de chaleur ou de sécheresse, ne suffit-il pas souvent à déterminer dans notre organisme des troubles, des malaises, légers et passagers si cet organisme est sain et robuste, mais qui peuvent devenir graves et même mortels s'il est débilité et prédisposé à tel ou tel genre d'affection morbide? Les maladies, de plus en plus nombreuses, que les progrès de la physiologie démontrent être dues à l'envahissement des infiniment petits qu'on nomme des microbes, paraissent exiger, pour se développer chez les êtres vivants, certaines conditions de température, de direction du vent, de pression, etc., qui expliquent la rareté ou la fréquence des épidémies selon les saisons ou les climats. Les statistiques des cas de mortalité et de guérison qui ont été recueillies en temps d'épidémie (choléra, fièvre typhoïde, fièvre jaune, petite vérole), mises en regard des éléments météorologiques du temps, accusent des rapports, sinon de cause à effet, du moins d'influence favorable ou néfaste, qui ne laissent aucun doute sur leur réalité. Quelque incomplets que soient les résultats de ces premières recherches, il est impossible de n'être pas d'accord avec Babinet lorsqu'il disait, il y a trente ans déjà: « C'est une des parties les moins avancées de la météorologie que celle qui a pour objet l'étude des influences de l'atmosphère sur l'homme en santé et en maladie. Quelque jour, l'hygiène météorologique sera l'une des branches les plus cultivées comme des plus utiles de l'organisation vitale. »

Si le temps qu'il fait agit, à notre insu peut-on dire, sur notre santé et sur notre humeur, qui d'ailleurs réagissent si souvent l'une sur l'autre ¹, de quel intérêt n'est-il pas pour nous, au point de vue purement matériel? Nos affaires, nos plaisirs, nos menues occupations de tous les jours sont fréquemment sous sa dépendance. Rares sont les privilégiés de la fortune pour qui cet élément ne compte pas, ou compte peu, parce qu'ils peuvent prendre toutes les précautions de nature à les mettre à l'abri de ses inconvénients. Une pluie qui survient mal à propos fait manquer un rendez-vous, une partie de plaisir, un voyage. Il serait oiseux d'entrer dans le détail infini des satisfactions ou des contrariétés qu'éprouve chacun de nous par le fait du beau et du mauvais temps.

La chose devient plus grave s'il en résulte, non pas seulement un profit ou un mécompte individuel, mais la perte ou le gain de la production pour une région entière. A quoi tient, en effet, une bonne ou une mauvaise récolte? Pour une grande part, qui l'ignore? à la succession heureuse ou malheureuse des beaux et des mauvais temps, de la chaleur ou du froid, de la sécheresse ou de l'humidité, d'un ciel serein ou brumeux. Pour certaines productions, celle de la vigne par exemple dans nos climats,

1. Par l'intermédiaire des nerfs, « ces instruments de sensibilité qui trop souvent, dit encore Babinet, deviennent des instruments de souffrance. Il est incroyable jusqu'à quel degré de perception délicate peuvent arriver ces organes, même dans des organisations vigoureuses. Que l'on compare (c'est ce que nous avons fait plus haut) les sensations d'une personne qui part pour la promenade par un beau temps, égayé de soleil, ou par un temps triste et froid d'automne, ou encore par un de ces jours de printemps où le vent d'est rend le soleil lui-même malsain par des alternatives agaçantes de chaud et de froid également pénibles pour les personnes nerveuses. »

tout peut dépendre d'une seule nuit, d'une gelée tardive qui tue les bourgeons, espérance de la vendange prochaine, d'une pluie froide intempestive et prolongée qui fait avorter la fructification, d'une grêle enfin qui, en une demi-heure, anéantit la plus magnifique récolte. Et tous les travaux et produits agricoles en sont là plus ou moins : labours, semailles, moissons, productions fruitières sont à la merci des intempéries !

L'industrie manufacturière semble, au premier abord, plus indépendante que l'agriculture du temps qu'il fait au cours des saisons. Mais ce n'est qu'en apparence ; indirectement elle subit aussi l'influence du temps. Et la raison en est bien simple : c'est que, pour maintes usines, la matière première qu'elle transforme est un produit de la culture du sol ; cela est vrai pour le coton, le lin, le chanvre, employés par l'industrie des tissus ; pour la betterave, la pomme de terre, le maïs, qui alimentent les distilleries ou les fabriques de sucre et d'alcool ; pour nombre de produits chimiques. Selon que les récoltes sont abondantes, médiocres ou mauvaises, il s'ensuit des hausses ou des baisses dont le contre-coup est, pour ces industries, la ruine, la gêne ou la prospérité. Grâce à la solidarité qui existe aujourd'hui entre tous les pays du monde, les crises se répercutent pour ainsi dire partout à la fois.

Il n'est pas jusqu'à l'industrie des transports sur laquelle le beau et le mauvais temps n'aient le pouvoir d'agir ; indirectement d'abord, par suite de la plus ou moins grande activité commerciale résultant des causes énumérées plus haut, mais directement même, ainsi qu'il est aisé de s'en rendre compte. La navigation fluviale ou maritime n'est-elle pas constamment favorisée ou entravée dans ses opérations par l'état du temps ; les routes de terre, voies fer-

rées ou autres, n'ont-elles pas à redouter les dommages, accidentels, il est vrai, que causent les mauvais temps, orages, pluies ou neiges abondantes, inondations? C'est par centaines de millions qu'il faut évaluer les pertes occasionnées par des fléaux de ce genre, lorsque leurs ravages s'étendent, comme on en a vu de récents exemples, sur tout un continent.

Si les travaux de la paix sont sous la constante dépendance des éléments météorologiques, il en est de même, et d'une façon plus étroite encore, de ceux de la guerre. Que d'exemples ne pourrait-on pas citer de l'influence que le temps est susceptible d'exercer sur les opérations des armées de terre ou de mer! Tout général qui connaît l'étendue de ses devoirs ne manque pas d'en tenir grand compte, soit pour les mouvements des corps qu'il commande, soit pour les transports de matériel, munitions et vivres nécessités par ces mouvements, soit en vue de la santé de ses soldats, ou enfin de l'action militaire proprement dite sur le champ de bataille.

Il est inutile, croyons-nous, de pousser plus loin l'énumération des cas où le temps, beau ou mauvais, est un facteur important de l'activité humaine. Bon gré mal gré, il se mêle à tout, d'où l'on pourrait conclure qu'à tort on qualifie d'ennuyeuses les conversations réduites à prendre pour aliment ce thème banal du *temps qu'il fait*. Cela n'est que trop vrai cependant, mais à quoi cela tient-il? D'abord à ce que les interlocuteurs n'ont pas, d'habitude, la science d'un Humboldt ou d'un Arago, ni l'esprit d'un Babinet, mais aussi, on doit l'avouer, à ceci, que si rien n'est plus aisé que de discourir sur un tel sujet en débitant des lieux communs, rien n'est plus difficile que d'en parler en connaissance de cause : nous parlons ici aussi bien des gens lettrés, nous allions dire des savants, que des ignorants.

C'est qu'en réalité la science du temps, la météorologie, malgré les réels et assez rapides progrès qu'elle a faits dans ces trente dernières années, est encore dans l'enfance. Elle a pour objet l'étude des phénomènes les plus complexes, les plus mobiles, les plus insaisissables et souvent les moins accessibles. L'air, l'atmosphère est son domaine; ses mouvements sont tout ce qu'il y a de plus variable au monde, influencés qu'ils sont par mille causes, qui changent elles-mêmes selon l'heure du jour ou de la nuit, l'époque de l'année ou la saison, la situation du lieu où l'on observe, la configuration, l'altitude, la nature du sol, etc. Nous n'en observons d'ailleurs directement qu'une très faible partie dans tous les sens, surtout dans le sens de l'épaisseur, puisque la couche où nous sommes plongés est relativement fort mince. Quoi encore de plus fugitif qu'un nuage, que ses mouvements d'ascension ou de translation, que ses perpétuels changements de forme, que sa résolution en pluie ou en neige; quoi de plus confus que les diverses péripéties d'un orage, où les éléments de l'air, de l'eau et du feu, par leur lutte furibonde, semblent donner par moments une véritable image du chaos! Et ainsi de la plupart des phénomènes atmosphériques, vents, bourrasques, grêle et tonnerre, brouillards, froids et chaleurs, qui se succèdent et s'enchevêtrent de telle façon qu'on est tenté de se demander s'ils sont régis par des lois ou si plutôt ils ne sont pas le désordre même.

Pour surmonter les difficultés, pour vaincre les obstacles qui se présentent en foule à qui aborde l'étude d'un tel sujet, les efforts isolés et individuels sont insuffisants. Déjà sans doute ils ont donné de précieux résultats, surtout en ce qui regarde la théorie physique des phénomènes; ils ont amassé de précieux matériaux pour

les recherches à venir, trop abondants peut-être si l'on songe à l'énorme labeur qu'exigera la discussion des documents enregistrés. Mais depuis quelque temps on a compris que le plus important n'est pas de savoir comment les choses se passent en tel lieu donné, à telle époque déterminée, parce que les perturbations locales ou temporaires sont trop variables et proviennent de circonstances trop secondaires, pour ne pas masquer le plus souvent la loi dont on cherche la formule.

Ce que réclame la Science du Temps, c'est la connaissance des grands mouvements de l'atmosphère, de leurs oscillations périodiques, de leur répartition dans la suite des années ou des saisons, pour chaque grande région caractérisée par un climat ou un régime météorologique spécial. Quand ces courants généraux ou d'ensemble seront bien connus, quand leurs ramifications seront bien tracées, on pourra essayer avec quelque chance de succès, quelque probabilité, de résoudre le problème que tant de gens encore croient du ressort des astronomes : Quel temps fera-t-il demain, la semaine prochaine? L'hiver sera-t-il doux ou rigoureux, l'été chaud, pluvieux ou sec?

Déjà, grâce au télégraphe électrique, dont les signaux marchent avec plus de rapidité que les bourrasques, on peut annoncer à l'avance l'approche de la tempête, et tout le monde sait que ce genre de prédiction est devenu possible d'une rive de l'Atlantique à l'autre; les dépressions annoncées quelques jours à l'avance par les dépêches du journal américain le *New-York Herald*, comme menaçant les côtes occidentales d'Europe, sont arrivées plus d'une fois à destination, justifiant la prévision des météorologistes qui se hasardent à la publier. Cela n'est qu'un commencement; le service météorologique universel, qui permettra d'étendre le champ de prédictions pareilles,

n'existe encore qu'à l'état d'ébauche. Mais, à mesure qu'il se perfectionnera, que les stations d'observation se multiplieront sur les divers continents, peut-être même sur les mers, on arrivera à connaître avec une précision croissante l'état de l'atmosphère à la surface du globe jour par jour, et, de cet état actuel, à déduire les changements probables et prochains dans un pays quelconque.

Au point de vue des applications pratiques, la prévision du temps, il est aisé de le comprendre, sera pour les peuples d'une immense utilité. Mais l'organisation météorologique qui rendra cette prévision possible servira également les intérêts de la science pure ; en étudiant l'ensemble des mouvements de l'atmosphère, de leur succession, on en pourra déduire les lois mêmes des phénomènes, remonter à leurs causes, ce qui est le but de la science.

Quant à nous, dans ce petit livre, notre ambition ne va pas si loin. Nous nous proposons seulement d'exposer ce qu'on sait aujourd'hui en fait de météorologie pratique, d'indiquer les moyens d'observation les plus usités et les plus faciles à mettre en œuvre pour suivre les mouvements du temps, pour se rendre compte de la marche des bourrasques, des orages, pour arriver enfin, dans la mesure où cela est possible au lecteur des dépêches quotidiennes du service météorologique, à répondre, pour la localité où il se trouve, à la question posée au début de cet avant-propos : *Quel temps fera-t-il demain?*

Cela dit, entrons en matière.

LE BEAU ET LE MAUVAIS TEMPS

CHAPITRE PREMIER

SIGNES ET PRONOSTICS DU TEMPS

I

Les signes du temps d'après les anciens.

Beaucoup de personnes, désireuses de s'informer du temps prochain, s'adressent de préférence à un astronome, ne croyant pas pouvoir choisir un juge plus compétent. Elles peuvent certainement tomber juste : un astronome observateur a le plus grand intérêt à bien connaître l'état de l'atmosphère et à étudier la météorologie dans ce but. Mais sa science astronomique n'est pour rien dans ses connaissances en météorologie. Ce sont deux domaines qui n'ont rien de commun, sinon que l'œil est obligé de traverser l'un pour pénétrer dans l'autre. Celui-ci est caractérisé par le haut degré d'immuabilité des phé-

nomènes qui se passent bien au delà de l'atmosphère, à des distances qu'on peut regarder comme infinies vis-à-vis des dimensions de notre globe; celui-là, au contraire, est la mobilité perpétuelle, l'instabilité incessante.

C'est donc un préjugé que d'attribuer aux astronomes une compétence spéciale en fait de temps, ce qui ne veut pas dire que ces deux sciences ne se trouvent pas souvent réunies dans la même tête avec une grande supériorité de culture; trois noms presque contemporains justifieraient cette réunion : j'ai nommé sir John Herschel, Humboldt, François Arago. Le Verrier pourrait être cité également comme le promoteur du plus grand progrès qu'ait réalisé de nos jours la météorologie.

Veut-on savoir à qui nous nous adresserions de préférence pour nous informer de la probabilité de tel ou tel temps prochain? Aux agriculteurs, ou aux marins. Les uns et les autres, par leur métier même, sont intéressés à avoir presque constamment les yeux fixés sur le ciel; les intempéries leur semblent également fâcheuses, le beau temps également favorable, quoique pour des raisons à coup sûr fort diverses. Dans la tête d'un vieux matelot qui a parcouru le monde, comme dans celle d'un fermier expérimenté qui cultive depuis son enfance, les enseignements de la tradition se mêlent à ceux de l'observation personnelle assidue, pour leur montrer presque du premier coup d'œil quel présage on peut tirer de l'aspect du ciel, du mouvement des nuages ou du vent, etc. Seulement, il faut avouer qu'il se glisse assez souvent, parmi les règles vraiment pratiques qu'on peut tirer de l'expérience du

marin et du cultivateur, des préceptes puérils, légués de père en fils, sous la forme d'anciens dictons ou proverbes parfaitement insignifiants. De plus, il y a une différence essentielle entre les présages du temps tels que les énoncent les gens de mer et ceux que peuvent donner les habitants des campagnes. Les premiers sont ordinairement plus généraux, provenant d'un champ d'observations beaucoup plus étendu ; les autres doivent être restreints à la région, à la localité même. C'est ainsi que, sur un territoire aussi peu étendu que celui de la France, plusieurs climats ou régimes météorologiques existent côte à côte ; les signes du temps peuvent varier et varient en effet, ceux surtout qu'on tire de la direction des vents, selon qu'on habite l'une ou l'autre de ces régions.

C'étaient des préceptes analogues à ceux dont nous venons de parler qui formaient, à vrai dire, toute la météorologie des anciens, et il est probable qu'on en retrouverait la trace chez tous les peuples qui ont cultivé la terre ou navigué sur mer. Homère, Hésiode chez les Grecs, Virgile chez les Romains, ont recueilli dans leurs poèmes ce que les traditions populaires enseignaient alors sur ce sujet, mélange confus d'observations exactes, astronomiques et physiques, et de préjugés qu'on ne peut pas s'étonner de rencontrer à des époques aussi reculées, quand on songe qu'il en existe aujourd'hui de non moins étranges, de plus ridicules peut-être, trois siècles après Galilée.

Voici quelques extraits des *Géorgiques* qui donneront une idée des connaissances météorologiques au temps d'Auguste.

Et d'abord quelques conseils sur les époques de l'année propices aux divers travaux agricoles et sur les phénomènes astronomiques qui les différencient.

« Le laboureur doit être aussi attentif au lever des constellations de l'Ourse, des Chevreaux et du Dragon que les matelots qui, regagnant leur patrie à travers des mers orageuses, ont à franchir l'Hellespont et le détroit d'Abydos, fécond en coquillages. Ainsi, dès que le signe de la Balance aura égalé les heures de la nuit à celles du jour et fait aux mortels deux parts semblables de l'ombre et de la lumière, exercez vos travaux dans les champs, ô laboureurs, et semez l'orge jusqu'aux premières pluies qu'amène avec lui l'intraitable hiver..... » « C'est pour régler nos travaux que le ciel a été partagé en régions diverses et que douze astres marquent à travers le monde le cours brillant du Soleil. Cinq zones embrassent tout l'espace du ciel. L'une est toujours resplendissante de lumière, toujours brûlée des feux du jour; autour d'elle, à droite et à gauche, il en est deux autres qui s'étendent jusqu'aux pôles du monde et sous lesquelles s'amassent des glaces éternelles et de noirs frimas. Entre elles et ce milieu brûlant des cieux, il y a deux zones tempérées que la bonté des dieux a accordées aux pauvres mortels : une route les coupe en oblique, dans laquelle se meut avec le soleil tout le système des astres. Au septentrion, vers la Scythie et les monts Riphées, la terre s'élève; elle penche et s'abaisse au midi vers la Lybie. Notre pôle tient toujours le point culminant des cieux; mais l'autre n'est vu que par le Styx profond et par les pâles ombres des enfers.

Au pôle septentrional brille en serpentant le Dragon, et, comme un fleuve sinueux embrasse ses rivages, il embrasse les deux Ourses, qui jamais ne se baignent dans les eaux de l'Océan. Sur ces froides contrées pèse, dit-on, une nuit éternelle et silencieuse; et les ténèbres les couvrent d'un voile de plus en plus épais : ou peut-être l'Aurore, en nous quittant, va les visiter et leur rend le jour; et quand le matin les coursiers de Phébus commencent à souffler sur nous leur haleine enflammée, là-bas le brillant Vesper rallume dans la nuit son flambeau.

« Les astres ainsi connus, le ciel n'a pas de changements que nous ne puissions prédire : nous savons dans quel temps semer et récolter; quand il faut soulever avec la rame le sein des mers perfides, quand il faut armer et lancer les flottes, quand c'est le moment d'abattre le sapin dans les forêts. Ce n'est donc pas en vain que nous observons le lever et le coucher des astres, et tour à tour les quatre saisons qui partagent l'année. »

Les changements dont parle ici le poète sont simplement ceux qu'amène le retour régulier des saisons. Plus loin, il fait intervenir la lune, et son influence, heureuse ou néfaste selon son âge, rappelle toutes les croyances encore aujourd'hui si répandues au sujet de notre satellite : la forme seule de ces préjugés a changé, et cette superstition tenace a donné lieu de croire que, sous la légende, quelque chose de vrai subsiste. Nous reviendrons plus loin sur cette question toujours controversée; mais laissons parler Virgile :

« La lune aussi indique, par son cours inégal, les jours propices à certains travaux. Redoute le

cinquième : ce jour-là sont nés le pâle Orcas et les Euménides; ce jour-là, la Terre, dans un enfante-ment effroyable, créa les géants Cée, Japet, le cruel Typhée, tous ces frères qui conspirèrent le renversement des cieux..... Après le dixième jour de la lune, le septième est le plus heureux, soit pour planter la vigne, soit pour prendre et pour dompter les jeunes taureaux, soit pour commencer à ourdir la toile. Prends garde au neuvième; il est funeste aux voleurs, mais favorable à l'esclave qui veut fuir..... Afin que des signes certains nous fissent prévoir la chaleur, la pluie et les vents qui poussent les frimas devant eux, Jupiter lui-même a réglé d'avance ce que les lunes nous annonceraient et sous quel signe l'Auster fondrait sur la terre : avertis à temps, les laboureurs tiennent leurs troupeaux plus près des étables. Tout à coup les vents s'élèvent; la mer agitée commence à s'enfler; la montagne fait entendre de lointains éclats; de longs mugissements courent sur la plage; le bruit redouble dans les forêts murmurantes..... Souvent aussi, quand la tempête est imminente, tu verras des étoiles tomber en glissant des cieux et laisser derrière, à travers les ombres de la nuit, de longues traînées d'une blanche lumière ¹. »

Un peu plus loin, le poète peint en quelques traits l'attitude que l'approche du mauvais temps fait prendre à divers animaux : ce sont comme les

1. Il est curieux de rapprocher ce passage, qui semble établir un rapport entre les flux d'étoiles filantes et les orages, des recherches d'un observateur contemporain, M. Coulvier-Gravier. C'est sur l'observation de ces météores que ce dernier voulait baser les prévisions météorologiques en général.

avant-coureurs de la tempête. « Jamais l'orage, dit-il, n'a surpris les moins prévoyants : la grue, qui le voit s'élever du fond des vallées, a déjà fui devant lui ; la génisse, levant la tête et regardant le ciel, ouvre de larges naseaux pour aspirer l'air ; l'hirondelle au cri perçant rase d'une aile vagabonde l'eau des lacs ; et la grenouille, dans ses marais, redit sa vieille et éternelle plainte. Souvent la fourmi s'en va par un petit chemin, en emportant ses œufs hors de son couvert peu sûr ; l'arc-en-ciel, coupant les nues, boit l'eau de la mer ; et de noires légions de corbeaux, revenant de la pâture, font retentir les airs du battement de leurs ailes rassemblées. Vois les divers oiseaux de mer, et ceux des bords du lac Asia, qui paissent les doux herbages des prairies du Caïstra ; vois comme ils essayent de mouiller dans les eaux leur plumage ruisselant : tantôt ils offrent la tête aux flots, tantôt ils s'élancent contre les courants ; ils ne peuvent contenter leur insatiable amour des eaux. Alors la corneille sinistre appelle la pluie à pleine voix, et elle se promène seule et recueillie le long des grèves arides. Les jeunes filles elles-mêmes, en tournant le soir leurs fuseaux, savent deviner la tempête, quand elles voient l'huile en feu pétiller, et s'amasser autour de la lampe des flocons d'une mousse consumée. »

Voici maintenant à quels indices les agriculteurs auxquels s'adressait Virgile devaient reconnaître l'approche du beau temps : « Des signes contraires et non moins certains, continue-t-il, annonceront de beaux soleils et des atmosphères sereines. Alors la pointe des étoiles n'est plus émoussée ; Phébé se montre avec un éclat qui ne paraît plus emprunté

aux rayons de son frère; on ne voit plus flotter dans les cieux, pareilles à la laine, de légères nuées (des cirrus). Les alcyons, si chers à Téthys, n'étaient plus leurs ailes au soleil chaud des rivages; on ne voit plus les porcs immondes délier et dissiper les gerbes; mais les nuages s'abaissent et disparaissent sous l'horizon des plaines; du haut de son toit, où il attend le coucher du soleil, le hibou fait entendre en vain ses chants du soir. Nisus apparaît tout à coup planant dans l'azur du ciel; Scylla va recevoir le prix de la trahison qu'elle a commise en livrant le cheveu de pourpre. De quelque côté qu'elle fuie, en fendant l'air d'une aile légère, son implacable ennemi, Nisus ¹, la poursuit à grand bruit: partout où fond Nisus, Scylla, plus prompte encore, fend l'air et s'échappe. Alors aussi, les corbeaux poussent trois et quatre fois des cris moins rauques, et souvent dans leurs nids élevés, réjouis par je ne sais quelle douceur secrète, ils s'ébattent entre eux sous le feuillage, tant ils aiment, après la pluie, à revoir leurs petits, à revenir à leur tendre couvée. Ce n'est pas que je croie qu'il y ait en eux quelque peu de l'esprit divin, ou une sagesse prophétique qu'ils tiennent du destin; mais aussitôt que la température et les vapeurs changeantes des cieux ont pris un autre cours, et que Jupiter, avec les vents, les a tour à tour

1. Nisus, roi de Mégare, avait un cheveu couleur de pourpre, dont la perte, suivant l'oracle, devait entraîner la chute de son empire. Scylla, sa fille, éprise de Minos, qui assiégeait Mégare, livra le cheveu fatal à l'ennemi de son père et entraîna ainsi sa ruine. Mais Minos méprisant Scylla, celle-ci, de désespoir, se précipita dans la mer et fut changée en alouette. Nisus ici est l'épervier (*falco Nisus*), comme Scylla symbolise la vive messagère de nos campagnes.

condensées ou raréfiées, il se fait des mouvements pareils dans les êtres animés; et, selon que le vent pousse les nuages, leurs esprits ressentent des impressions diverses. De là ce concert des oiseaux dans les champs; de là cette joie des bêtes et ces cris heureux des corbeaux. » Ces réflexions, exprimées dans la langue de la poésie, prouvent que le chantre des *Géorgiques* était un observateur. Sans garantir l'exactitude ou plutôt la certitude absolue des signes et pronostics tels qu'il les formule, on ne peut méconnaître ce qu'il y a de fondé dans nombre d'entre eux. Voici ceux qui se rapportent plus particulièrement à l'aspect du ciel et des astres, et au temps prochain qu'annoncent les variations de cet aspect :

« Si tu es attentif au cours régulier du soleil et de la lune, jamais tu ne seras trompé sur le temps du lendemain, et tu ne te laisseras pas prendre à la sérénité perfide de la nuit. Le premier jour que la lune, rassemblant sa lumière, apparaît à l'horizon, si son croissant obscurci laisse par moments les cieux s'assombrir, alors de grandes pluies menacent les laboureurs et les matelots. Mais si le front de Phébé s'est coloré d'une rougeur virginale, crains le vent; par le vent, Phébé est toujours d'un rouge couleur d'or. Si le quatrième jour (c'est son plus sûr indice) elle se lève claire et pure, et si les pointes de son croissant ne sont point émoussées, ce jour et tous les jours suivants, jusqu'à la fin du mois, seront sans pluie et sans vent; et les matelots, sauvés de la tempête, acquitteront sur le rivage leurs vœux à Glaucus, à Panope et à Mélicerte.

« Le soleil, quand il se lève ou se plonge dans la

mer, donne aussi des présages. Le soleil n'a que des signes certains, qu'ils éclatent le matin ou quand les astres reparaissent. Si, au moment où il se lève, il est parsemé de taches et caché dans un nuage où son disque s'efface à demi, que le ciel te soit suspect ; car je vois s'élever du côté de la mer le Notus, avec ses pluies funestes à tes arbres, à tes semences, à tes troupeaux. Mais si, dès le matin, l'astre laisse échapper du milieu d'épais nuages des rayons épars et brisés, si l'Aurore se lève pâle de la couche dorée de Tithon, ah ! que tes raisins déjà mûrs seront mal à couvert sous leurs pampres, quelle horrible grêle rebondit sur ton toit, serrée et retentissante !

« Mais tu dois observer le soleil avec plus d'attention à l'heure où, ayant parcouru sa carrière, il se retire des cieux ; car souvent nous voyons errer sur sa face mille couleurs changeantes. L'azur t'annonce la pluie, le pourpre enflammé, les vents ; s'il y a comme un mélange de feu et de taches noires, tu verras tout éclater en vent et en pluie : que personne, en cette nuit horrible, ne m'engage à gagner la haute mer et à couper le câble qui me retient au rivage. Au contraire, si, lorsqu'il ramène le jour ou qu'il est près de s'éteindre, son disque brille de tout son éclat, c'est en vain que les nuages exciteraient tes craintes ; tu verras les forêts frémir dans l'air épuré par l'Aquilon. Enfin le soleil te marquera par des signes certains le temps qu'amène le ciel du soir, d'où le vent chasse les nuages propices, ce que présage l'humide Auster. Qui oserait accuser le soleil d'imposture ? C'est lui qui nous annonce les sourds mouvements qui travaillent les empires, les

complots, les guerres cachées qui fermentent; c'est lui encore qui, après la mort de César, eut pitié de Rome, lorsqu'il couvrit son front brillant d'une rouille obscure, et que le siècle impie craignit une nuit éternelle. »

Nous nous arrêterons sur ces dernières lignes. Elles montrent assez quelles idées superstitieuses venaient se mêler, dans la pensée des anciens, pour troubler leurs interprétations, aux connaissances empiriques qu'une longue observation des faits naturels leur avait permis d'acquérir. Dès qu'un phénomène leur semblait en dehors du cours naturel des choses, ils ne pouvaient croire qu'il n'y eût pas là la preuve d'un avertissement des dieux. C'est, au fond, l'une des sources les plus ordinaires et les plus fécondes qui alimentent la croyance au surnaturel, aux miracles de tous les temps et de tous les pays.

II

Signes et pronostics du temps tirés de l'aspect du ciel.

C'est à ce mélange de notions exactes tirées de l'observation, et d'erreurs ou de préjugés transmis d'âge en âge par la tradition populaire, que se bornaient à peu près toutes les connaissances météorologiques des anciens : qu'on lise Homère ou Pline, Sénèque ou Lucrèce, on ne trouvera rien de plus précis. Le même fond commun, avec des variantes selon les époques et les lieux, a continué, depuis

Virgile jusqu'à nous, à défrayer les dictons et les proverbes maritimes et agricoles et les prédictions des almanachs sur le temps. Nous verrons bientôt toutefois qu'à l'aide de méthodes nouvelles, basées sur de nombreuses observations simultanées faites avec des instruments appropriés sur de grandes étendues de pays, la science est parvenue à substituer à des prédictions toujours un peu vagues des prévisions précises pour des échéances plus lointaines.

Ce n'est pas une raison pour négliger les leçons de l'expérience. En dégageant les préceptes météorologiques populaires, recueillis, comme nous l'avons dit, de la bouche des agriculteurs et des marins, de ce qu'ils peuvent contenir de croyances non justifiées, d'erreurs ou de préjugés superstitieux, en les complétant par des observations contrôlées et raisonnées, on arrive à formuler des règles pratiques dont l'utilité n'est pas contestable. Mais rien, à cet égard, ne supplée à l'expérience, qui résulte d'observations personnelles et suivies des phénomènes. Beaucoup de personnes à peu près dépourvues de connaissances scientifiques, mais ayant l'occasion d'observer fréquemment le ciel ou intérêt à le faire, acquièrent sur ce sujet un véritable flair qui manque souvent aux savants de profession.

Quoi qu'il en soit, il ne peut y avoir qu'avantage à être guidé dans cette étude, et c'est pour cela que nous allons résumer ici, d'après deux météorologistes contemporains qui les ont notés, les signes et pronostics du temps déduits de l'aspect du ciel, ou encore de l'apparence des végétaux et de l'attitude des animaux, lorsqu'un changement de temps semble prochain.

Voici d'abord ce que dit M. de Gasparin dans les chapitres de son *Cours d'agriculture* consacrés à la météorologie :

« La pâleur du soleil annonce la pluie; on ne le voit alors qu'à travers un air chargé de vapeurs; s'il fait éprouver une chaleur étouffante, c'est aussi un signe de pluie; on se trouve alors entouré d'une atmosphère saturée de vapeurs et plus propre à s'échauffer à cause de son défaut de transparence. Si les vapeurs sont groupées en nuages, le soleil, qui passe à travers ces nuages, élève la température plus qu'il ne l'aurait fait par un temps parfaitement clair. Si le soleil est clair et brillant, il présage une belle journée; mais quand le ciel est rouge au levant avant son apparition, et quand cette rougeur disparaît au moment où il se montre, c'est encore un signe de pluie. On présume alors que l'air froid et chargé de vapeurs réfracte les rayons du soleil, pouvoir qu'il perd en s'échauffant par la raréfaction de ces mêmes vapeurs. Le soleil couchant, clair et sans nuage dans un ciel orangé, est un signe de beau temps; si le ciel est rouge, c'est un signe de vent.

« Quand le soleil, à l'horizon, paraît plus grand qu'à l'ordinaire, c'est un signe de pluie; il en est de même de la lune. On juge aussi que la couleur pâle de celle-ci, que les cercles concentriques plus ou moins obscurs dont elle est entourée, que les cornes mal terminées, que l'auréole lumineuse qui s'étend autour d'elle et qui fait dire que la *lune baigne*, sont autant de signes de pluie. Les étoiles présentent aussi des signes pareils, leur lumière perd de sa vivacité, et elles *baignent* aux approches de la pluie.



« Le ciel est d'autant plus bleu qu'il y a moins de vapeurs interposées entre lui et l'œil du spectateur. Sur les montagnes, il prend une couleur d'indigo foncé. Si l'air se charge de vapeurs, il perd de sa diaphanéité et la teinte du ciel devient blanche, *fari-neuse*, comme on dit. Ce signe n'est pas équivoque. L'air cesse aussi d'être transparent par l'effet des vents qui agitent et transportent une telle quantité de poussière que l'air en paraît quelquefois rougeâtre, à cause des reflets de lumière sur les corpuscules solides.

« La transparence de l'air n'est pourtant pas toujours altérée aux approches de la pluie; nous avons même déjà fait observer qu'un des signes qui l'annonçaient le plus sûrement, c'était une translucidité inaccoutumée qui faisait que les objets éloignés semblaient se rapprocher de nous en ce moment. Ainsi, dans un cas, le défaut de transparence de l'air, et, dans l'autre, l'excès de transparence, seraient tous les deux des signes précurseurs de la pluie. Les faits s'accordent avec ces deux énoncés.

« Les vents sont aussi des indices du temps qu'il doit faire, non seulement d'après leurs qualités propres, mais aussi par l'étude des vents supérieurs, dont on connaît la présence et la direction par la marche des nuages. Si le vent inférieur se renforce beaucoup et que les nuages marchent en sens contraire ou dans des directions faisant un angle assez ouvert, on juge que le vent inférieur va céder la place au vent supérieur.

« Deux vents de qualités opposées qui se succèdent amènent souvent la pluie. Ainsi, un vent froid, arrivant dans une atmosphère imprégnée d'humidité

384/102

par le vent chaud qui le précédait, déterminera une précipitation aqueuse; c'est ce que fait aussi le vent humide et chaud arrivant dans un air refroidi par le vent qui l'avait précédé.

« En général, on peut d'autant mieux prévoir une pluie prochaine que le ciel présente plusieurs états superposés de nuages. Les vents entraînant des masses de nuages détachés les uns des autres ne versent que de petites pluies.

« Les nuages fixes, situés du côté où souffle le vent, n'amènent que la continuité du vent; ils annoncent sa fin s'ils apparaissent au côté opposé.

« Les nuages arrivant à la fois et par des vents divers annoncent un orage prochain.

« Les nuages s'accumulant sur les flancs des montagnes annoncent la pluie.

« Les brouillards qui se dissipent complètement sans former de nuage accompagnent le beau temps, puisqu'ils annoncent que l'air conserve la faculté de dissoudre la vapeur; mais plusieurs jours de brouillards de suite conduisent presque certainement à la pluie. »

Voici maintenant, d'après l'amiral anglais Fitz-Roy (*le Livre du temps*), les signes les plus connus des marins et des cultivateurs. On pourra les rapprocher de ceux qu'a recueillis de Gasparin :

« Par tout temps serein ou nuageux, un ciel rosé au coucher du soleil est un indice de beau temps; une teinte sombre, triste et verdâtre, annonce du vent et de la pluie; une teinte rouge foncé, la pluie; un ciel rouge le matin, du mauvais temps ou beaucoup de vent, peut-être de la pluie; un ciel gris, du beau temps; l'aurore élevée (la lumière du jour

naissant apparaissant au-dessus d'une bande de nuages) promet du vent; et une aurore basse, au niveau de l'horizon, du beau temps.

« De légers nuages à contours indécis annoncent du beau temps avec des brises modérées; des nuages épais à contours bien définis, du vent; un ciel bleu foncé sombre présage du vent; mais un ciel bleu, clair et brillant, du beau temps. En général, plus les nuages paraissent légers, moins on doit attendre de vent, mais quelquefois plus de pluie; plus ils sont épais, roulés, tourmentés, déchiquetés, plus le vent sera fort. De petits nuages couleur d'encre annoncent la pluie. Des nuages légers courant rapidement en sens inverse des masses épaisses annoncent du vent et de la pluie; quand ces nuages sont seuls, ils présagent simplement du vent.

« Des nuages élevés courant en sens inverse de la marche du soleil, de la lune ou des étoiles, et dans une direction différente de celle du vent ou de celle des nuages inférieurs, prédisent un changement de vent dans leur direction.

« Après un beau temps d'une certaine durée, les premiers indices d'un changement sont généralement de légères bandes, des touffes festonnées et pommelées qui apparaissent d'abord dans le lointain, augmentent et couvrent peu à peu le ciel d'une vapeur noirâtre qui se convertit bientôt en nuages. Ordinairement, plus ces vapeurs paraissent élevées et éloignées, plus le changement de temps annoncé sera lent, mais plus il se fera sentir sur une vaste étendue.

« Des teintes douces, légères, délicates, avec des nuages à forme arrêtée, indiquent ou accompagnent

le beau temps. Des teintes extraordinaires, avec des nuages épais, aux contours durs, indiquent la pluie et probablement un coup de vent.

« Observez les nuages qui se forment sur les hauteurs ou s'y accrochent ; s'ils s'y maintiennent, s'accroissent ou descendent, c'est signe de pluie ; s'ils montent et se dispersent, c'est signe de beau temps. Un éclat extraordinaire des étoiles, le peu de netteté ou la multiplication apparente des cornes de la lune, les halos, des fragments d'arc-en-ciel sur des nuages détachés, indiquent que le vent augmentera ou que l'on aura de la pluie.

« La rosée et le brouillard, sont des indices de beau temps. Ils ne se forment ni sous un ciel chargé, ni lorsqu'il y a beaucoup de vent. On voit quelquefois le brouillard emporté, pour ainsi dire, par le vent ; mais il ne se forme que rarement ou jamais pendant qu'il vente.

« On peut encore citer comme signes précurseurs de pluie, sinon de vent, un temps sonore, une limpidité remarquable de l'atmosphère près de l'horizon, les objets éloignés, tels que les montagnes, se détachant d'une manière particulière ou paraissant plus élevés qu'à l'ordinaire (par l'effet de la réfraction).

« Les halos, les fragments d'arc-en-ciel sur des nuages détachés, un scintillement extraordinaire des étoiles, le peu de netteté ou la multiplication apparente des cornes de la lune, sont autant d'indices de l'augmentation du vent ou de l'approche de la pluie. »

III

**Pronostics du temps tirés des animaux
et des plantes.**

Les auteurs que nous venons de citer mentionnent aussi, comme l'avait déjà fait Virgile, les signes de variation du temps que l'on peut tirer de l'observation des êtres animés. Lorsque les oiseaux de mer, dit Fitz-Roy, quittent les rochers de bon matin et gagnent la haute mer, on peut s'attendre à un vent modéré et au beau temps; s'ils se tiennent près des côtes ou volent vers la terre, c'est l'indice d'un vent fort, d'un temps orageux. « Lorsque les oiseaux au long vol — corneilles, hirondelles ou autres — se tiennent près des habitations, voltigent çà et là ou rasant la terre, on peut s'attendre à la pluie ou au vent. De même, quand les animaux recherchent les lieux abrités au lieu de se disperser comme à l'ordinaire, que le porc porte de la paille vers son étable, que, par un temps calme, la fumée des cheminées ne s'élève pas franchement, on est menacé d'un changement défavorable ¹. »

De son côté, de Gasparin donne les indications suivantes sur l'attitude des animaux et l'aspect de certains végétaux : « Les corps animés, dit-il, reçoivent des impressions particulières qui précèdent et annoncent les changements de temps. Les animaux paraissent doués, à cet égard, d'un instinct que les observateurs ont mis à profit, et l'homme

1. *Le Livre du temps.*

lui-même, dans l'état sain ¹, éprouve des sensations qui lui permettent d'annoncer d'une manière presque certaine les faits météorologiques qui vont survenir.

« Ainsi, nous entendons mieux les sons lointains à l'approche de la pluie; nous apercevons alors plus distinctement les objets éloignés; les mauvaises odeurs se font sentir d'une manière plus incommode.

« Les hirondelles rasant la terre dans leur vol ²; est-ce pour se nourrir des vers qui alors en sortent? Les lézards se cachent, les chats se fardent, les oiseaux lustrent leurs plumes, les mouches piquent plus fortement, les poules se grattent, se couvrent de poussière, les poissons sautent hors de l'eau, les oiseaux aquatiques battent des ailes et se baignent. Tels sont les résultats d'une espèce d'intuition popu-

1. Les malades ou les personnes dont le tempérament nerveux est prononcé se ressentent souvent de l'approche des temps orageux ou de la pluie. Leur sensibilité surexcitée, le retour de certaines douleurs, notamment des douleurs rhumatismales, est alors, pour celles qui ont pris la peine d'observer leurs propres sensations, un pronostic rarement douteux.

2. « On s'accorde généralement, dit M. Z. Gerbe dans le *Dictionnaire universel d'histoire naturelle* de d'Orbigny, à considérer le vol bas et rampant des hirondelles comme un indice de pluie, surtout lorsque ce vol est accompagné d'un cri particulier que ces oiseaux poussent alors plus fréquemment que de coutume. Il y a du vrai dans cette opinion; mais le vol rampant des hirondelles suivi de cris n'est pas toujours un signe certain de pluie. Il annonce le plus souvent un grand état d'hygrométrie de l'air. Je lis dans le *Catalogue des Oiseaux de la Ligurie*, par Durazzo, que lorsque les martinets, qui nichent sur les hautes montagnes de Gênes, descendent le long des rivières et des bords de la mer, c'est un indice de tempête, et que ces oiseaux, après s'être repus d'insectes que l'ouragan pousse vers le sol, retournent sur leurs montagnes. »

laire; ils n'ont pas été soumis à une critique sévère, mais ils se vérifient assez souvent pour qu'ils ne puissent paraître douteux. »

Quant aux pronostics tirés des végétaux, « presque tous les signes qui ont été indiqués annoncent plutôt l'humidité de l'air que l'approche de la pluie, car ils manquent quand un orage parvient par un temps sec. Ainsi l'on range le gonflement des boisesries, qui rend difficile la clôture des portes faites de bois tendre, le raccourcissement et la tension des cordes composées de fibres végétales, parmi les signes de cette humidité; on a même construit avec ces fibres des hygromètres grossiers. On a remarqué aussi que la fleur de la pimprenelle s'ouvre, que les tiges de trèfle et les autres légumineuses se redressent quand l'air se charge d'humidité. Linné a observé que le souci d'Afrique ouvrait ses fleurs le matin entre 6 et 7 heures et les refermait à 4 heures du soir par un temps sec, mais que, s'il devait tomber de la pluie, il ne s'ouvrait pas le matin; que lorsque le laiteron de Sibérie ferme sa fleur pendant la nuit, on a du beau temps le lendemain; que si, au contraire, elle reste ouverte, on doit s'attendre à la pluie ¹. »

1. De Gasparin, *Cours d'agriculture*, tome II.

CHAPITRE II

LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LA TEMPÉRATURE

I

Les éléments du temps.

C'est une chose très complexe que le temps météorologique; il entre, à un moment donné, dans sa constitution, divers éléments dont chacun de nous fait instinctivement l'analyse, en se posant quelque une des questions suivantes : L'air est-il chaud, froid ou tempéré, sec ou humide, léger ou lourd? Y a-t-il ou non du vent et, dans le cas de l'affirmative, quel en est le degré de force, quelle est sa direction? Le ciel est-il pur ou couvert de nuages, clair et transparent ou chargé de brouillard? Ajoutez à ces éléments les accidents, d'une durée plus ou moins longue, qui en sont la conséquence, tels que pluie ou neige, grêle, orages, éclairs et tonnerre, et vous aurez énuméré à peu près tout ce qui donne au temps sa physionomie, d'ailleurs si fréquemment variable en nos climats.

Ce sont ces éléments du temps que nous allons étudier les uns après les autres, dans leur origine et

leur succession ; nous montrerons comment on mesure ceux qui sont susceptibles de mesure, comment, par des observations suivies, on est peu à peu parvenu à connaître les liens qui les unissent, comment ils exercent les uns sur les autres une influence ordinairement réciproque, de quelle manière ils varient dans le cours des saisons, des années ou des jours. Ce n'est qu'après avoir ainsi passé en revue les phénomènes isolés dont le temps est formé, qu'il sera possible de comprendre les méthodes de météorologie qui promettent de fournir quelques indications probables sur le temps futur, de prédire ou de prévoir, ordinairement pour quelques jours à l'avance, le temps qu'il fera dans une région donnée.

Nous commencerons par l'étude de la *chaleur atmosphérique*, des variations de la température de l'air, variations qui se constatent par les observations et les instruments *thermométriques*. C'est un des plus importants éléments du climat d'un pays.

Viendra ensuite l'étude de la *pression de l'atmosphère*, qui joue un rôle capital dans l'équilibre et dans le mouvement des couches aériennes ; c'est à l'aide du *baromètre*, cette balance qui oscille aux moindres changements de pression, que nous pourrions constater les lois de cet équilibre et entrevoir la possibilité de trouver celles qui régissent la circulation du fluide atmosphérique à la surface du globe.

Les *hygromètres* nous amèneront ensuite à l'étude de l'état de plus ou moins grande humidité de l'air, à la mesure de la quantité de vapeur d'eau qu'il ren-

ferme et qui varie en raison des variations mêmes de la pression et de la température.

Nous passerons ensuite aux procédés à l'aide desquels on note la direction des *vents*, aux *anémomètres* qui servent à en mesurer la vitesse et l'intensité, à l'étude de leur succession en un même lieu, de leur propagation à la surface du globe, de la liaison qui existe entre ces mouvements et ceux de l'échelle barométrique.

Lorsque ces quatre éléments fondamentaux du temps, la température, la pression atmosphérique, l'hygrométrie, l'anémométrie, nous seront connus, autant du moins que le comporte l'état actuel de la science, il ne nous restera plus, avant d'aborder la circulation de l'atmosphère et la prévision du temps qui s'en déduit, qu'à donner l'explication physique des météores aqueux, brouillards et nuages, pluie et neige, grésil, grêle, giboulées, électricité orageuse, etc.

Cela dit, parlons d'abord de la température.

II

Origine de la chaleur atmosphérique.

La radiation solaire.

Les sources de la chaleur dont nous éprouvons les effets à la surface de la terre ont une triple origine : la chaleur interne propre au globe lui-même, celle que rayonne le soleil, et la chaleur qui provient de l'espace céleste, ou, si l'on veut, du rayonnement de tous les astres, le soleil excepté. C'est la seconde

qui est de beaucoup prépondérante sur les deux autres. En effet, la chaleur intérieure est pour ainsi dire insensible à la surface du sol ; elle est compensée par la déperdition due au rayonnement de la terre elle-même ; la chaleur provenant de la température de l'espace est une quantité bien plus grande qu'on ne serait tenté de le croire, s'il est vrai que cette température ne dépasse guère 142° au-dessous de zéro ¹ ; mais, comme elle est constante et la même ou à peu près dans toutes les directions, elle est sans influence sur les variations de chaleur de l'air, et on peut la négliger en météorologie.

La radiation solaire, voilà donc la cause principale de la chaleur de l'atmosphère. Elle est incessamment variable, tout le monde le sait, car c'est, de tous les éléments du temps, celui à l'influence duquel chacun de nous est le plus sensible, et tous les êtres vivants, animaux et végétaux, en subissent l'influence comme l'homme et souvent plus que l'homme même, qui a trouvé dans son industrie les moyens d'en combattre les excès. La chaleur solaire atmosphérique varie suivant l'heure du jour ou de la nuit ; elle change d'un jour à l'autre et passe, pendant le cours d'une année, par des phases qui, en grande partie, sont la caractéristique des saisons en chaque lieu. Personne n'ignore que la raison principale de

1. La quantité totale de chaleur que la Terre reçoit en un an de l'espace céleste serait capable, d'après Pouillet, de fondre une couche de glace de 26 mètres d'épaisseur enveloppant tout le globe. Dans le même temps, le Soleil fondrait une épaisseur de 31 mètres. Pour se rendre compte de ce résultat, en apparence paradoxal, il ne faut pas oublier que la surface du disque solaire n'est que les 5 millionièmes de la voûte céleste.

ces variations diverses ou annuelles de la température de l'air est le double mouvement de la terre, qui se meut autour du soleil en tournant autour de son axe. L'inclinaison de l'axe de rotation sur le plan de l'orbite annuelle, jointe à l'excentricité ou à la forme elliptique de cette orbite, explique parfaitement les variations thermiques dont nous parlons. Il en résulte, d'une part, pour un même lieu, l'inégalité de durée du jour et de la nuit selon l'époque de l'année, et d'autre part une inégalité correspondante dans la hauteur maximum, ou méridienne, qu'atteint le soleil sur l'horizon. Ces inégalités sont d'autant plus marquées que la latitude du lieu est plus grande, que ce lieu est plus éloigné de l'équateur terrestre.

Toutefois cette explication serait insuffisante pour rendre compte de la diversité des climats thermiques. A la cause purement astronomique des variations de chaleur dues au double mouvement de notre planète s'en viennent joindre d'autres, qui compliquent beaucoup la question. Il s'en faut, en effet, que la température, à une époque donnée, soit la même en tous les points d'un parallèle terrestre, ainsi qu'il devrait être si la répartition de la chaleur était due seulement et directement à la radiation solaire. La distribution des terres et des eaux joue un rôle dans ce phénomène complexe. La configuration des continents et des îles, la plus ou moins grande hauteur d'un lieu au-dessus du niveau de l'Océan, la nature variée des sols, des végétations qui les recouvrent, l'état d'humidité ou de sécheresse qui en résulte pour l'air qui surplombe la région où se trouve ce lieu, sont autant de causes de perturbation pour

les couches atmosphériques; les vents et les courants qui en résultent dans l'air et dans les eaux déterminent des variations nouvelles dont il est extrêmement difficile de découvrir la loi.

Un seul moyen s'offre au météorologiste pour démêler toutes ces influences : l'observation, c'est-à-dire la mesure, dans le plus grand nombre possible de points du globe, de la température de l'air, pendant la durée du jour, de la nuit, des saisons, des années successives. Cette mesure s'effectuant à l'aide des instruments thermométriques, nous allons décrire les méthodes usitées en météorologie pour la détermination des températures.

III

Le thermomètre.

Nous n'entrerons dans aucun détail pour tout ce qui regarde le mode de construction, de graduation, de vérification des thermomètres; nous supposerons connus les principes de physique sur lesquels repose cette construction. Il suffira de rappeler que les thermomètres usités en météorologie sont basés sur l'égalité de dilatation des liquides et des solides pour des accroissements égaux de température; que leur graduation repose sur la constance de température de deux points correspondant d'ordinaire, l'un à la fusion de la glace, c'est le *zéro* de l'échelle, le second à l'ébullition de l'eau pure sous la pression barométrique de 760 millimètres; qu'on divise en 100 parties d'égalité l'intervalle compris

entre les deux sommets de la surface du mercure dans ces deux circonstances, et enfin que le *degré centigrade* n'est autre chose que le changement de température relatif au mouvement du liquide entre deux divisions consécutives de l'échelle. Les degrés se prolongent, naturellement, soit au-dessus du point fixe 100° pour les températures supérieures à celle de la vapeur d'eau bouillante, et au-dessous du zéro pour les températures inférieures à celle de la glace fondante. Comme le mercure bout à 350° et se congèle à -40° environ, le thermomètre à mercure ne peut servir à mesurer les températures qui sortent de ces limites, ce qui n'a aucun inconvénient dans un sens, puisque les chaleurs extrêmes de l'air ne dépassent guère 60° à 75° ; mais pour les froids extrêmes, on est obligé d'employer le thermomètre à alcool, dont le liquide ne se congèle jamais au contact de l'air.



Fig. 1. — Thermomètres centigrades avec leurs échelles graduées.

L'échelle centésimale n'est pas la seule qui ait été adoptée pour graduer les thermomètres; mais c'est la plus généralement adoptée et la seule dont on se serve aujourd'hui en France et dans un grand nombre d'autres pays. Elle est due au savant suédois Celsius, qui en proposa l'adoption en 1741. L'échelle de Réaumur, aujourd'hui abandonnée en France et à peu près partout, divisait en 80 degrés

l'intervalle des deux mêmes points fixes, de la température de la glace fondante à celle de l'eau bouillante. Un calcul très facile permet de transformer en *degrés centigrades* une température exprimée en *degrés Réaumur*; il suffit d'ajouter au premier nombre son *quart* : ainsi 28° R. valent $28^{\circ} + 7^{\circ}$ ou 35° C. ; 15° R. valent $15^{\circ} + 3^{\circ},75$ ou $18^{\circ},75$ C. La transformation inverse est tout aussi simple : d'une température centigrade, retranchez le cinquième, vous aurez la même température exprimée en *degrés Réaumur* : ainsi 35° C. valent $35^{\circ} - 7^{\circ}$ ou 28° R. ; 32° C. valent $25^{\circ},6$ R.

Dans l'échelle Fahrenheit, usitée en Allemagne, en Angleterre et aux États-Unis, l'un des points fixes est celui de l'ébullition de l'eau, comme dans les échelles précédentes; mais l'autre correspond à une température plus basse que celle de la glace fondante, qu'on obtient par un mélange de glace et de sel ammoniac ¹. Le zéro est donc plus bas; au

1. Fahrenheit avait pris pour zéro de son échelle, ou pour point de départ de sa graduation, cette température, bien qu'elle ne correspondit point à un phénomène physique fixe, parce qu'elle était celle du froid le plus vif qui eût été observé à Dantzic avant 1714. Il faut désirer que les météorologistes de tous les pays s'entendent pour adopter une échelle unique; on éviterait ainsi des transformations et des calculs, faciles comme on vient de voir, mais qui deviennent fastidieux, pénibles, et occasionnent une grande perte de temps dès qu'ils s'appliquent à des séries de nombreuses observations. Mais si cela est désirable, cela ne semble pas devoir arriver de sitôt. « En théorie, dit Fitz-Roy, la division centésimale est excellente, et elle est, à juste titre, appréciée sur tout le continent de l'Europe; mais en Amérique, en Australie et aux Indes cette division ne se trouve que sur les instruments d'un très petit nombre d'hommes de science, vivant à de grandes distances les uns des autres. L'échelle de Fahrenheit y jouit d'une si haute réputation, qu'il ne sera facile de la

point d'ébullition de l'eau, Fahrenheit a marqué 212°. Comme on a reconnu que la température de la glace fondante correspondait au 32° degré de cette échelle, il en résulte que les 100 degrés de l'échelle centigrade équivalent à 180° Fahrenheit : de là une transformation facile d'un nombre quelconque de degrés d'une de ces échelles dans l'autre. Veut-on savoir, par exemple, quel est en degrés centigrades l'équivalent de 120° F. ? On commence par retrancher 32, ce qui donne 88, dont on prend les $\frac{5}{9}$; et l'on a pour résultat 48°,88 C. Au contraire, étant donnée la température 45° C., pour la transformer en divisions de l'échelle Fahrenheit, on en prend les $\frac{9}{5}$, ce qui donne 81° F. au-dessus de la glace fondante, laquelle est marquée 32°, comme on l'a vu plus haut; 81° + 32° ou 113° F. est donc le résultat de la transformation.

On a employé encore, notamment en Russie, l'échelle de Delisle, qui marquait 0° au point d'ébullition et 150° à la glace fondante. Rien de plus simple que de transformer une température notée sur cette échelle en une quelconque des trois autres.

Tout le monde sait que les températures plus élevées que 0° sont considérées comme *positives*; on les fait précéder du signe +. Les températures inférieures à 0° sont négatives, et on les affecte du signe —.

Un simple thermomètre à mercure ou à alcool peut suffire pour donner à un observateur isolé la température de l'air de la station où il s'est installé. Mais pour les observations plus suivies, dans les sta-

remplacer ni par l'échelle de Réaumur, ni même par le système centigrade; nous devons dire cependant qu'on trouve partout des tables de conversion. » (*Le Livre du temps.*)

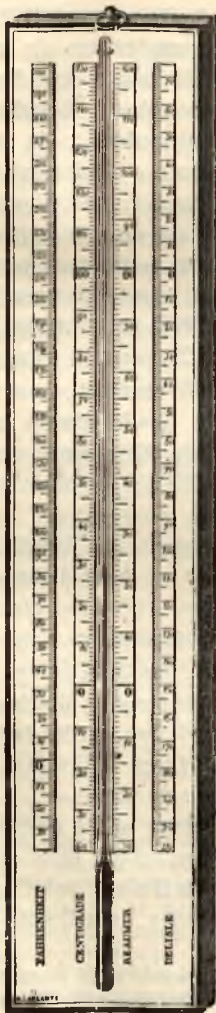


Fig. 2. — Échelles thermométriques.

tions météorologiques complètes, il importe, en outre, d'avoir deux autres thermomètres, l'un à maxima, l'autre à minima, qui donnent les limites de température atteintes par l'air pendant la journée et pendant la nuit, dans les intervalles de temps où l'on ne peut s'astreindre à noter les indications du thermomètre d'une manière continue. Les figures 3 et 4 représentent différents modèles de thermomètres de ce genre, que nous allons décrire rapidement.

Dans la figure 3 sont réunis les thermomètres à maxima et à minima imaginés par Rutherford. Les deux instruments, dont le premier, A, est un thermomètre à mercure, et le second, B, un thermomètre à alcool, sont disposés horizontalement sur une même planchette. A l'intérieur du thermomètre à maxima repose, sur la surface du mercure, un petit cylindre d'acier ou d'émail, que le liquide pousse devant lui tant que la température

s'élève, mais qu'il laisse en place au point le plus éloigné de sa course quand la température vient à baisser. La base la plus voisine du mercure indique

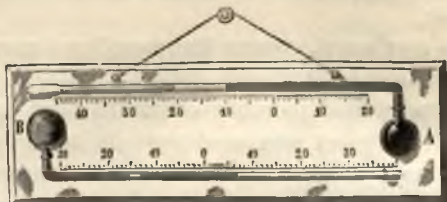


Fig. 3. — Thermomètres à maxima ou à minima de Rutherford.

évidemment la température maximum. Le mouvement de l'index tant que la colonne mercurielle monte ainsi que son arrêt quand elle vient à rétrograder



Fig. 4. — Thermomètre à maxima de Negretti et Zambra.

sont également basés, comme on voit, sur la propriété du mercure de ne pas mouiller le cylindre d'acier, de ne point adhérer à sa surface. C'est une propriété opposée qui a fourni à Rutherford le moyen de construire son thermomètre à minima. C'est, en effet, un thermomètre à alcool dans le tube duquel se trouve un cylindre en émail que l'alcool mouille et laisse en place quand la température s'élève, et qu'il entraîne au contraire avec lui quand elle s'abaisse. Le minimum est donc donné par la base du cylindre opposée au réservoir. Quand on veut installer l'instrument pour une observation, il faut avoir soin de ramener les deux index aux extrémités

de chaque colonne liquide : l'un repose alors sur le mercure, et l'autre, noyé dans l'alcool, affleure la surface du liquide par sa base la plus éloignée du réservoir.

On se sert aussi, comme thermomètre à maxima, de l'instrument représenté dans la figure 4. C'est un thermomètre à mercure ordinaire dont la tige est contournée un peu au-dessus du réservoir et rétrécie en A au point que, lorsque le mercure se contracte sous l'influence du refroidissement, la colonne située dans la tige ne peut plus rentrer dans le réservoir. Son extrémité reste donc au point le plus élevé de son ascension. Tant que le mercure se dilate, au contraire, sa force d'expansion est suffisante pour que le liquide du réservoir passe dans la tige, malgré l'extrême finesse du diamètre de la partie rétrécie. Cet instrument a été imaginé par Negretti et Zambra.

Citons encore le thermomètre de Six, modifié par Bellani, qui réunit en un seul appareil les thermomètres à maxima et à minima de Rutherford.

On emploie aussi, mais plus rarement, des thermomètres dont la graduation se fait par comparaison avec le thermomètre à mercure et dont la marche est basée sur la dilatabilité des métaux. Ce sont les thermomètres métalliques, dont nous allons décrire les plus usités.

Le thermomètre métallique à cadran de Regnier (fig. 5) se compose d'une lame courbe de cuivre et d'acier soudés. L'une des extrémités est fixe, et l'autre porte un style dont la pointe peut parcourir les divisions d'un cadran. Ou bien encore l'extrémité mobile de la double lame s'appuie sur le petit

bras d'un levier, dont le grand bras, en forme de secteur denté, s'engrène au pignon de l'aiguille. Les variations de la température augmentent ou dimi-

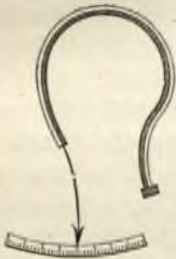


Fig. 5. — Thermomètre métallique de Regnier.



Fig. 6. — Thermomètre métallique à cadran.

nuent la courbure de la lame, et dès lors font mouvoir, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, le levier et par suite l'aiguille. Le cadran a été divisé en degrés par comparaison avec un thermomètre à mercure.

Si tous les instruments dont il vient d'être question sont exacts (et, pour s'en assurer, il importe de procéder à des vérifications minutieuses que nous ne nous arrêterons pas à décrire ici ¹⁾, on pourra les utiliser, en prenant toutefois des précautions particulières, sans lesquelles on ne serait pas certain d'avoir la véritable température de l'air de

1. On pourra consulter, sous ce rapport, les *Instructions météorologiques*, publiées par le Bureau central météorologique de France,

la station. Entrons donc à cet égard dans quelques détails.

La température de l'air en un lieu donné et à un instant déterminé doit s'entendre de celle que possède le milieu aérien dans une étendue suffisamment grande tout autour du point où se fait l'observation. Il importe donc absolument que l'installation des instruments soit telle, qu'ils soient soustraits à l'action des causes toutes particulières susceptibles d'altérer les indications de l'appareil thermométrique. Ces causes peuvent être ainsi énumérées : 1° le rayonnement direct d'une source de chaleur et notamment du soleil ; 2° le rayonnement indirect ou par réflexion provenant d'objets voisins, du sol dénudé, de murs chauffés par le soleil, etc. ; 3° les courants accidentels d'air chaud ou froid ; 4° enfin le refroidissement dû à l'évaporation quand le réservoir du thermomètre n'est pas complètement sec.

S'il s'agit d'une observation isolée et accidentelle, à faire loin d'un observatoire, on obtient la température véritable de l'air et l'on se met à l'abri de ces diverses causes d'erreur, en se servant du *thermomètre-fronde*. C'est un petit thermomètre à mercure qu'on attache à l'un des bouts d'un cordon et qu'on fait tourner rapidement dans l'air, en tenant à la main l'autre extrémité du cordon ; l'instrument se trouve ainsi en contact avec une masse d'air constamment renouvelée, et l'effet de ce contact l'emporte de beaucoup sur ceux du rayonnement. Le mieux néanmoins est d'effectuer cette opération à l'ombre et de la réitérer jusqu'à ce que deux ou trois lectures consécutives donnent, à 1 ou 2 dixièmes près, le même nombre de degrés. D'après



Fig. 7. — Abri des thermomètres à l'observatoire de Montsouris.

Bravais, le thermomètre-fronde donne une température qui diffère légèrement de celle d'un thermomètre abrité : un peu inférieure pendant la journée; un peu supérieure, au contraire, pendant la nuit.

Voyons maintenant comment on dispose les thermomètres dans les observatoires ou stations fixes de météorologie. Le mode d'installation adopté à Montsouris est celui qui a été combiné par MM. Ch. Sainte-Claire Deville et Renou et que représente la figure 7. Un double toit, d'environ 1 mètre carré de surface, légèrement incliné vers le côté sud de l'horizon, deux plaques de tôle verticales un peu écartées du toit, installées sur les côtés est et ouest, et enfin, à une certaine distance, des massifs d'arbres verts qui projettent leur ombre sur l'abri, servent à protéger les instruments aussi bien que le sol des rayons directs du soleil ¹. L'abri ainsi formé est d'ailleurs élevé à 2 mètres au moins du sol, qui est, en outre, gazonné, de façon à éviter toute réverbération. Voici maintenant comment les thermomètres doivent être disposés sous l'abri. Ces instruments sont au nombre de quatre : un thermomètre à maxima et un thermomètre à minima, et les deux thermomètres sec et mouillé dont nous parlerons plus loin et dont l'ensemble compose le *psychromètre*. On suspend au milieu, à une traverse horizontale qui va de l'est à

1. Il est bon que les deux plaques latérales ou volets soient mobiles; un seul volet, celui qui est du côté du soleil, est placé sur son support; l'autre est toujours enlevé, pour que les thermomètres ne reçoivent pas la chaleur que réfléchirait la surface interne. Pour être plus assuré que cette dernière condition est remplie, il vaut mieux n'avoir qu'une plaque qu'on met à l'est dans la matinée, à l'ouest dans l'après-midi.

l'ouest, la planche portant ces deux derniers instruments, et de chaque côté, sur deux légers cadres en laiton, les thermomètres à maxima et à minima. Dans les stations qui n'ont que ces deux thermomètres, le Bureau central météorologique de France recommande une disposition dont voici la description d'après les *Instructions météorologiques* : « C'est un cadre en laiton dans lequel les thermomètres sont passés, comme d'ordinaire, entre deux fils et serrés avec des anneaux. Ce cadre est recouvert d'un premier toit en liège, garanti lui-même de l'insolation directe par un second toit en zinc verni. L'un des côtés du toit est mobile sur charnières, de sorte qu'on peut le lever pour lire les thermomètres. Le tout est fixé, au moyen d'une patte de deux vis, à un poteau d'environ 1^m,75 ou 1^m,80 de hauteur, au-dessus d'une pelouse gazonnée. Autant que possible, cet abri est placé au nord d'un arbre isolé, de petites dimensions et dont le feuillage est peu épais, de manière à ne pas gêner la libre circulation de l'air et à empêcher cependant le Soleil de frapper directement sur l'abri au milieu de la journée. Les thermomètres sont légèrement inclinés, le réservoir en bas, et de côtés opposés; tout l'abri lui-même est mobile autour d'un axe horizontal; en le faisant pivoter de façon que le réservoir du thermomètre à minima soit en haut, l'index de ce thermomètre descend de lui-même à l'extrémité de la colonne. »

Tout le monde ne peut pas, pour des raisons multiples, donner aux thermomètres un abri établi dans les conditions qu'on vient de décrire, et le nombre est grand des observateurs qui sont réduits à sus-

pendre leurs instruments à une fenêtre de leur habitation. En ce cas, c'est une fenêtre ouvrant au nord qu'ils devront choisir de préférence. Le thermomètre, placé en avant, sera protégé des rayons du soleil qui pourraient le frapper le matin ou le soir, par des écrans, planchettes ou feuilles de zinc qui, en même temps, le garantiront contre la pluie. Il ne sera pas toujours aussi aisé d'empêcher que ne lui parviennent les rayons solaires réfléchis par le sol ou par des murs voisins. Aussi, le plus souvent, les thermomètres des habitations privées indiquent-ils des températures qui diffèrent, à des degrés très divers, de la véritable température de l'air, dans le pays où ils sont installés. Dans les villes surtout, ces différences sont souvent considérables et varient d'un quartier à un autre, et, dans le même quartier, selon les rues, leur orientation et une foule d'autres circonstances. Il est bien évident qu'en pareil cas les indications du thermomètre, intéressantes pour ceux qui les recueillent, utiles même au point de vue hygiénique, n'ont aucune valeur météorologique et ne peuvent servir à l'étude générale des variations de la chaleur à la surface du globe.

Tous les observatoires météorologiques sont pourvus aujourd'hui d'appareils enregistreurs qui, s'ils ne donnent point, pour un instant donné, la température avec la même précision que les instruments ordinaires, ont l'avantage de fournir des indications continues pour tous les instants du jour et surtout de la nuit. Nous ne ferons que citer les enregistreurs thermométriques Bréguet, Rédier, Salleron, et nous nous bornerons à indiquer le principe de l'enregistreur Richard, aujourd'hui

employé à l'observatoire de Montsouris avec le thermographe Salleron.

Le thermomètre enregistreur Richard (fig. 8) est basé sur les variations de courbure que produit, dans un tube métallique très mince, la dilatation de



Fig. 8. — Enregistreur thermométrique de Montsouris.

l'alcool qui le remplit, lorsque varie la température de l'air ambiant. Ces variations de courbure déterminent le mouvement d'une aiguille, par l'intermédiaire d'une bielle et d'un bras de levier métallique. L'extrémité de l'aiguille trace sur un cylindre des courbes dont les sinuosités ont des amplitudes proportionnelles aux degrés de l'échelle thermométrique.

IV

Variations diurnes de la température de l'air.

Nous venons de voir comment on observe la température et quels instruments on emploie pour cet

objet. Disons maintenant quels résultats ont été déduits des observations prolongées faites en chaque lieu du globe par les méthodes indiquées.

Tout le monde sait que l'instant du jour où la chaleur est la plus forte n'est point le milieu même de la journée, bien qu'à midi le soleil soit au plus haut point de sa course. C'est dans l'après-midi qu'il fait le plus chaud. De même ce n'est pas à minuit qu'est le moment du plus grand refroidissement de l'air, et les personnes qui se lèvent de grand matin savent que c'est un peu avant le lever du soleil. Mais les impressions personnelles ne suffisent pas pour déterminer les moments précis du maximum et du minimum de la chaleur de l'air et la marche de la température entre ces points extrêmes; c'est le thermomètre qu'il faut consulter, et cela à des intervalles assez rapprochés et pendant un temps suffisamment long pour que les variations accidentelles se trouvent éliminées. Observer toutes les heures est une tâche excessivement laborieuse, même en se restreignant aux heures de la journée. On cite, dans cet ordre de travaux, de nombreuses observations horaires à l'aide desquelles on a pu déterminer la marche de la température diurne, que les instruments enregistreurs permettent aujourd'hui de suivre d'une façon si complète et si commode à la fois. Voici, pour les climats de la zone tempérée, quelle est la loi de ces variations :

Chaque jour de vingt-quatre heures comprend un maximum et un minimum de température. Le maximum a lieu vers 2 heures de l'après-midi, et le minimum une demi-heure environ avant le lever du soleil. Ces instants varient, du reste, dans le cours

de l'année : en hiver, l'heure du maximum se rapproche de midi et s'en éloigne au contraire en été; de même, l'heure du minimum est plus éloignée du lever du soleil en hiver qu'en été. On verra plus loin quelles sont les raisons de ces différences. En représentant par une courbe les variations diurnes

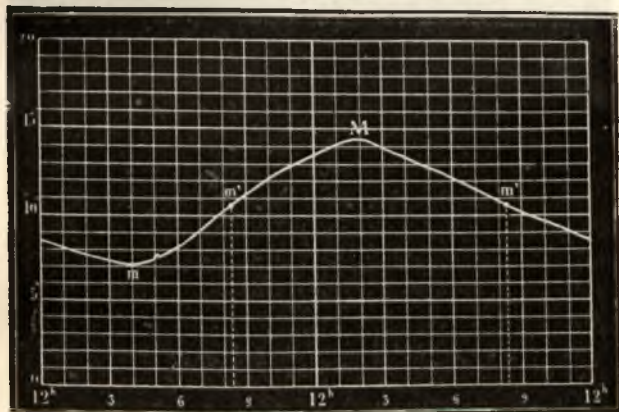


Fig. 9. — Variation moyenne diurne de la température à Paris, d'après les observations de Bouvard, de 1810 à 1832.

de la température aux différentes heures de la journée et de la nuit, on trouverait que cette courbe change progressivement de forme et d'étendue selon les mois ou les saisons, selon les lieux, leur position géographique ou physique, selon l'altitude du point où le thermomètre est installé. Non seulement les heures du maximum et du minimum, mais encore l'amplitude des oscillations ou l'écart des extrêmes diurnes de température changent plus ou moins avec les circonstances ou conditions qu'on

vient d'énumérer. C'est ce qu'il est aisé de constater, en jetant un coup d'œil sur les figures 9, 10 et 11¹.

Les causes de l'oscillation diurne de la tempéra-

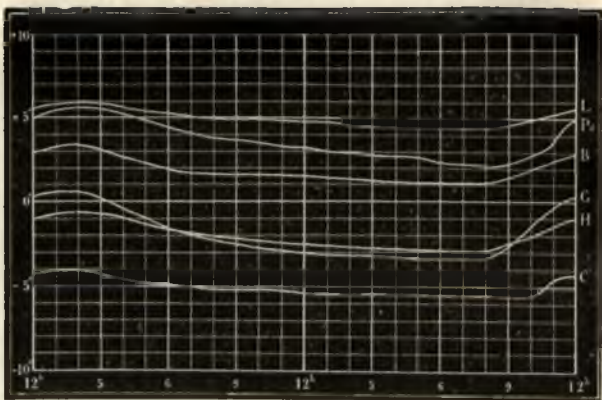


Fig. 10. — Moyennes variations diurnes de la température en janvier à Leith, Padoue, Bruxelles, Göttingue, Halle et Christiania.

1. La courbe de la figure 9 a été construite d'après les données recueillies à Paris par Bouvard pendant les seize années comprises entre 1816 et 1832. Le minimum du matin a lieu à 4 heures, le maximum à 2 heures après midi, et à 8 heures 20 du matin et du soir on trouve la température moyenne, qui s'élève à $10^{\circ},67$. Il importe de bien comprendre que cette courbe représente, non pas la marche suivie par la température à Paris en un jour déterminé, mais, pour chaque heure du jour et de la nuit, la moyenne des températures observées à cette heure pendant toute la suite des seize années d'observation qui ont servi à la construction de la courbe. En réalité, les heures du maximum varient dans le cours de l'année; il en est de même de celles où s'observe la moyenne température diurne : la moyenne du matin, plus tardive en hiver, s'observe vers 10 heures en janvier; en juillet, c'est vers 7 heures. Mêmes variations pour

ture, tout le monde le sait, sont le plus ou moins d'intensité et de durée de l'action calorifique du soleil. Entrons, à cet égard, dans quelques détails.

D'après les recherches actinométriques les plus

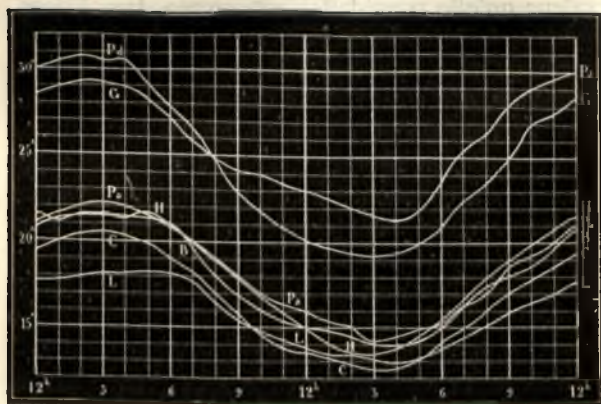


Fig. 11. — Moyennes variations diurnes de la température en juillet; zone boréale tempérée.

l'heure où s'observe la moyenne du soir. L'écart de température qui existe entre le minimum du matin et le maximum de l'après-midi, autrement dit l'amplitude de la variation diurne, est, d'après la figure, de $7^{\circ},34$; c'est l'amplitude moyenne de l'année. On trouverait des nombres notablement différents si, au lieu de considérer l'amplitude de la variation diurne pour l'année entière, on cherchait sa valeur pour un jour ou un mois donné. Alors on trouverait que l'influence des saisons s'y fait également sentir. Pour saisir cette influence, on détermine, par exemple, la marche diurne de la température, en prenant la moyenne horaire de tous les jours de chaque mois; on établit des tableaux de ces moyennes, ou mieux on représente cette marche par des courbes. Nous nous bornons ici à donner celles des variations diurnes du mois de janvier et du mois de juillet, c'est-à-dire du mois le plus froid et du mois le plus chaud de l'année, pour quelques stations de la zone tempérée boréale.

récentes ¹, les couches les plus élevées de l'atmosphère n'absorbent qu'une faible fraction de la chaleur solaire; à l'altitude du mont Blanc, l'intensité de la radiation a encore les seize dix-septièmes de la valeur qu'elle possédait à son entrée dans l'atmosphère; à l'altitude de 1200 mètres, elle n'a encore perdu qu'un cinquième; à Paris enfin, à 60 mètres d'altitude, elle n'est réduite que d'un tiers, de sorte que l'échauffement direct de toutes les couches atmosphériques, presque nul pour les couches supérieures, n'a commencé à être effectif que dans une épaisseur qu'on peut évaluer, au maximum, à la cinquantième partie de l'épaisseur totale. Cela se comprend : l'air pur, on le sait, est diathermane. Il s'échauffe excessivement peu par rayonnement direct, et il paraît prouvé, notamment par les expériences de Tyndall, qu'il doit la plus grande partie de son pouvoir absorbant aux vapeurs qu'il tient en suspension, acide carbonique et vapeur d'eau. Comme ce sont les couches les plus basses qui en sont le plus chargées, on conçoit que ces couches s'échauffent les premières et le plus fortement, soit par l'action directe des rayons solaires, soit par le rayonnement du sol avec lequel elles sont d'ailleurs en contact. Une fois échauffées, les couches infé-

1. L'*actinométrie* a pour objet la mesure de l'intensité de la radiation solaire, et les *actinomètres* sont des appareils qui servent à opérer cette mesure. A la limite supérieure de l'atmosphère, cette intensité varie peu, et seulement en raison des variations de distance de la Terre au Soleil; mais il n'en est plus ainsi à la surface du sol et à diverses altitudes, parce que l'air, et surtout l'air humide, absorbe des fractions notables des rayons; les nuages, les brouillards les arrêtent également d'une façon très inégale, selon les circonstances.

rieures transmettent leur chaleur aux couches surplombantes, à la fois par conductibilité et par convection, et surtout par ce dernier mode de propagation. C'est ainsi que l'atmosphère s'échauffe de proche en proche sous l'action des radiations calorifiques du soleil.

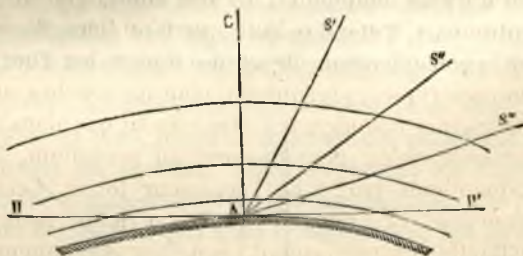


Fig. 12. — Épaisseurs relatives des couches d'air traversées par les rayons solaires.

Mais, en même temps que le sol et l'air voient leur température s'accroître, un phénomène inverse tend à abaisser cette même température. La cause en est dans le rayonnement de la surface terrestre aussi bien que des couches atmosphériques qui renvoient vers l'espace une certaine portion de la chaleur que le soleil leur a transmise. De cet échange réciproque, qui s'effectue à tout instant du jour et de la nuit entre le soleil, la terre et son atmosphère, et l'espace, résulte la température que marque un thermomètre plongé en un point du milieu aérien. Tant que la chaleur reçue en ce point l'emporte sur la chaleur rayonnée ou perdue, la température de l'air va en croissant d'une manière continue, jusqu'au moment où, ces deux quantités

devenant égales, le maximum est atteint. Or, du lever du soleil jusqu'à midi, instant où l'astre atteint sa plus grande hauteur au-dessus de l'horizon, l'intensité de la chaleur solaire va en croissant, pour deux raisons : en premier lieu, l'épaisseur des couches traversées par ses rayons va en diminuant de plus en plus, comme on le voit sur la figure 12 ; d'autre part, l'étendue de la surface échauffée par un faisceau calorifique de section donnée est d'autant

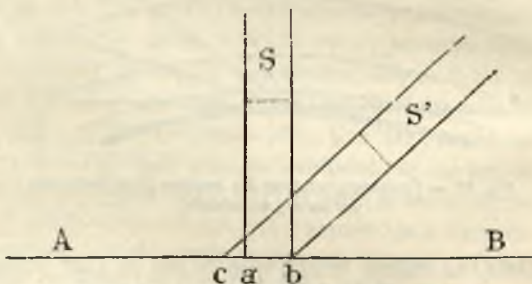


Fig. 13. — Affaiblissement de l'intensité d'un faisceau solaire avec l'obliquité.

plus petite que le faisceau tombe moins obliquement sur le sol (fig. 13), et, par suite, la quantité de chaleur reçue par l'unité de surface est d'autant plus grande. A partir de midi, l'intensité de la radiation solaire commence à diminuer; néanmoins, pendant quelque temps encore, la quantité de chaleur reçue l'emporte sur la chaleur perdue par voie de rayonnement, et elle continue de s'accumuler. Voilà ce qui explique pourquoi le maximum thermométrique s'observe après midi, à 1 ou 2 heures en hiver, un peu plus tard en été, où le soleil monte à une

hauteur beaucoup plus grande sur l'horizon et où son action calorifique reste dès lors plus longtemps prépondérante.

L'instant du maximum passé, le phénomène suit une marche inverse : l'intensité de la radiation solaire diminue peu à peu jusqu'au moment du coucher du soleil. Dès lors, le rayonnement l'emporte de plus en plus, et la température s'abaisse progressivement. Dès que le soleil est sous l'horizon, le refroidissement n'étant plus compensé par rien, la chaleur accumulée pendant le jour va se dissiper de plus en plus, jusqu'au moment où, pénétrant de nouveau les couches atmosphériques, les rayons solaires commenceront à ramener une nouvelle période diurne. On voit ainsi comment il se fait que la température ne comporte chaque jour qu'un maximum et qu'un minimum, pourquoi le maximum se montre quelque temps après midi, et le minimum peu avant l'heure du lever du soleil.

Maintenant, il faut se hâter d'ajouter que les choses ne se passent point avec la régularité que suppose l'explication précédente; une foule de causes peuvent modifier temporairement la marche diurne de la température : l'état du ciel, plus ou moins pur, plus ou moins chargé de nuages, le calme ou l'agitation de l'air, sa sécheresse ou son humidité, agissent soit pour favoriser, soit pour entraver le rayonnement solaire et le rayonnement terrestre. Les effets de ces influences opposées tantôt augmentent, tantôt diminuent l'amplitude de l'oscillation thermométrique, et souvent changent les heures où se produisent les maxima et les minima. Mais toutes ces irrégularités accidentelles disparaissent dès que

l'on envisage les moyennes horaires d'un assez long intervalle de temps.

La marche diurne de la température est la même, à peu de chose près, à toutes les latitudes, dans les régions tropicales, dans les zones tempérées, partout où le soleil se lève et se couche dans l'intervalle de vingt-quatre heures. Mais les amplitudes de l'oscillation sont fort inégales d'un lieu à l'autre. Entre les tropiques, l'oscillation est à peu près constante pendant toute l'année, ce qui s'explique par les faibles variations qui se produisent dans les hauteurs méridiennes du soleil et dans la durée de sa présence sur l'horizon. Au voisinage des côtes, les brises de mer qui s'élèvent vers midi abaissent assez notablement la température pour que l'heure du maximum en soit avancée : elle précède alors quelquefois le moment du passage au méridien.

Dans les régions polaires, où le soleil disparaît entièrement pendant des jours et même des mois durant la saison d'hiver, mais où pendant l'été il reste visible sur l'horizon le même laps de temps, la marche diurne de la température est, au contraire, très différente suivant l'époque de l'année. Pendant la période de disparition du soleil, les variations du thermomètre ne dépendent plus que de l'état du ciel et de la direction du vent.

Enfin la position géographique influe aussi d'une autre manière sur cette amplitude. Si la station que l'on considère est située dans le voisinage de la mer, l'inégalité de température entre le jour et la nuit est moindre que s'il s'agit d'un point situé à l'intérieur des terres. Il suffit, pour se rendre compte de cette influence, de se rappeler que l'air des couches infé-

rieures s'échauffe en grande partie par son contact avec la surface du sol et par le rayonnement calorifique de ce dernier. Or l'eau des mers exige, pour s'élever d'un nombre donné de degrés, beaucoup plus de chaleur que les parties solides de la surface des terres; elle s'échauffe donc plus lentement sous l'action des rayons solaires et se refroidit de même avec moins de rapidité pendant la nuit. Son rayonnement est moindre aussi. Il en résulte que l'air en contact avec la mer s'échauffe et se refroidit moins vite que l'air des régions continentales; les écarts de température entre le jour et la nuit sont donc, à latitude égale, moindres dans les stations maritimes que dans les stations situées à l'intérieur des terres. L'observation confirme l'exactitude de cette prévision théorique.

V

**Température moyenne du jour, du mois,
de l'année dans un lieu donné : ses variations.**

Voici ce que l'on entend par la température moyenne d'un lieu. Si l'on observe le thermomètre, à des intervalles égaux et successifs, par exemple à chacune des heures du jour et de la nuit, et qu'on divise la somme algébrique des degrés observés par leur nombre, on aura la *température moyenne du jour*. La *température moyenne mensuelle* s'obtiendra de même en prenant la moyenne des moyennes diurnes pour tous les jours du mois, et si l'on fait la même opération pour tous les jours de l'année, on

aura la *température moyenne annuelle* du lieu. Rien n'est plus simple, plus aisé à concevoir, mais aussi plus laborieux dans l'exécution. Tout se ramène d'ailleurs à trouver la température moyenne du jour. Comme la lecture de 24 observations horaires serait extrêmement pénible, on a dû chercher à simplifier, à réduire le nombre des observations. L'expérience a prouvé qu'on y pouvait parvenir de diverses manières.

Le plus souvent, trois observations suffisent, et, dans un grand nombre de pays, on choisit les heures suivantes : 6 heures du matin, 2 heures du soir et 10 heures du soir, séparées les unes des autres par un intervalle de huit heures. C'est la combinaison qui paraît la meilleure ; elle a été recommandée comme telle par le Congrès météorologique de Vienne, pour toutes les stations où l'on ne fait que trois observations par jour. Si les observations sont réduites à deux, on peut les faire à 8 heures, 9 heures ou 10 heures du matin, et à 8 heures, 9 heures ou 10 heures du soir.

Quelle que soit la méthode adoptée pour obtenir la moyenne température diurne d'un lieu, il est évident que les moyennes mensuelles et annuelles seront d'autant plus exactes que la série des observations comprendra un intervalle de temps plus long. S'il se compose d'un nombre suffisant d'années, la moyenne particulière à chaque jour, à chaque mois, à l'année même, donnera la température propre à chacune de ces divisions du temps, de plus en plus débarrassée des influences perturbatrices accidentelles. Ce sera ce qu'on nomme la *température normale diurne, mensuelle, annuelle*.

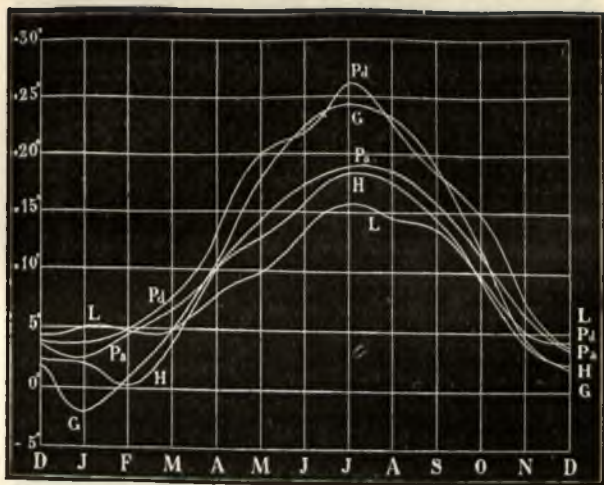


Fig. 14. — Températures moyennes mensuelles dans les moyennes latitudes.

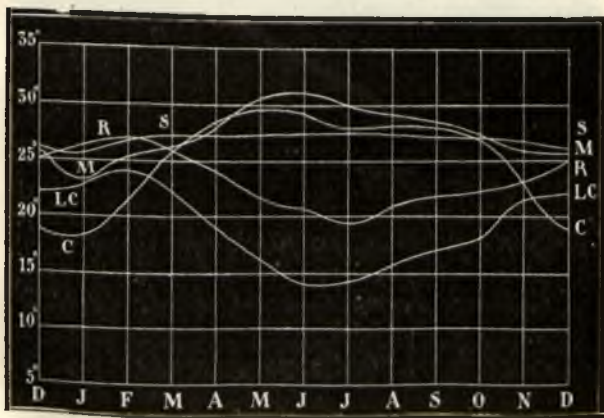


Fig. 15. — Moyennes températures mensuelles dans les régions de la zone tropicale.

En prenant la suite des températures normales diurnes ou seulement mensuelles, dans un lieu donné, comme éléments des courbes propres à représenter la marche de la température en ce lieu, on peut en suivre les variations et la périodicité dans le cours des saisons et reconnaître le lien qui les lie à leur cause commune, l'action calorifique des rayons solaires : les courbes des figures 14, 15 et 16, qui représentent les moyennes températures mensuelles dans la zone tempérée, dans les régions tropicales et dans les hautes latitudes des contrées polaires, permettront au lecteur de suivre toutes les fluctuations de la température aux diverses époques de l'année. Elles présentent d'abord ce caractère commun, qui leur donne une ressemblance frappante avec les courbes de la variation diurne, d'avoir (à une ou deux exceptions près) un seul minimum et un seul maximum.

Si, du phénomène considéré dans sa généralité, on passe à la comparaison des différences qu'il présente dans les trois grandes zones, tropicale, tempérée et polaire, on remarque tout d'abord que c'est dans nos climats, ou dans les stations de moyenne latitude, que sa régularité est la plus grande, et que les courbes des moyennes mensuelles présentent les moindres inflexions. A Calcutta, à Madras, la courbe a deux maxima, l'un en mai, l'autre en août ; le refroidissement intermédiaire paraît dû à la saison des pluies ; il y a d'ailleurs une autre raison de l'existence de deux maxima dans la zone tropicale : c'est que le soleil y passe deux fois par été au zénith du lieu. Mais c'est au point de vue de l'écart entre les températures extrêmes, ou de l'oscillation

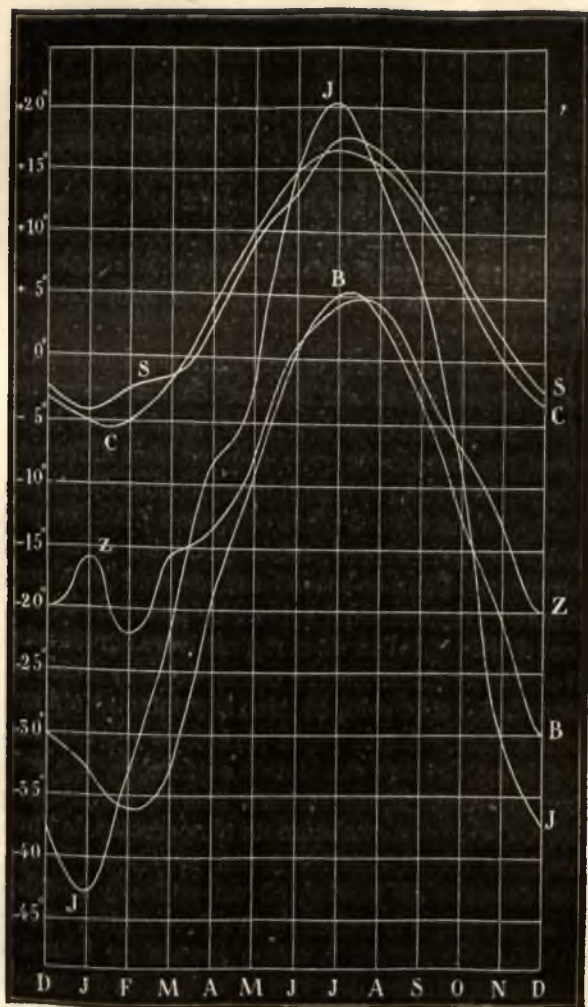


Fig. 16. — Moyennes températures mensuelles dans les hautes latitudes : S, Stockholm; C, Christiania; Z, Matotschkin (Nouvelle-Zemble); B, Boothia-Félix; J, Jakoutsk.

annuelle, que les différences entre les zones sont le plus accentuées. Dans la zone tropicale, le mois le plus chaud et le mois le plus froid offrent des écarts qui varient entre 2° et 12°, selon les lieux ; dans les stations de la zone tempérée, l'oscillation va de 12° à 26° ; et enfin, dans les hautes latitudes, elle va de 22° (Christiania) à 61° (Jakoutsk. Il y a lieu surtout de remarquer l'influence que nous avons déjà signalée au point de vue de la variation des températures diurnes.

C'est la marche de la température pendant tout le cours d'une année qui permet de distinguer les périodes connues sous le nom de *saisons*, avec leurs caractères météorologiques, souvent bien différents d'une zone à l'autre. Mais il importe alors de ne pas confondre les saisons ainsi comprises avec les périodes de même nom, telles qu'on les définit en astronomie. Dans ce second cas, ce sont les équinoxes et les solstices qui servent de points de départ à ces divisions de l'année et règlent leurs durées relatives ; l'hiver astronomique commence au solstice de décembre, l'été à celui de juin ; le printemps et l'automne débutent aux jours et heures où tombent l'équinoxe de mars et celui de septembre. Les saisons météorologiques divisent l'année d'une autre façon. Comme le minimum de température de l'hémisphère boréal coïncide à peu près avec le milieu du mois de janvier, on est convenu de faire de cette époque le milieu de la saison d'hiver ; pour l'hémisphère austral, la même époque est celle du maximum, et sera dès lors le milieu de la saison d'été. De même, le 15 juillet, époque très voisine du maximum de température ou du minimum pour

l'hémisphère sud, est le milieu de l'été boréal ou de l'hiver austral, et l'on répartit de la façon suivante les mois de l'année entre les quatre saisons :

Saisons de l'hémisphère boréal.		Saisons de l'hémisphère austral.	
Hiver	Décembre, janvier, février.	Été	
Printemps.	Mars, avril, mai	Automne.	
Été	Juin, juillet, août	Hiver.	
Automne..	Septembre, octobre, novembre	Printemps.	

Quelquefois on ne distingue que deux grandes saisons météorologiques : la saison froide ou *hivernale*, la saison chaude ou *estivale*. Dans nos climats, la saison froide comprend les cinq mois de novembre, décembre, janvier, février et mars ; la saison chaude, les sept autres mois restants de l'année.

VI

Température des couches élevées de l'atmosphère.

De temps immémorial on sait que la température décroît à mesure qu'on s'élève sur les montagnes, et les observations faites en ballon depuis un siècle ont montré qu'une semblable décroissance s'observe dans les couches successives de l'atmosphère. Mais quelle loi suit l'abaissement de température en question ? est-il ou non proportionnel à l'altitude ? C'est ce qu'il serait bien difficile de décider, les observations précises sur ce point de météorologie

n'ayant été encore ni assez nombreuses ni assez prolongées.

On peut toutefois conclure des nombres recueillis par les Saussure, Bravais, Humboldt, Gay-Lussac, etc., que la température de l'air, toutes autres circonstances égales, diminue à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. La loi de cette décroissance est sujette à des variations qui dépendent des heures de la journée, de l'époque de l'année ou des saisons, et à des anomalies provenant des autres circonstances météorologiques, agitation ou calme de l'air, degré d'humidité, etc. Dans l'hypothèse d'une décroissance uniforme et proportionnelle à l'altitude, et en admettant que 200 mètres d'élévation donnent en moyenne un abaissement de 1° , à 10 000 mètres la température serait de 50° au-dessous de zéro. A 28 kilomètres, le froid des couches atmosphériques atteindrait -140° , c'est-à-dire la température que les calculs de Pouillet ont donnée pour celle de l'espace interplanétaire.

Un mot maintenant sur les causes de refroidissement de l'air des montagnes ou dans les couches élevées de l'atmosphère.

Insistons d'abord sur un point qui semble en contradiction avec les faits et les observations que nous venons de rappeler. L'intensité de la radiation solaire ou de la source calorifique qui élève la température du sol et celle de l'air, est d'autant plus grande que l'altitude est elle-même plus considérable. La raison en est aisée à concevoir. Quand un faisceau de rayons solaires tombe sur le sol d'une montagne, à 2000 mètres au-dessus d'un point de la plaine, son intensité est plus grande, parce qu'il

n'a subi d'absorption que de la part des couches supérieures de l'atmosphère. Dans un cas, il a traversé une épaisseur d'air moindre de 2000 mètres que dans l'autre. Ajoutons que ce sont les couches les moins denses, les moins chargées de vapeur d'eau qui absorbent le moins la chaleur lumineuse. Un thermomètre exposé au soleil marque donc une température plus élevée sur une montagne que dans la plaine. C'est un fait constaté par de nombreux observateurs. Mais si la radiation directe est plus intense, la température de l'air lui-même, celle que marque un thermomètre à l'ombre, est beaucoup moindre sur la montagne que dans la plaine.

La température de l'air dépend à tout instant de l'équilibre qui tend à s'établir entre la chaleur qu'il absorbe directement ou indirectement, et celle qu'il perd par voie de rayonnement ou de convection. Nous savons que son pouvoir absorbant pour les radiations lumineuses ou directes est très faible, mais il va en croissant avec la densité de ses couches et surtout avec la quantité de vapeur d'eau qu'elles contiennent. Les rayons solaires doivent donc échauffer plus fortement, dans leur trajet au sein de l'atmosphère, les couches inférieures, qui sont les plus denses et les plus chargées d'humidité. Mais c'est surtout par le rayonnement calorifique du sol que s'échauffe l'air, le pouvoir absorbant de ce dernier étant beaucoup plus considérable pour les radiations obscures, et ce sont encore les couches inférieures qui en recevront proportionnellement le plus, en raison de leur densité plus grande et de la plus grande quantité de vapeur d'eau qu'elles renferment.

Si l'absorption de chaleur par les couches d'air inférieures l'emporte sur celle des couches élevées de l'atmosphère, et si dès lors celles-là s'échauffent plus et plus vite que les premières, leur refroidissement est, au contraire, moins rapide. Les couches successives se servent en effet mutuellement d'écran ou d'abri contre la perte de chaleur par rayonnement vers l'espace : les plus basses sont ainsi les mieux abritées. A quoi il faut ajouter que, sur les sommets ou dans les hautes régions de l'air, la proportion de ciel découvert vers lequel le rayonnement s'effectue est plus considérable que pour un point du sol de la plaine. Enfin une autre cause de refroidissement est l'évaporation, qui est d'autant plus active que l'air est plus sec et le ciel plus clair, et, sous ce rapport, la perte de chaleur doit être plus grande à mesure qu'on s'élève davantage dans l'atmosphère.

Tout ceci suppose que l'atmosphère reste calme et que l'échange de chaleur entre ses diverses couches et le sol se fait sans qu'il y ait perte d'équilibre entre elles. Il n'en est généralement pas ainsi, parce que certains points des couches voisines du sol, plus échauffées que d'autres, s'élèvent en vertu de la diminution de densité qui en résulte pour elles; de plus, à mesure qu'elles s'élèvent, la pression qu'elles supportent diminue et leur dilatation va en croissant. Or, à une telle augmentation de volume, qui n'est point produite par un travail extérieur, correspond nécessairement une consommation de chaleur; en un mot, elle a lieu aux dépens de la température de l'air qui se dilate et qui, en même temps, se refroidit. Ces courants ascendants ont pour contre-partie des

courants descendants. Une certaine quantité d'air des couches supérieures plus froides vient prendre la place de celle qui s'est élevée; étant soumise en descendant à des pressions croissantes, elle diminue de volume; mais comme le travail de compression est, au contraire, extérieur à la masse d'air descendante, il détermine un accroissement de température. Si donc, comme le dit M. Martins, « la dilatation de l'air des courants ascendants est une cause de froid pour les hautes régions qu'il atteint, » la compression des courants descendants produit au contraire une élévation de température pour l'air des couches les plus basses.

Telles sont les principales causes de l'inégalité de température que l'observation a permis de constater dans les couches successives de l'atmosphère, du froid intense de l'air des hautes montagnes ou des régions auxquelles sont parvenus les aéronautes, et en général du décroissement de la température avec l'altitude.

VII

La température et les vents.

D'après tout ce qu'on vient de voir, la température de l'air, en un lieu donné, est sous la dépendance directe des variations d'intensité de la radiation solaire, ainsi que des actions physiques corrélatives, telles que la déperdition par voie de rayonnement, d'évaporation, liée elle-même à la sérénité plus ou moins grande de l'atmosphère, et les mouvements

de l'air dans le sens de la verticale, provenant des variations de densité des couches. Mais les effets qui résultent de la combinaison de ces éléments divers de la température peuvent être et sont, en effet, souvent profondément modifiés par un autre agent météorologique, dont nous avons vu déjà l'influence sur la pression atmosphérique : ce sont les vents, qui, selon leur force et surtout selon leur direction, amènent, dans le lieu où ils soufflent, tantôt un abaissement, tantôt une élévation de température.

Dans nos climats de la zone tempérée boréale, tout le monde sait que les vents de la région sud sont généralement chauds, que les vents de la région nord, au contraire, sont des vents froids. Le tableau suivant, qui donne, d'après O. Eisenlohr, les moyennes annuelles des températures observées par chaque direction du vent, en diverses stations d'Europe, met en évidence ce contraste entre les vents chauds et les vents froids ¹ :

	NW.	N.	NE.	E.	SE.	S.	SW.	W.
Paris.....	12° 4	12° 0	11° 8	13° 5	15° 3	15° 4	14° 9	13° 6
Carlsruhe..	11° 5	9° 9	8° 3	8° 5	12° 2	12° 6	11° 0	12° 2
Londres ...	8° 7	7° 6	8° 1	9° 6	10° 6	11° 3	10° 9	10° 2
Hambourg.	8° 4	8° 0	7° 6	8° 4	9° 5	16° 0	10° 1	9° 2
Moscou....	3° 3	1° 2	1° 4	3° 5	4° 0	6° 0	5° 7	5° 4

Pour trois de ces stations, Paris, Carlsruhe et Hambourg, le vent le plus froid est le nord-est;

1. Dans ce tableau, comme dans tout le reste de ce volume, nous faisons usage du W. pour la notation abrégée de la direction *Ouest*, conformément à la décision du congrès météorologique de Vienne.

c'est le nord pour Londres et Moscou. Pour toutes, Hambourg excepté, le vent du sud est le vent le plus chaud; mais les chiffres qui précèdent et qui suivent montrent que la direction réelle du vent le plus chaud est vers le S. S. W. On peut rendre



Fig. 17. — Rose thermométrique des vents pour Paris.

sensible à la vue cette influence, ou, si l'on veut, cette coïncidence de la direction des vents avec la moyenne température de l'air, en construisant ce que l'on nomme une *rose thermométrique des vents* pour chaque lieu. La figure 17 donne celle de Paris pour les deux saisons extrêmes, hiver et été, ainsi que la moyenne de l'année. La comparaison des deux courbes d'hiver et d'été montre que l'influence de la direction du vent varie dans une certaine mesure : si c'est entre le sud et le sud-ouest que souffle le vent le plus chaud pour l'année, en été, la direction change et passe au sud-est; en hiver, elle change en sens contraire et tourne vers l'ouest. Ces

différences peuvent s'exprimer aisément, si l'on admet cette règle, qui est d'ailleurs confirmée par de nombreux exemples, que les vents amènent avec eux la température du pays d'où ils viennent. C'est ce que fait fort bien ressortir M. Mohn : « Dans l'Europe occidentale, dit ce savant météorologiste, les vents (d'hiver) les plus chauds viennent du sud-ouest, c'est-à-dire des régions de la mer dans lesquelles l'axe de chaleur du courant chaud de l'Atlantique fait que la température est plus élevée vers l'ouest et le sud. En Russie et dans la Sibérie occidentale, où la chaleur s'accroît rapidement dans la direction du sud, les vents les plus chauds viennent également des régions du sud, et dans la partie de l'Amérique et de l'Asie où les isothermes se recourbent vers le nord-est, et où la chaleur s'accroît par conséquent davantage vers le sud-ouest, les vents les plus chauds viennent d'une direction qui tient le milieu entre le sud-est et le sud. Les vents les plus froids viennent des côtés opposés, c'est-à-dire des régions vers lesquelles la température diminue le plus rapidement : de l'est-nord-est à l'occident de l'Europe, du nord-est en Russie, du nord dans la Sibérie occidentale, et du nord-ouest dans l'Asie orientale. Ces directions convergent toutes vers le pôle de froid situé au nord de l'Asie. En Amérique, la distribution est analogue ; pendant l'hiver, les vents les plus froids de la côte orientale viennent du pôle de froid américain, et leur direction est par conséquent nord-nord-ouest.

« En été, les vents les plus chauds de l'Europe et de la Sibérie occidentale viennent du sud-est, de l'intérieur des terres chaudes. Sur la côte orientale

du continent, où les isothermes se dirigent de l'ouest-nord-ouest à l'est-sud-est, et où la chaleur augmente plus rapidement vers le sud-sud-ouest, c'est du sud-sud-ouest que viennent les vents les plus chauds. Les plus froids des vents d'été sont, en Europe, ceux du nord-ouest, qui viennent de la région froide de l'océan Atlantique du nord et de la mer Glaciale. En Norvège, dans la Russie septentrionale et dans la Sibérie occidentale, les vents les plus froids viennent du nord, c'est-à-dire de la mer Glaciale. Sur les côtes orientales du continent, c'est du nord-est que soufflent les vents les plus froids, et les vents les plus chauds viennent de la direction diamétralement opposée. »

CHAPITRE III

LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LA PRESSION ATMOSPHERIQUE

I

Le baromètre ; son emploi en météorologie.

L'atmosphère, cette enveloppe aérienne qui entoure le globe terrestre sur toute sa périphérie, est composée en majeure partie du mélange de deux gaz, l'oxygène et l'azote, dont la proportion paraît à peu près constante à toute hauteur et constitue l'air atmosphérique ; mais elle renferme aussi de la vapeur d'eau, tantôt à l'état de dissolution, tantôt précipitée en particules visibles formant les brouillards et les nuages ; le gaz acide carbonique, l'ammoniaque s'y trouvent également, mais en quantités variables, et d'ailleurs beaucoup plus faibles que la vapeur d'eau et *à fortiori* que l'azote et que l'oxygène.

Les limites de l'atmosphère ne sont pas bien déterminées : tandis que, par l'observation des phénomènes crépusculaires, sa hauteur a été évaluée par Biot à 48 kilomètres, au maximum à 60, d'autres observateurs l'ont portée beaucoup plus haut, à

160 kilomètres par Bravais, à 300 kilomètres par Liais, et ces derniers nombres semblent confirmés par la mesure de la hauteur à laquelle s'enflamment les bolides.

Quoi qu'il en soit, c'est surtout dans les couches inférieures, de 10 à 12 kilomètres d'épaisseur, que se passent la plupart des événements météorologiques capables de modifier le temps ; au delà, les couches supérieures de l'air sont dans un état relatif d'équilibre, sinon de calme parfait ; la vapeur d'eau, et, par conséquent, les nuages, n'y pénètrent guère ; les agitations causées par les vents, les orages ne s'y font pour ainsi dire pas sentir. Toutefois ces couches pressent de leur poids sur les couches inférieures et sur le sol, et contribuent ainsi, pour leur part, au phénomène que nous allons étudier dans ce chapitre, la *pression atmosphérique*.

En vertu de leur élasticité et de leur pesanteur, les couches atmosphériques se trouvent généralement rangées les unes au-dessus des autres dans l'ordre de leurs densités décroissantes, depuis le sol, sur lequel s'appuient les couches les plus denses, jusqu'à la surface limite de l'atmosphère. S'il était possible que la chaleur rayonnée par le Soleil et les espaces célestes fût à tout instant uniformément répartie sur tous les points de la surface du sol et dans toutes les parties de l'enveloppe atmosphérique, celle-ci se trouvant dans un état de parfait équilibre, la pression serait la même sur tous les points d'une même surface de niveau, pour la même altitude comptée du niveau de l'Océan. Le baromètre, en chacun de ces points, marquerait une pression constante, égale au poids de la colonne d'air reposant

sur le mercure de sa cuvette. Cette pression irait d'ailleurs en diminuant du niveau de l'Océan jusqu'aux limites de l'atmosphère, où elle serait nulle, en suivant une certaine loi.

Cette uniformité, cette constance de la pression atmosphérique n'existent pas, parce que les conditions dont nous venons de parler sont loin d'être remplies. On sait, en effet, que la température varie à tout instant, et à la surface de la Terre, et dans les couches de son enveloppe gazeuse; l'équilibre de ces couches est constamment troublé, et il en résulte pour la pression atmosphérique des variations qui se manifestent par la hausse ou la baisse du niveau du mercure dans le baromètre. A ces mouvements de l'air se rattachent, l'expérience le prouve, les divers phénomènes météorologiques dont l'ensemble constitue le temps qu'il fait, en une région, à une époque donnée. Le baromètre est donc un instrument capital en météorologie; ce n'est pas seulement une balance, dans laquelle se pèsent les couches superposées de l'atmosphère; mais, comme l'a dit en termes excellents M. Marié-Davy, c'est un dynamomètre qui fait connaître à chaque instant la force de ressort de l'air en mouvement. Les observations barométriques doivent être un des fondements les plus solides de la science.

Nous supposerons connue la description du baromètre, et les procédés qu'on emploie pour sa construction. Ce qu'on trouve à ce sujet dans les traités de physique les plus élémentaires demande seulement à être complété par quelques indications pratiques sur l'emploi de cet instrument en météorologie.

Le baromètre Fortin est le plus communément

employé, soit dans les stations météorologiques, soit en voyage. On sait que l'avantage principal de cet instrument réside dans la mobilité du fond de sa cuvette (fig. 18); une vis qui appuie sur ce fond permet de faire à volonté monter ou baisser le sac en peau sur lequel repose le mercure, et de produire l'affleurement précis de la surface du liquide dans la cuvette avec la pointe en ivoire qui coïncide avec le zéro de l'échelle barométrique. De la sorte, ce niveau reste constant. De plus, on peut, lorsqu'il s'agit de transporter l'instrument, relever le fond de la cuvette jusqu'à ce que le mercure la remplisse tout entière ainsi que le tube. Après quoi, le baromètre renversé, la cuvette en haut, on n'a plus à craindre de le voir brisé par les secousses du voyage ou rendu inutile par la rentrée de l'air dans la chambre barométrique ¹.

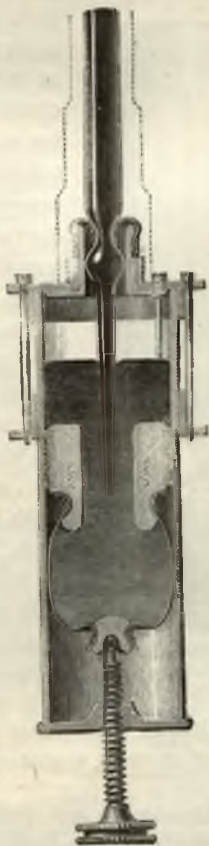


Fig. 18. — Cuvette du baromètre Fortin.

1. Arago, dans son *Astronomie populaire*, dit au sujet de ces accidents, qui étaient fréquents avec les anciens baromètres : « Remplir un nouveau tube et le soumettre à l'ébullition

Quand le baromètre devra être consulté à demeure fixe, on aura soin de le placer à la lumière du jour, près d'une fenêtre par exemple, mais à l'abri des rayons du soleil, et autant que possible dans une chambre sans feu, de façon à éviter les variations un peu brusques de température. On le suspendra dans une position verticale, position qu'il devra prendre de lui-même et dans laquelle il pourra être maintenu à l'aide d'un anneau muni de vis calantes, embrassant la cuvette sans la toucher. Ce mode d'installation est d'ailleurs applicable à tous les baromètres à poste fixe.

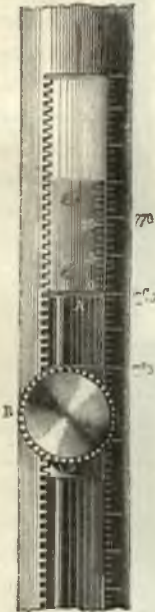


Fig. 19. — Échelle du tube barométrique; vernier.

Pour les observations en campagne, on se sert d'un support à trois branches, tel que le représente la figure 20, et qui est construit de manière à servir en même temps d'étui pour l'instrument. Une suspension à la Cardan assure la verticalité du tube aussitôt qu'on fixe le trépied pour une observation.

Chaque instrument porte fixé, tantôt intérieurement au tube, tantôt sur la planchette contre laquelle

semble alors le seul remède possible, mais une telle opération est longue, pénible, difficile, et dans certains pays, comme dans l'intérieur de l'Afrique, complètement inexécutable. Mon ami M. Boussingault m'a raconté que pendant ses voyages dans l'Amérique centrale, c'est-à-dire dans un pays à demi civilisé, il n'avait pas cassé moins de quatorze baromètres. »



Fig. 20. — Installation du baromètre pour une observation en voyage.

il est suspendu, un thermomètre destiné à indiquer sa propre température. Quand on veut faire une observation, c'est par la lecture du thermomètre qu'on doit invariablement commencer. Après cela, on vérifie l'affleurement de la pointe d'ivoire avec le mercure de la cuvette, en examinant si l'image de cette pointe est bien en contact avec la pointe même. S'il existe un intervalle, c'est que le mercure est trop bas ; si la pointe pénètre dans le mercure, la dépression est aisée à constater, parce qu'alors l'image réfléchie d'une ligne droite se trouve déformée au voisinage de la pointe. Dans ce cas, le mercure est trop haut. En manœuvrant la vis de la cuvette, on amène aisément le mercure au niveau convenable pour l'affleurement.

Il s'agit alors de procéder à la lecture de la hauteur du baromètre. Un vernier, mobile à l'aide d'un bouton de vis, permet d'apprécier des fractions de millimètre, ordinairement des dixièmes. Mais il importe de bien s'assurer que le bord inférieur du vernier, qui porte la division *zéro*, est parfaitement tangent au sommet du ménisque du mercure. Voilà pourquoi il importe que cette partie du baromètre soit bien éclairée. On facilite cet examen en fixant derrière le tube un petit miroir qui réfléchit la lumière de la fenêtre, ou en glissant par derrière un morceau de papier blanc.

Toutes les fois qu'on va faire une lecture, il faut avoir soin de donner quelques petits coups secs au tube de l'instrument, afin de vaincre l'adhérence du mercure au verre et de ramener le niveau à sa hauteur normale, que cette adhérence peut altérer.

On voit que l'observation du baromètre Fortin ne

laisse pas d'être assez délicate. Aussi, dans le but d'en supprimer la partie la plus difficile, celle qui a pour objet de bien établir l'affleurement du mercure à la pointe d'ivoire, M. Renou a-t-il fait construire par M. Tonnelot un baromètre à large cuvette (fig. 21), à fond fixe, où dès lors le niveau du mercure n'est plus constant. Mais comme la section de la cuvette est très grande par rapport à celle du tube, la variation de hauteur du mercure y est très faible. Si son diamètre vaut dix fois le diamètre du tube, la surface sera cent fois plus grande, la variation de niveau sera cent fois plus faible dans la cuvette que dans le tube. Quant à l'installation du baromètre Tonnelot, à l'observation et à la lecture des hauteurs, elles se font identiquement comme pour le baromètre Fortin. Mais il n'a point l'avantage qu'a ce

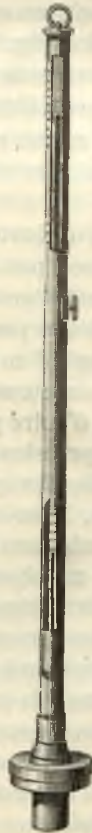


Fig. 21. — Baromètre à large cuvette.



Fig. 22. — Baromètre à mercure pour la marine.

dernier de pouvoir être transporté sans difficulté et de servir aux observations en campagne : c'est un baromètre de station fixe.

L'emploi du baromètre à mercure sur les navires exige des dispositions spéciales et un mode particulier de suspension (fig. 22) ayant pour objet d'éviter l'effet des mouvements de roulis et de tangage, qui produiraient une oscillation continuelle de la colonne de mercure et même pourraient briser le tube en projetant le liquide contre le sommet de la chambre barométrique.

Il est rare qu'un baromètre à mercure, à cuvette ou à siphon ne soit pas en erreur constante avec un baromètre normal. Une double cause peut contribuer à ce résultat. D'une part, le zéro des divisions de l'échelle, s'il s'agit d'un baromètre Fortin, peut ne pas coïncider exactement avec l'extrémité de la pointe d'ivoire; d'autre part, la capillarité détermine une certaine dépression du mercure, qui dépend du diamètre du tube dès que ce diamètre est inférieur à 2 centimètres. Pour connaître la correction constante à faire subir aux lectures par suite de cette double erreur, on observe l'instrument en même temps qu'un baromètre étalon ou normal, comme en possèdent les grands fabricants ou mieux les observatoires météorologiques. Cette *comparaison* du baromètre une fois connue, il est aisé d'en tenir compte dans les observations, en ajoutant ou retranchant des lectures la correction qu'elle a indiquée. Avec le temps cependant, cette correction peut varier et la comparaison doit être répétée.

Les corrections indiquées par la comparaison de l'instrument avec un baromètre étalon sont con-

stantes. Celles dont nous allons parler maintenant sont variables : elles sont nécessitées par les changements de la température ou de l'altitude du lieu de l'observation. Il est aisé de comprendre que, pour être comparables, les observations doivent être réduites à une même température fixe; le mercure se dilatant par l'effet de la chaleur, une même hauteur de mercure ne mesure pas une même pression si elle est observée à des températures différentes, puisque alors les deux colonnes égales n'ont pas même poids. Mais la température ne change pas seulement le volume et, par suite, la densité du mercure; elle modifie également la longueur des divisions de l'échelle, ordinairement en laiton. En tenant compte de ces deux causes d'erreur, on trouve aisément la formule donnant la correction à faire à une hauteur barométrique H , lue à la température de t° , pour la réduire à la hauteur que la même pression donnerait au mercure si la température était zéro; mais, pour éviter des calculs fastidieux, on a composé des tables de correction à double entrée, donnant pour chaque pression et pour des températures comprises entre 0 et 45 degrés (limite approchée de la température de nos climats), de cinquième en cinquième ou même de dixième en dixième de degré, le nombre de millimètres à retrancher ou à ajouter pour chaque observation.

Une autre réduction importante est celle qui a pour objet de tenir compte de l'altitude du lieu de l'observation, ou de calculer la hauteur barométrique pour le niveau de la mer. Cette correction est nécessaire quand l'observation doit concourir, avec d'autres observations faites à la même heure en des

stations plus ou moins éloignées, au tracé des lignes d'égalité de pression sur la région qu'elles comprennent.

Cette correction suppose que l'on connaît l'altitude du lieu de l'observation; si les nivellements géodésiques ne la donnaient point, il faudrait préalablement la déterminer par une opération au niveau d'eau, qui donnerait la différence de niveau avec un point voisin dont la cote d'altitude serait connue.

Les baromètres à mercure donnent seuls des indications précises. Malheureusement, les instruments de ce genre bien construits sont d'un prix élevé; leur installation exige des précautions, et l'observation elle-même demande, outre une lecture attentive, des corrections assez longues, qui deviennent pénibles quand elles se répètent fréquemment. En voyage, ils peuvent être mis hors de service ou détruits, si l'on ne prend pas, pour leur transport, des soins qui ne sont pas toujours à la portée des observateurs, surtout s'ils explorent des contrées peu connues ou peu civilisées.

Les baromètres à mercure sont indispensables dans les stations météorologiques d'une certaine importance; toutefois on emploie fréquemment aujourd'hui, pour les observations courantes, les baromètres métalliques, *holostériques* ou *anéroïdes*, par exemple ceux de Bourdon et de Vidie. Ces instruments donnent, sur un cadran gradué par comparaison avec un baromètre à mercure, la pression atmosphérique de l'heure et du lieu de l'observation. Mais comme le mouvement de l'aiguille dépend de l'action d'un ressort et de celle de la pression de l'air sur un tube où sur un tambour métallique à parois très minces, et que l'élasticité de ces parois

est variable avec la température et se modifie lentement avec le temps, il importe qu'on fasse souvent



Fig. 23. — Baromètre holostérique ou anéroïde, de Vidie.

la comparaison de ces instruments avec un baromètre à mercure.

Lorsqu'un baromètre anéroïde doit être installé à poste fixe, on le règle ordinairement de façon qu'il

marque directement la pression réduite au niveau de la mer. Ce réglage est fait par les constructeurs, à qui l'observateur doit indiquer l'altitude du lieu où l'instrument sera fixé. Quant à la comparaison qu'on doit en faire fréquemment avec un baromètre étalon, elle n'exige qu'un réglage facile à exécuter à l'aide d'une vis placée au fond de la boîte métallique de l'instrument. En tournant cette vis dans un sens ou dans l'autre, on fait marcher l'aiguille, à droite ou à gauche, du nombre de divisions voulues pour que la correction se fasse. Ce mouvement de la vis doit s'effectuer lentement et avec précaution.

Les marins, les voyageurs, les aéronautes se servent fréquemment du baromètre métallique, dont l'imperfection est compensée par la commodité de son usage et la facilité de son transport. C'est l'instrument presque universellement adopté pour les stations météorologiques agricoles.

Les baromètres à mercure, comme les baromètres métalliques, dont il vient d'être question ici, ne permettent que des observations isolées donnant l'état de la pression au moment même de l'observation. Il en résulte que, si l'on tient à suivre la marche de cette pression d'une manière un peu continue, il faut multiplier les lectures et s'astreindre, par suite, à une besogne sinon très pénible, du moins fort assujettissante. Pour remédier à cet inconvénient, on a construit des appareils enregistrant la pression d'une façon continue, par le tracé automatique d'une courbe qui suit, la nuit aussi bien que le jour, toutes les variations par lesquelles passe cet élément important. On donne à ces instruments le nom de *barométrographes* ou de *barographes*. Les uns don-

nent les indications du baromètre à mercure; tels sont les enregistreurs Salleron, Rédier. D'autres,

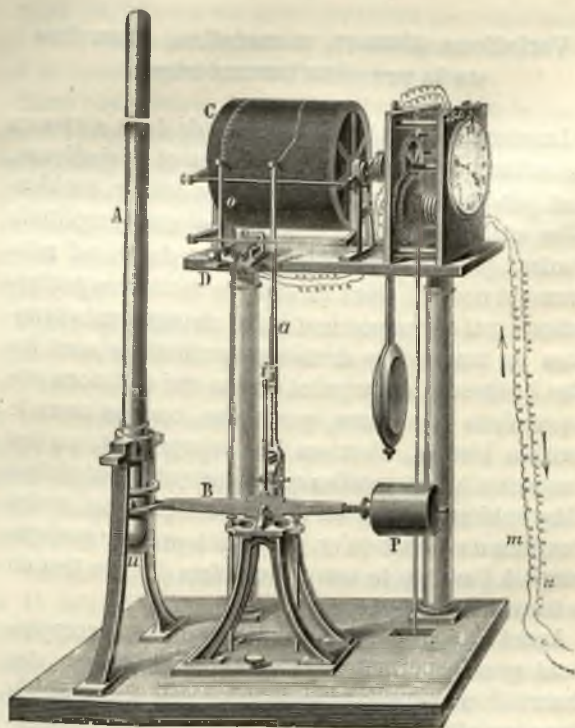


Fig. 24. — Baromètre enregistreur Salleron.

comme l'enregistreur Richard, emploient les mouvements d'un baromètre métallique. Nous renverrons le lecteur, pour la description de ces appareils, aux traités spéciaux de météorologie, ou au tome V de notre *Monde physique*.

II

**Variations diurnes, mensuelles, annuelles
de la pression barométrique.**

Les variations du baromètre sont de deux sortes en un même lieu. Les unes, *régulières et périodiques*, sont généralement assez faibles; les autres, *accidentelles et irrégulières*, ont parfois une amplitude d'autant plus considérable que leur durée est relativement courte; alors ce sont de véritables perturbations, qui correspondent à des changements brusques du temps. Ces dernières oscillations sont les plus intéressantes au point de vue qui doit nous occuper dans ce volume, parce que, comme nous le verrons bientôt, c'est en les interprétant, en les comparant à toutes celles que signalent les dépêches télégraphiques émanées de régions plus ou moins étendues du globe, qu'on parvient à prévoir quelque temps à l'avance le temps qu'il fera dans le lieu où se trouve l'observateur.

Avant qu'on parvint à réunir, aussi promptement que le permet la télégraphie électrique, des observations simultanées de la pression atmosphérique, on attachait aux variations de cette pression fournies par une station isolée, aux valeurs absolues de cette pression, une signification qui se traduit encore maintenant, sur l'échelle des divisions des baromètres, par des indications du temps ainsi formulées : *beau fixe, beau, variable, pluie ou vent, grande pluie, tempête*, etc. Ces indications ne sont pas toujours inexactes, mais il ne faut pas y attacher

d'importance, parce qu'elles se trouvent fréquemment en défaut. Nous y reviendrons.

Cela dit, voyons en quoi consistent les variations périodiques du baromètre, et commençons par celles qui se manifestent dans la durée d'un jour.

Dans nos climats de la zone tempérée, où la colonne barométrique oscille sans cesse entre des limites assez étendues, il eût été difficile peut-être de démêler la loi des variations diurnes, qui a été, au contraire, aisément reconnue entre les tropiques, où la marche du baromètre affecte une grande régularité.

Voici, en général, comment varie, dans l'intervalle d'un jour, la pression barométrique en un lieu situé dans le voisinage de l'équateur. Entre 8 et 10 heures du matin, le mercure, qui depuis 4 heures s'élève progressivement, atteint son maximum de hauteur, pour redescendre ensuite lentement jusque vers 4 heures de l'après-midi; c'est entre 3 et 4 heures qu'il est à sa hauteur minima. Il remonte, à partir de ce moment, jusqu'à 10 ou 11 heures du soir, où il parvient à un second maximum, puis baisse de nouveau pendant la nuit jusqu'à 4 heures du matin, instant du second minimum. Il est à remarquer que le maximum de 10 à 11 heures du soir est ordinairement moins élevé que celui de 9 heures du matin; de même, à 4 heures du matin, le mercure ne descend pas aussi bas que dans le minimum de 4 heures du soir.

Cette double oscillation, qui s'observe à toutes les latitudes, est si constante, si marquée et si régulière dans les régions tropicales, qu'on a pu dire que l'observation du baromètre pourrait suppléer à l'absence

d'horloges et donner l'heure avec une suffisante exactitude ¹.

La comparaison des observations faites en des lieux différents a, en outre, démontré les lois suivantes, régissant les oscillations barométriques diurnes. La position géographique ou la latitude des lieux paraît être sans influence sur les heures des maxima et des minima, c'est-à-dire sur ce qu'on nomme les *heures tropiques*. Mais il n'en est pas de même de l'amplitude de ces mêmes oscillations, c'est-à-dire de l'écart moyen qui existe entre les maxima et les minima diurnes observés pendant une période suffisamment longue. La comparaison des résultats obtenus par un grand nombre d'observateurs a prouvé de la manière la plus évidente que l'amplitude des oscillations diurnes est la plus grande possible près de l'équateur. De là, elle décroît en allant vers les pôles, et elle est nulle entre 60° et 75° de latitude, c'est-à-dire vers le cercle polaire.

D'après Kaemtz, la valeur moyenne de l'oscillation diurne serait 2^{mm},28 à l'équateur même; mais la valeur de l'amplitude dépasse souvent de beaucoup ce nombre, comme le prouvent notamment les observations rapportées par Boussingault et effectuées

1. « L'étude de ces variations a été longtemps pour moi, dit Humboldt, un sujet d'observations assidues de jour et de nuit. Leur régularité est si grande, qu'on peut, à la simple inspection du baromètre, déterminer l'heure, surtout pendant le jour, sans avoir à craindre, en moyenne, une erreur de plus de 14 à 17 minutes; elle est si permanente, que ni la tempête, ni l'orage, ni la pluie, ni les tremblements de terre ne peuvent la troubler; elle persiste dans les chaudes régions du littoral du Nouveau-Monde, comme sur les plateaux élevés de plus de 4000 mètres, où la température moyenne descend à 7°. » (*Cosmos*, I.)

à diverses altitudes entre le 10^e degré de latitude boréale et le 5^e degré de latitude australe, observations donnant des amplitudes comprises entre 3 millimètres et 4 millimètres et demi. Depuis, M. Lœwy a trouvé jusqu'à 4^{mm},75 pour l'oscillation diurne observée à Honda.



Fig. 25. — Les variations barométriques diurnes, dans l'intervalle d'une semaine, d'après le tracé du baromètre enregistreur.

L'oscillation barométrique diurne, dont l'amplitude diminue quand l'observateur se déplace dans le sens d'un méridien, de l'équateur au pôle, suit une loi toute semblable, si, sans changer de latitude, on transporte le baromètre à des altitudes de plus en plus élevées. Des observations faites par Kaemtz à Zurich, sur le Righi, à Genève et au Faulhorn, ont mis cette loi en évidence. Tandis que la différence des maxima et minima moyens était de 0^{mm},644 à Zurich, elle était seulement de 0^{mm},237 sur le Righi; pendant qu'elle était de 0^{mm},897 à

Genève, elle n'atteignait sur le Faulhorn que 0^{mm},268.

L'oscillation diurne varie aussi dans un même lieu, avec l'époque de l'année ou les saisons. Dans les pays tropicaux, elle est moindre pendant la saison des pluies; dans nos climats, c'est en hiver qu'elle atteint le minimum; le maximum a lieu pendant les mois d'été. Les heures des maxima et des minima, ou heures tropiques, varient aussi avec les saisons; elles suivent à peu près, dans leurs variations, les heures du lever et du coucher du Soleil.

Telles sont les lois des mouvements diurnes de la pression. Les observations ont prouvé, en outre, que la pression atmosphérique est sujette à des variations d'une plus grande période, qu'elle change, en un même lieu, d'une année à l'autre, ou dans le cours d'une année, avec les saisons ou les mois, qu'elle dépend en outre de la position géographique ou de la latitude des lieux.

Sans entrer dans le détail de ces variations, qui sont du ressort d'un traité complet de météorologie, nous en donnerons une idée sommaire en reproduisant ici un certain nombre de courbes qui traduisent à l'œil les oscillations mensuelles ou annuelles de la pression barométrique. Mais, pour cela, nous devons commencer par dire ce qu'on entend par la pression barométrique d'une station donnée. Puisque la hauteur de la colonne mercurelle est sans cesse variable, il s'agit évidemment de la *pression moyenne*, pendant toute la durée de la période que l'on considère. Pour l'obtenir, on cherche d'abord la pression moyenne de chaque jour; en prenant la moyenne de toutes les pressions moyennes des jours d'un mois, on a la moyenne du

mois ou *mensuelle*. Celle de l'année s'obtiendra en prenant la moyenne soit des pressions des divers jours de l'année, soit celle des pressions mensuelles. C'est, comme on voit, une question de calcul, calcul très simple, quoique souvent assez long, et qui se ramène à la recherche de la pression moyenne diurne.

S'il était nécessaire de faire chaque jour un grand nombre d'observations du baromètre, d'heure en heure par exemple, la tâche serait d'autant plus pénible que chaque observation doit subir, comme on l'a vu, plusieurs corrections. Heureusement, on peut obtenir la pression moyenne du jour en se contentant d'observations faites toutes les trois ou même toutes les huit heures. On aura la hauteur barométrique moyenne d'une façon très approchée en observant trois fois par jour, à 6 heures du matin, à 1 heure et 9 heures du soir. Enfin, en toute rigueur, deux observations peuvent suffire, pourvu qu'on les fasse à l'heure du maximum du matin et à celle du minimum du soir, soit à 9 heures du matin et à 4 heures du soir dans nos climats. « Le baromètre atteint sa hauteur moyenne, dit Kaemtz, dans les environs de midi, en général entre midi et une heure; le moment varie suivant les saisons. »

Voici maintenant les résultats généraux obtenus. D'après les observations de divers savants (Humboldt, J. Herschel, Schouw, Erman, etc.), la pression de l'atmosphère est généralement moindre entre les tropiques que dans les zones tempérées; mais ensuite, si l'on s'avance vers les régions polaires, on observe une variation inverse et la pression va en diminuant à mesure que la latitude augmente.

« En moyenne, dit Kaemtz, on peut admettre qu'au bord de la mer la pression atmosphérique est de 761^{mm}, 35. »

S'il est intéressant de connaître la répartition de la pression de l'atmosphère dans les diverses régions du globe, il ne l'est pas moins de savoir comment elle varie pendant le cours de l'année. C'est ce que permet la comparaison des pressions moyennes aux différents mois. Les figures 26 et 27 vont nous fournir les éléments de cette comparaison.

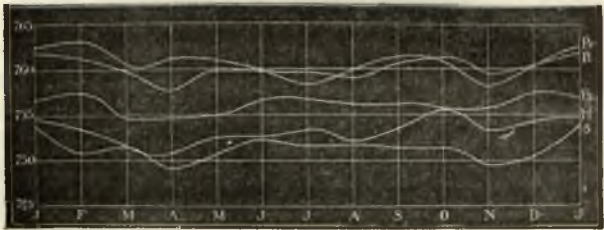


Fig. 26. — Hauteurs moyennes mensuelles du baromètre.
Latitudes moyennes.

La première donne les courbes des pressions mensuelles moyennes pour cinq stations de la zone tempérée boréale, comprises entre le 48^e et le 60^e parallèle : S, Strasbourg; H, Halle; Pa, Paris; B, Berlin, et Pe, Pétersbourg. Dans la seconde sont figurées les mêmes courbes pour cinq stations dont la latitude est tropicale (du 22^e au 30^e degré), savoir : B, Bénarès; C, Calcutta; LC, Le Caire; LH, La Havane, et M, Macao. Or, dans ces dix stations, le baromètre atteint sa plus grande hauteur mensuelle aux environs du solstice d'hiver, c'est-à-dire aux époques où la température est, au contraire, la plus

basse. Le minimum barométrique correspond aux mois les plus chauds, dans le voisinage du solstice d'été. D'une manière générale, le baromètre est plus haut en hiver qu'en été. Mais la loi est bien plus marquée dans les basses latitudes que dans les pays

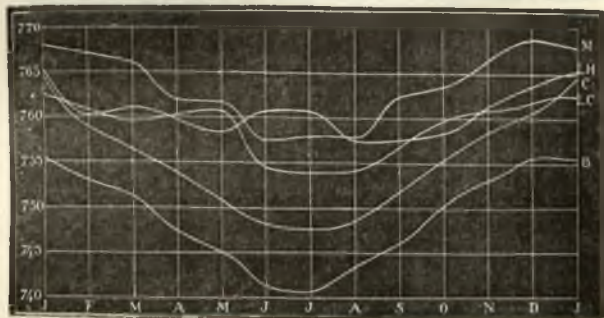


Fig. 27. — Hauteurs moyennes mensuelles du baromètre, dans les basses latitudes.

de la zone tempérée, et l'écart entre le maximum et le minimum y est beaucoup plus considérable.

III

Variations irrégulières du baromètre.

Les perturbations, les variations irrégulières ou accidentelles du baromètre ne sont pas moins intéressantes que les variations périodiques. Elles coïncident le plus souvent avec des changements plus ou moins brusques du temps, ou bien les précèdent et les annoncent : coups de vent, pluies, orages et

bourrasques, cyclones et tempêtes ne se produisent point sans un mouvement souvent considérable de la colonne de mercure du baromètre. A ce titre, les oscillations accidentelles frappent bien plus que les premières l'imagination du public, et elles méritent toute l'attention des hommes de science, étant l'élément fondamental de l'étude des grands mouvements de l'atmosphère.

On a d'abord cherché si, malgré leur caractère irrégulier et accidentel, ces mouvements de la pression sont soumis à certaines lois, si leur amplitude dépend de la position géographique ou de l'époque de l'année, s'il existe un rapport entre eux et les autres éléments météorologiques, par exemple la direction du vent. On a relevé pour différents lieux les amplitudes des oscillations extrêmes, soit pour l'année entière, soit pour chaque mois ou encore pour les saisons estivales et hivernales. Et le résultat de ces recherches a été le suivant : les amplitudes des variations comprises entre les maxima et les minima mensuels vont en croissant d'une manière presque continue à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur. Cette loi s'applique également aux mois d'été et aux mois d'hiver, dans l'hémisphère austral comme dans l'hémisphère boréal. Partout aussi l'amplitude moyenne est plus grande pendant l'hiver que pendant l'été. Kaemtz formule en ces termes l'influence de la position géographique des stations.

« Quoique l'Inde, dit-il, soit située sous le même parallèle que les Antilles, cependant les oscillations y sont beaucoup plus grandes. Dans les latitudes plus élevées, on trouve d'autres relations. Les variations accidentelles sont beaucoup plus étendues sur

la côte orientale de l'Amérique que sur la côte occidentale d'Europe : le maximum de la différence se trouve au point où le Gulf-Stream tourne à l'est et où les isothermes sont très rapprochées l'une de l'autre. Ainsi dans l'État de Massachusetts les oscillations ont la même amplitude que 10 degrés plus au nord dans l'Europe occidentale; mais, en pénétrant dans l'intérieur de l'ancien continent, elles diminuent toujours et paraissent croître de nouveau sur la côte orientale de l'Asie. Leur amplitude est égale à Gœttingue, Tomsk et Jakoutsk (latitudes de 51° 32', 56° 29' et 62° 2').

« Sur la côte occidentale de l'Amérique, l'oscillation est la même à latitude égale que celle de la côte correspondante de l'Europe, comme le prouvent les observations faites à Sitcha et Iloulouk. Dans l'intérieur de l'Amérique, elle est moindre que sur les côtes. »

Voyons maintenant comment la pression varie avec la direction des vents, dans les diverses régions du globe. D'une manière générale, elle est plus élevée avec les vents froids, plus basse quand soufflent les vents chauds; elle s'élève ou s'abaisse suivant la direction des vents régnants.

Dans l'Europe occidentale, le baromètre monte quand le vent souffle d'entre le nord et l'est; il baisse, au contraire, quand il vient d'un point de l'horizon compris entre l'ouest et le sud. Mais la loi ainsi formulée présente des exceptions ou des anomalies qui ne sont pas encore toutes expliquées.

Cette relation entre le vent et le baromètre est connue depuis longtemps. Mais c'est seulement dans les premières années de ce siècle que Burc-

kardt et Bouvard à Paris, Ramond à Clermont-Ferrand, de Buch à Berlin l'ont mise en pleine évidence par le relevé de nombreuses observations barométriques.

A Paris, les vents d'entre sud et ouest sont les plus chauds et les plus humides ; ceux d'entre est et nord, les plus secs et les plus froids. Or les pressions barométriques les plus hautes coïncident avec ceux-ci, et le maximum a lieu par la direction du nord même. Les plus faibles pressions coïncident avec les vents des quatre premiers rumb : le minimum a eu lieu par le vent du sud-sud-ouest (752^{mm},49).

Depuis, les travaux de Dove, de Kuppfer, de Schouw, de Kaemtz, etc., ont étendu sur toute l'Europe la relation entre la pression et la direction du vent, reconnue d'abord pour quelques points seulement. Mais suivant la position géographique, selon la proximité et l'éloignement des côtes maritimes, en un mot selon les caractères qu'affectent les vents dans chaque région considérée, les maxima et minima de la pression se rapportent à telle ou telle direction des courants atmosphériques. Ainsi, aux États-Unis, le baromètre monte avec les vents du nord-ouest et baisse avec ceux du sud-est.

A l'approche de la pluie, le baromètre est le plus souvent bas. Il baisse même très rapidement et fortement peu avant un orage, et si ses oscillations sont prolongées, si la dépression de la colonne de mercure s'accroît, c'est un signe précurseur d'une violente tempête. Dans nos climats, la pluie est généralement amenée par le vent d'entre le sud et l'ouest. C'est aussi le plus souvent de cette direction

que nous parviennent les grandes perturbations atmosphériques. Or nous venons de voir que les basses pressions coïncident avec les courants humides et chauds. On comprend donc la liaison qui existe entre la marche du thermomètre, les changements de direction du vent, la pluie et les orages. Toutefois, en ce qui concerne la pluie, il faut distinguer entre les averses courtes et isolées, où le baromètre commence par monter pour redescendre ensuite, et les pluies continues, qui sont caractérisées par une baisse constante de la colonne barométrique. Dans ce dernier cas, c'est ordinairement à 5 ou 6 millimètres au-dessous de la pression moyenne que descend le mercure. Nous reviendrons plus loin avec des détails plus circonstanciés sur la relation qui existe entre le phénomène de la pluie et la pression de l'atmosphère.

En ce qui regarde les tempêtes, nous nous bornerons ici à donner un ou deux exemples de la rapidité des changements qui affectent le niveau barométrique et de l'amplitude de ses oscillations pendant la durée du passage du météore sur le lieu de l'observation. Nous verrons en même temps le contraste qui se montre alors entre la marche de la température et celle de la pression.

Examinons les courbes tracées dans les figures 28 et 29. Dans chacune, ces lignes sont au nombre de deux : l'une, en traits pleins, indique les diverses hauteurs du baromètre pendant la tempête, aux heures successives où il fut observé ; l'autre, en traits ponctués, donne les degrés centigrades de la température. La figure 28 se rapporte à la violente tempête qui eut lieu dans la nuit du 24 au 25 décembre 1821

et qui aborda le continent européen par les côtes de l'Atlantique et de la Manche. La colonne mercurielle descendit à Paris le 25, à 11 heures un quart du soir, à $713^{\text{mm}},11$, et à Boulogne, à 5 heures du matin, le même jour, elle était tombée à $710^{\text{mm}},47$, ainsi

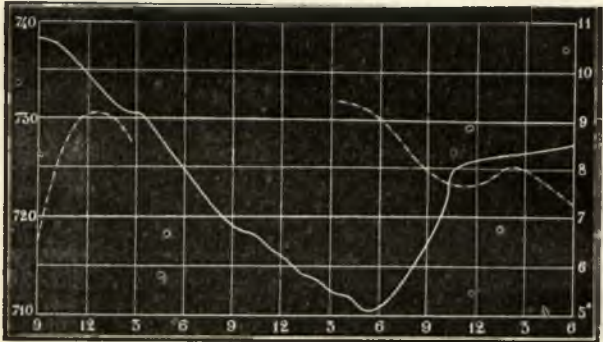


Fig. 28. — Marches comparées de la température et de la pression barométrique observées à Boulogne-sur-Mer par Gambart, pendant la tempête du 24 au 25 décembre 1821.

qu'on le voit dans la figure. La veille, à 9 heures du matin, le baromètre marquait $738^{\text{mm}},37$, à Boulogne, et il se releva jusqu'à $727^{\text{mm}},40$ à 5 heures et demie de l'après-midi, à la fin de l'ouragan. La température, incomplètement observée, s'est élevée au contraire de plusieurs degrés, pendant que la pression subissait une chute si rapide, pour baisser à son tour à partir de l'instant du minimum barométrique, pendant que le baromètre remontait. Arago, en rapportant ces observations, dit que depuis 1785, époque où avait commencé à l'Observatoire de Paris « un cours régulier d'observations

météorologiques, on n'avait jamais vu la colonne de mercure aussi courte ».

La figure 29, qui se rapporte à une tempête du mois de janvier 1843, donne la marche simultanée du baromètre et du thermomètre pendant les jour-

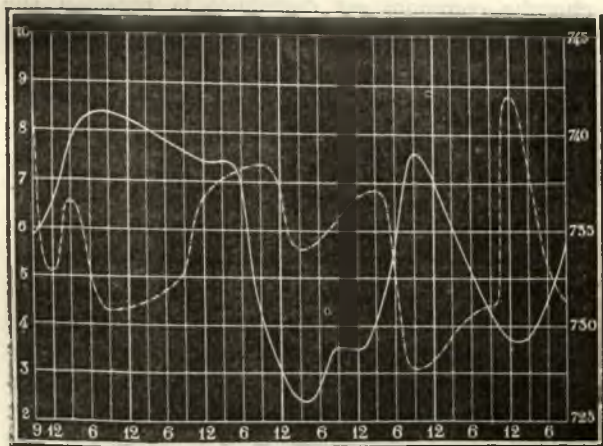


Fig. 29. — Marches simultanées du baromètre et du thermomètre à Paris pendant les ouragans du mois de janvier 1843.

nées des 10, 11, 12 et 13 janvier, telle qu'elle a été observée à l'Observatoire de Paris. Les oscillations du mercure dans les deux instruments ont subi, à fort peu de chose près, les mêmes alternatives de maxima et de minima, mais en sens opposé, un maximum thermométrique ayant pour contre-partie un minimum barométrique et réciproquement.

Dans le chapitre que nous consacrerons à l'étude des mouvements tournants de l'atmosphère, bour-

rasques et cyclones, nous donnerons des exemples des oscillations que subit la colonne barométrique avant, pendant et après le passage du centre de la tourmente.

Si, au lieu de considérer une station isolée, on cherche comment est distribuée la pression sur toute une contrée, et si l'on note sur la carte tous les points où sa valeur, corrigée et réduite au niveau de la mer, est la même au même instant, on reconnaît le plus souvent que ces points s'échelonnent sur une ligne continue. Ce sont de telles lignes qui ont reçu le nom d'*isobares*.

Les isobares forment presque toujours des systèmes de courbes parallèles et concentriques, indiquant que la pression barométrique croît ou décroît graduellement à partir d'un lieu qui, dans le premier cas, est un *centre de dépression*, un *centre de forte pression* dans le second cas. Plus les isobares sont rapprochées, plus la pression croît ou décroît rapidement à partir du centre. On nomme *gradient* le nombre de millimètres dont la pression varie d'une isobare à l'autre, pour chaque unité de distance (lieue géographique) comptée suivant une direction perpendiculaire à deux isobares consécutives, ou suivant la ligne de *plus grande pente* de ces sortes de courbes de niveau.

On verra plus loin quel parti on tire aujourd'hui du tracé des isobares, de la direction et de la valeur du gradient, pour la discussion des cartes météorologiques.

CHAPITRE IV

LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : L'HUMIDITÉ DE L'AIR

La vapeur d'eau dans l'air. — Évaporation.

L'air, avons-nous dit, contient des quantités variables de vapeur d'eau. C'est un élément qui joue, dans le temps, un des rôles les plus considérables, soit qu'il se trouve dans l'atmosphère à l'état de parfaite dissolution, auquel cas il est invisible, soit que, dans des circonstances qui dépendent de son abondance relative, de la pression et de la température, il se précipite sous forme de nuages ou de brouillards. Dans ce second cas, la vapeur d'eau atmosphérique détermine toute une série de phénomènes des plus variés, qui vont faire maintenant l'objet de notre étude.

En raison de leur origine commune, ces phénomènes ont reçu la dénomination de *météores hygrométriques* ou *aqueux*, ou encore d'*hydrométéores*. Ce sont ceux qui contribuent le plus à donner aux diverses régions de la planète leur physionomie

particulière. En chaque lieu, ils différencient de même soit les saisons de l'année, soit, dans chaque saison, les mois et les jours. Leur influence sur le développement des êtres organisés, sur la végétation comme sur la vie et le développement des animaux, est immense. On a peine à se figurer quel désert deviendrait la surface du globe terrestre en l'absence de tout météore hygrométrique : les astronomes seuls s'en font une idée en braquant leur télescope sur le disque de la Lune et en contemplant l'écorce nue et scorifiée de ce cadavre de corps céleste, sans air, sans eau et sans vie. Sur notre Terre, quel spectacle varié et changeant, au contraire ! La sécheresse ou l'humidité de l'air et du sol s'y succèdent, en un même lieu, dans les proportions les plus larges, accompagnées tantôt d'un ciel d'une sérénité presque absolue, tantôt d'un jour voilé et sombre ; brumes, brouillards, nuages, pluies, neiges, brises légères et vents violents, grains et bourrasques, ouragans et tempêtes, avec tout leur cortège de phénomènes électriques, produisent dans notre atmosphère cette étonnante diversité d'aspects qui en font un kaléidoscope aux images d'une mobilité et d'une légèreté pour ainsi dire infinies. Toutefois laissons là ce côté des phénomènes, si propre à émouvoir l'artiste et le poète, mais étranger à la science, qui ne s'en occupe que pour essayer d'en trouver les raisons et les causes.

Il est aisé de constater la présence de la vapeur d'eau dans l'air, en la condensant ou en la précipitant par un abaissement convenable de température. Quand on monte, de la cave à l'air chaud du dehors ou d'une chambre, une carafe pleine d'eau glacée,

on voit aussitôt la surface du verre se ternir par le dépôt d'une couche de buée ou de rosée, laquelle ne tarde pas, du reste, à s'évaporer à mesure que l'eau du vase se réchauffe au contact de l'air extérieur. Cette précipitation se fait d'ailleurs, naturellement dans l'air, sous l'influence d'un refroidissement suffisant : d'où les brouillards, les nuages, etc., qui accusent ainsi l'existence préalable de la vapeur d'eau atmosphérique.

Un moyen aisé de constater la présence de l'eau à l'état de vapeur dans l'air consiste à exposer à son action certaines substances dites *déliquescentes* tels sont la potasse, la soude, le sel marin, qui se liquéfient ou se délitent avec d'autant plus de rapidité que l'air est plus chargé de vapeur d'eau. Nombre de substances organiques, les cheveux, la corne, les fibres végétales ou animales, s'allongent par l'humidité; d'autres se raccourcissent, comme les cordes à boyau. On verra bientôt ces propriétés utilisées précisément pour la mesure de l'humidité atmosphérique.

La présence de la vapeur d'eau dans l'air s'explique de la façon la plus simple par l'évaporation spontanée qui se fait à tout instant à la surface du globe. La source la plus abondante de cette évaporation est la mer, qui, comme on sait, ne recouvre guère moins des trois quarts de la terre; puis ce sont les lacs, les fleuves et cette multitude de cours d'eau qui sillonnent les continents et les îles. Les parties solides y contribuent aussi pour une bonne part, partout du moins où les pluies imprègnent le sol d'humidité. Si le sol est couvert de végétation, prairies, champs en culture, forêts, l'évaporation est

plus active encore que dans les parties dénudées. Les neiges et les glaces émettent pareillement des vapeurs, en moindre quantité il est vrai, en raison de la basse température relative des régions qui en sont couvertes. On montre en effet, lorsqu'on étudie les lois de formation des vapeurs dans le vide comme dans l'air, que l'évaporation est d'autant plus active et, par conséquent, d'autant plus abondante, que la température de l'air et de l'eau est plus élevée. Aussi est-elle plus forte en été qu'en hiver, dans les régions tropicales que dans les zones tempérées et polaires. C'est que le phénomène de l'évaporation, le passage de l'état liquide à l'état gazeux, ne peut s'effectuer sans consommer une quantité de chaleur équivalente au travail de la disgrégation des molécules aqueuses. Cette chaleur est forcément empruntée au milieu ambiant, qui la fournit d'autant plus aisément que la température est plus élevée.

Si l'évaporation consomme de la chaleur, elle doit être accompagnée d'un abaissement de température. C'est ce que tout le monde peut constater, en effet. On sait que toutes les fois qu'on se trouve, pour une raison quelconque, en état de transpiration, et que la surface de la peau couverte de sueur est exposée à l'air, on éprouve une sensation de froid d'autant plus vive que l'évaporation est plus intense. Si le temps est sec, par exemple, et l'air peu chargé de vapeur d'eau, l'évaporation sera plus rapide que s'il approche de son état de saturation. Voilà pourquoi, par les temps chauds et humides, la chaleur semble si intolérable : l'évaporation y est presque nulle. Mais qu'un courant d'air, en renouvelant constamment les parties aériennes en contact avec la peau,

viennent à rendre l'évaporation plus active, on ressentira immédiatement la sensation de fraîcheur, conséquence du refroidissement dû au phénomène.

Les lois de la précipitation sont évidemment inverses de celles de l'évaporation. La vapeur d'eau atmosphérique repasse à l'état liquide sous l'influence d'un abaissement de température; mais, en se liquéfiant, elle détermine un dégagement de chaleur. C'est la chaleur qui avait été consommée dans l'acte de la transformation en vapeur qui se trouve ainsi restituée.

On a cherché à mesurer l'activité de l'évaporation, c'est-à-dire la quantité d'eau, en volume ou en poids, qui est réduite en vapeur en un temps donné, sur une surface donnée, sur 1 mètre carré par exemple. Les appareils destinés à cette mesure se nomment des *évaporomètres*. Disons en quoi ils consistent et comment on en fait usage.

L'évaporomètre Piche (ainsi nommé du nom de son inventeur) consiste en un tube de verre *a* (fig. 30) de faible diamètre, rempli d'eau, fermé à son extrémité inférieure par une rondelle de papier épais et sans colle, qu'on peut renouveler chaque jour. La rondelle est maintenue au contact de l'eau par un petit disque métallique *o* soudé à l'extrémité d'un ressort à boudin. Le tube a été gradué de manière que chaque division corresponde à 1 cen-



Fig. 30. — Évaporomètre Piche.

tième de millimètre de la tranche d'eau évaporée. Le tube est suspendu à l'air libre, dans le lieu dont il doit servir à mesurer le pouvoir évaporant. A l'observatoire de Montsouris, on le place sous l'abri des thermomètres, que nous avons décrit plus haut.

On se sert également d'appareils à surface d'eau libre. Tel est l'évaporomètre Delahaye, représenté dans la figure 31, et formé d'un bassin rectangulaire de 50 centimètres de côté (0^m,25 de surface), contenant une couche d'eau de 1 décimètre environ de profondeur. Un petit toit d'un demi-mètre carré de surface surmonte le bassin et le met à l'abri de la pluie sans gêner les mouvements de l'air. Sur l'eau repose un flotteur dont la tige, en descendant, commande l'aiguille d'un cadran et lui fait parcourir une division par chaque centième de millimètre de variation du niveau du liquide, c'est-à-dire de tranche d'eau évaporée. Cet appareil est placé à Montsouris dans un espace découvert, à 1 mètre du sol, de manière à rendre les lectures faciles.

Un mot maintenant sur les résultats qu'ont donnés les évaporomètres. Il faut remarquer d'abord que ce que l'on mesure, ce n'est point l'évaporation réelle à la surface du sol, mais seulement le pouvoir évaporant de l'air. Encore est-ce là, ainsi que le fait justement remarquer l'*Annuaire de Montsouris*, « un problème très difficile à résoudre. L'évaporation de l'eau à l'air libre dépend, en effet, de la température de la surface même du liquide, de la température et de l'état hygrométrique de la couche d'air qui repose à la surface de l'eau, de la rapidité avec laquelle cet air se renouvelle ; or ce sont là autant de données essentiellement variables avec la forme et la dimen-

sion des vases d'évaporation, et avec l'emplacement qui leur est attribué. Les changements dus à ces dernières circonstances peuvent être tels, sans que l'état général d'humidité de l'air y intervienne, qu'il est à peu près chimérique de comparer entre eux

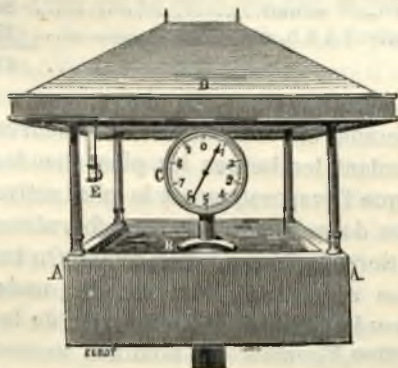


Fig. 31. — Évaporomètre Delahaye de l'observatoire de Montsouris.

les résultats obtenus dans des localités différentes. La présence d'un abri qui gêne l'action des vents suffit à réduire dans une forte proportion la tranche d'eau évaporée. Il n'en est plus ainsi lorsqu'on se propose simplement de suivre les variations que subit en un même lieu le pouvoir évaporant de l'air dans le cours des saisons ou des années successives, en y employant toujours le même instrument. »

Ces réserves faites, voici quelques chiffres, extraits du recueil que nous venons de citer. L'appareil employé était l'évaporomètre Piche. Considérons d'abord l'évaporation diurne. Elle a fourni, par heure, en centièmes de millimètre, les nombres suivants, moyenne de l'année 1875-1876 :

De 6 h. à 9 h. du matin.....	24,4
— 9 — 12 —	50,0
— 12 — 3 h. du soir.....	65,0
— 2 — 6 —	59,5

TOTAL DE LA JOURNÉE..... 198,9

De 6 h. à 9 h. du soir.....	35,4
— 9 — minuit.....	24,0
— minuit à 6 h. du matin.....	27,6

TOTAL DE LA NUIT..... 87,0

C'est, comme on voit, de midi à 3 heures, c'est-à-dire pendant les heures les plus chaudes de la journée, que l'évaporation est le plus active, et en général les douze heures du jour fournissent plus des deux tiers de l'évaporation totale. On trouve de même une supériorité marquée des mois de la saison chaude (685 millim.) sur ceux de la saison froide (189^{mm},5); mais ces nombres varient beaucoup d'une année à l'autre.

Les nombres suivants, que nous empruntons au traité de météorologie de M. Mohn, donnent l'évaporation annuelle en divers lieux du globe :

Lieux.	Évaporation annuelle.
Cumana.....	3520 millimètres
Marseille.....	2300 —
Madère.....	2030 —
Sydney.....	1000 —
Açores.....	1200 —
Côtes d'Angleterre.....	900 —
Écosse orientale.....	800 —
Londres.....	650 —
L'Helder (Hollande).....	600 à 800 —

Pour Paris (Montsouris), l'*Annuaire* donne la moyenne de 632 millimètres, déduite de dix années

d'observation; mais cette moyenne ne se rapporte qu'aux sept mois d'avril à octobre.

Il est impossible de tirer de ces nombres une moyenne générale pour l'évaporation annuelle probable à la surface de la terre. Si cette moyenne était connue, elle représenterait évidemment aussi la quantité d'eau qui se précipite sous forme de pluie, de rosée, de neige, etc., les deux phénomènes devant se compenser, soit dans le cours d'une année, soit dans une période plus ou moins longue d'années successives. Dans l'hypothèse où la quantité d'eau évaporée annuellement serait de 1000 millimètres, en multipliant ce nombre par la surface du globe, on aurait le volume total des eaux qui chaque année se transforment en vapeurs sous l'action de la chaleur solaire, et que le refroidissement fait repasser ensuite à l'état liquide. Cette gigantesque distillation n'absorberait pas moins de 510 milliards de mètres cubes d'eau, ou un poids de 510 milliards de tonnes!

II

La vapeur d'eau dans l'air. — Hygrométrie.

L'*hygrométrie* est cette partie de la météorologie qui a pour objet la recherche des lois de variation de la vapeur d'eau atmosphérique, selon les époques et les lieux. Pour y parvenir, elle recueille les observations les plus nombreuses possibles faites à l'aide d'instruments spéciaux propres à mesurer la quantité de cette vapeur ou sa tension dans l'air :

ces appareils sont les *hygromètres*. Avant de les décrire, rappelons les principes sur lesquels est fondée leur construction.

L'air atmosphérique, à une température donnée, peut contenir une quantité très variable de vapeur d'eau, depuis la sécheresse absolue, où cette quantité est nulle (circonstance qui ne se réalise presque jamais dans la nature), jusqu'au point de *saturation*, où elle est maximum. On nomme *état hygrométrique*, ou *humidité relative* de l'air, le rapport qui existe entre le poids de la vapeur contenue dans l'air au moment de l'observation et le poids maximum qu'aurait cette vapeur si l'air était saturé à la même température. Comme le rapport des poids est toujours à peu près égal à celui des tensions de la vapeur, la définition de l'état hygrométrique peut s'énoncer encore ainsi : le rapport entre la force élastique de la vapeur d'eau atmosphérique au moment où l'on observe et sa force élastique maximum à la même température.

La méthode la plus exacte pour mesurer le poids de la vapeur d'eau de l'air consiste à faire passer un volume d'air connu à travers un tube rempli de chlorure de calcium ou de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique. Le tube, pesé avant et après l'opération, donne pour différence le poids de la vapeur d'eau absorbée. Si le volume d'air qui a traversé le tube est 125 litres, par exemple, et si la différence des pesées donne 30 centigrammes, on en conclura que le poids de la vapeur d'eau est 2^{gr},4 par mètre cube d'air. Nous ne décrivons pas ici l'appareil qui sert à cette opération et qu'on nomme *hygromètre chimique*; il n'est pas d'une application commode

pour les observations météorologiques; mais il peut servir de temps à autre, dans les observatoires, au contrôle des indications des hygromètres d'usage constant.

Ceux-ci peuvent se diviser en trois catégories : les *hygromètres à condensation*, les *hygromètres d'absorption* et les *psychromètres*.

La température de l'air extérieur étant connue, sa tension élastique maximum l'est pareillement. Il suffit, pour la connaître, de consulter les tables de Regnault ou les courbes construites d'après ces tables. On aurait donc l'état hygrométrique cherché si l'on avait la tension de la vapeur d'eau contenue dans l'air au moment de l'observation. Pour y parvenir, on refroidit progressivement une lame métallique polie,

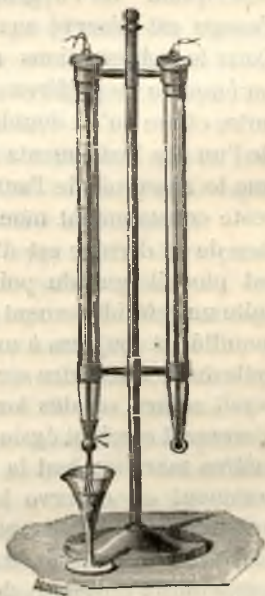


Fig. 32. — Psychromètre.

jusqu'à ce que sa surface se ternisse par le dépôt d'une couche de rosée, et l'on note la température de la plaque, qui est celle à laquelle l'air serait saturé par la vapeur d'eau qu'il contient et que pour cette raison l'on nomme *point de rosée*. Les tables ou les courbes donnent la force élastique correspondante, et en la divisant par la

tension maximum trouvée plus haut, puis en multipliant le quotient par 100, on a l'état hygrométrique ou l'humidité relative. Tel est le principe des *hygromètres à condensation*.

Nous renverrons aux traités de physique pour la description ¹ de l'hygromètre à condensation, dont l'usage est réservé aux expériences scientifiques. Dans les observations météorologiques courantes, on emploie de préférence le *psychromètre*, qui n'est autre chose qu'un double thermomètre, le réservoir de l'un des instruments restant toujours sec, tandis que le réservoir de l'autre, entouré de mousseline, reste constamment mouillé. L'évaporation à la surface de ce dernier est d'autant plus active que l'air est plus éloigné du point de saturation ; il en résulte un refroidissement qui fait que le thermomètre mouillé est toujours à une température inférieure à celle du thermomètre sec. Dans le cas unique où l'air serait saturé, où dès lors l'évaporation et le refroidissement seraient également nuls, les deux thermomètres marqueraient la même température. Disons comment on observe le psychromètre. Quelques minutes avant l'observation, on plonge la boule du thermomètre humide dans de l'eau de pluie à la température ordinaire, de façon qu'il ait le temps de prendre la température stationnaire résultant de l'évaporation et de l'action de l'air extérieur. Souvent le linge qui entoure le réservoir est en communication constante avec l'eau d'un tube ou d'un vase par l'intermédiaire d'une mèche de coton qui

1. Nous avons donné cette description dans le tome V de notre ouvrage LE MONDE PHYSIQUE.

en est toujours imbibée. Si la température est au-dessous de 0°, l'eau qui imbibe la mousseline devra être congelée et le réservoir du thermomètre lui-même recouvert d'une couche de glace, ce qui exige quelquefois un temps un peu long pour chaque observation psychrométrique.

On a calculé des tables qui permettent, les températures des thermomètres sec et mouillé étant connues et leur différence calculée, de trouver l'état hygrométrique correspondant.

Arrivons maintenant à la troisième espèce d'instruments propres à mesurer la quantité de vapeur d'eau de l'air, aux *hygromètres d'absorption*.

Saussure a construit un hygromètre de ce genre, basé sur l'allongement que subit un cheveu sous l'influence de l'humidité qu'il absorbe, allongement qui est d'autant plus considérable que l'air est plus voisin de son point de saturation, quelle que soit d'ailleurs la température. A l'état ordinaire, les cheveux sont enduits d'une matière grasse qui s'oppose à cette absorption; pour les en débarrasser, Saussure les lavait dans l'eau bouillante légèrement alcaline. On préfère aujourd'hui les laver simplement à l'éther, pour éviter l'altération que peut causer une température élevée. Ainsi nettoyé, un cheveu s'allonge d'environ $\frac{1}{50}$ de sa longueur totale, entre la sécheresse extrême et l'humidité absolue, vu l'état de saturation de l'air. Voici comment le célèbre physicien construisait son hygromètre : Il attachait le cheveu par une de ses extrémités à une pince fixée à l'intérieur d'un cadre métallique, l'autre extrémité s'enroulant à la gorge d'une poulie portant sur son axe une aiguille légère. Un poids fixé par un fil de

soie à la même gorge tendait à tout instant le fil. La graduation de l'instrument se faisait ainsi : On le plaçait d'abord sous une cloche contenant de l'air et une substance déliquescente, de la chaux vive ou

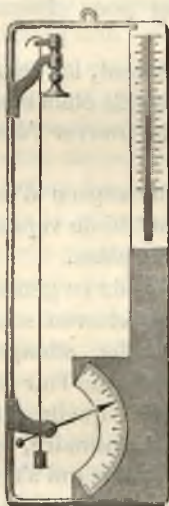


Fig. 33. — Hygromètre à cheveu de Saussure.

de l'acide sulfurique. Cette substance absorbe entièrement la vapeur d'eau ; le cheveu se raccourcit et fait tourner l'aiguille dans un sens ; elle devient stationnaire au bout de deux ou trois jours, et, sur l'arc parcouru par l'extrémité de l'aiguille, on marque 0 le point où elle s'arrête : c'est celui de la sécheresse extrême. Puis on place l'appareil sous une cloche où l'on a mis de l'eau ou dont les parois sont mouillées ; le cheveu s'allonge, l'aiguille marche en sens contraire et finit par s'arrêter à un point qu'on marque 100 : c'est celui de l'humidité absolue.

On partage alors l'arc parcouru soit en 100 parties égales, ou *degrés hygrométriques*, soit en parties proportionnelles à l'état hygrométrique, ce qui exige qu'on ait une table de graduation permettant de passer d'un mode de division à l'autre. En effet, l'hygromètre à cheveu donne bien toujours des indications identiques s'il est placé dans les mêmes circonstances ; dans l'air saturé, quelle que soit la température, il marque toujours 100°, et dans l'air parfaitement sec, 0° ; mais ces degrés (ou centièmes d'arc) ne sont pas proportionnels aux états hygrométriques, et c'est

par divers procédés expérimentaux qu'on a pu trouver la relation qui existe entre les divisions de l'hygromètre et ces états, qui sont la mesure de l'humidité relative; Saussure, Gay-Lussac, Melloni ont calculé des tables donnant cette correspondance.



Fig. 34. — Hygromètre à cheveu de Monnier.

Pour les observations météorologiques courantes, l'hygromètre à cheveu est d'un usage commode et simple; mais, comme le remarquent les *Instructions* du Bureau central météorologique de France, « il est assez sujet à se déranger; aussi ne doit-on jamais l'employer seul. Il est indispensable de le vérifier, au moins tous les deux ou trois jours, avec un psychromètre, ou mieux avec un hygromètre à condensation. On le règle chaque fois en tournant la vis placée à la partie supérieure, et, avec ces précau-

tions, on peut en déduire d'assez bonnes indications, comparables à celles du psychromètre. En hiver, pendant les gelées, il devient même préférable au psychromètre, dont l'emploi présente les plus grandes difficultés et est soumis à de nombreuses incertitudes. »

III

Variations hygrométriques diurnes, mensuelles, annuelles.

A l'aide des instruments dont on vient de lire la description, on peut déterminer, d'heure en heure par exemple, soit la tension de la vapeur d'eau contenue dans l'air au moment où l'on observe, soit l'humidité relative ou l'état hygrométrique, c'est-à-dire le rapport entre cette tension et la tension maximum de l'air saturé à la même température. Dans le premier cas, le résultat s'exprime en millimètres et fractions de millimètre, comme la pression barométrique; dans le second cas, c'est un nombre abstrait donnant, en centièmes de l'humidité absolue, la valeur de l'humidité relative.

En accumulant les observations et en prenant les moyennes comme nous l'avons déjà dit à propos de la pression et de la chaleur de l'air, on peut suivre par jour, par mois ou encore par saison et par année, la marche de l'un des plus importants éléments météorologiques en chaque lieu.

Comme la formation de la vapeur d'eau est essentiellement liée aux fluctuations de la température,

on peut prévoir qu'on va retrouver dans les variations de sa tension les mêmes périodes diurnes, mensuelles, etc., que nous avons constatées pour la chaleur.

En premier lieu, parlons de la variation diurne. Suivons, sur la figure 35, les contours de la courbe FFF, qui représente la tension de la vapeur d'eau à Halle, pendant toutes les heures d'un jour du mois de



Fig. 35. — Variations diurnes de la tension de la vapeur d'eau et de l'état hygrométrique, à Halle, en janvier : FFF, courbe des tensions ; TTT, courbe des températures ; HHH, courbe de l'état hygrométrique ou de l'humidité relative.

janvier. Nous la voyons augmenter depuis midi jusqu'à 2 heures, où elle atteint le maximum ; puis diminuer progressivement jusqu'au lendemain à 8 heures du matin, c'est-à-dire à l'heure du lever du soleil, qui est celle du minimum. De là elle reprend une marche ascendante jusqu'à midi et au delà, et, comme on vient de le voir, c'est au moment le plus chaud de la journée qu'elle parvient à son maximum. En un mot, la courbe de la variation diurne de la tension est, à peu de chose près, parallèle à TTT, courbe de la température. Toutefois cette concordance cesse en partie si, au lieu de considérer la variation hygrométrique diurne en janvier, on la prend dans la saison opposée, en juillet (fig. 36). Alors, c'est bien toujours avant le lever du soleil

(vers 2 heures du matin) que la tension de la vapeur d'eau atteint le minimum. Mais, au lieu d'un seul maximum, on en observe deux, le premier vers 8

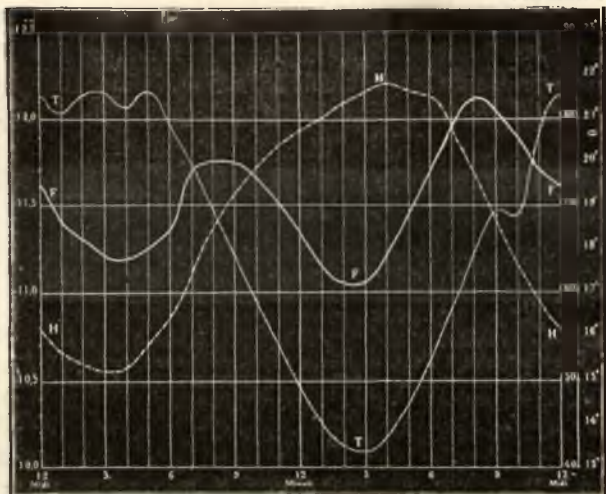


Fig. 36. — Variations diurnes de la tension de la vapeur d'eau et de l'état hygrométrique à Halle en juillet.

ou 9 heures du matin, le second vers 8 heures du soir; entre les deux, à 4 heures après midi, se trouve un minimum d'ailleurs moins élevé que celui du matin. Ces deux marches différentes de la variation diurne sont caractéristiques de la saison d'hiver et de la saison d'été, dans les stations qui, comme Halle, sont situées à l'intérieur des terres, ou encore dans les régions tropicales. Au contraire, les pays de la zone tempérée situés sur le bord de la mer ou dans le voisinage des côtes n'offrent qu'un minimum et

qu'un maximum, et la courbe des tensions y reste à peu près parallèle à celle des températures.

Pourquoi cette différence de marche entre l'hiver et l'été, entre les stations maritimes de la zone tempérée et les stations de la même zone situées au loin dans les terres, entre nos climats et ceux des régions tropicales? Plus la température est élevée, plus l'évaporation est active; la raison du parallélisme des courbes de température et des courbes de tension à certaines époques et dans certains lieux est donc toute naturelle. Il y a lieu seulement d'expliquer l'existence d'un minimum vers le milieu de la journée. Or on attribue ce minimum aux courants ascendants qui se produisent par suite de l'échauffement du sol et des couches d'air en contact avec lui. Ces courants, entraînant une partie de la vapeur d'eau qui s'est formée dans les couches inférieures, en diminuent la tension précisément à l'instant de la plus grande chaleur. Dans le voisinage des côtes, le même phénomène a lieu; mais, en même temps que les courants ascendants se forment, s'élève la brise de mer, qui apporte avec elle un air plus humide et compense ainsi la perte de vapeur due à ces courants.

L'amplitude de la variation diurne des tensions de la vapeur d'eau varie d'ailleurs beaucoup avec les saisons. On peut s'en rendre compte en comparant les courbes de janvier et de juillet à Halle (fig. 35 et 36). En général, la quantité de vapeur, ou sa tension, augmente et diminue avec la température, aussi bien dans le cours de l'année que dans le cours de la journée. Il en est de même de l'amplitude de ses oscillations, qui suit à peu de chose près les mêmes variations que la température. C'est ainsi que l'écart

des maxima et minima annuels est moindre au voisinage de la mer que dans l'intérieur des continents, moindre dans les régions tropicales que dans les zones tempérées.

Pour terminer ce que nous avons à dire de la tension ou de la quantité absolue de vapeur d'eau contenue dans l'air, ajoutons que les observations prouvent que cette quantité va en diminuant, comme la température, en allant de l'équateur aux pôles. Mais il s'en faut qu'elle soit la même à latitude égale. A la surface de l'Océan, à une température quelconque, elle est toujours voisine de son maximum ou de l'état de saturation. A partir des côtes, et en s'éloignant dans l'intérieur des terres, elle va en diminuant; mais les circonstances, la constitution du sol, l'abondance plus ou moins grande des eaux, de la végétation, ont une influence extrême sur l'activité de l'évaporation, qui est d'ailleurs aussi nécessairement dans une dépendance étroite avec la température, comme nous l'avons déjà dit. L'influence des vents, de leur direction n'est pas moindre sur la tension : suivant qu'ils apportent dans un lieu l'air chargé d'humidité de la mer, ou l'air qu'un long trajet sur les continents a déjà dépouillé de sa vapeur d'eau, les vents sont humides ou secs à un degré que des observations accumulées permettent seuls de préciser. Kaemtz, s'appuyant sur les résultats qu'il avait trouvés à Halle, en concluait que, pour cette localité, la quantité de vapeur est aussi petite que possible lorsque le vent souffle entre le nord et le nord-est; elle augmente quand il tourne à l'est, au sud-est et au sud, et atteint son maximum entre le sud et le sud-ouest, pour diminuer de nou-

veau en passant à l'ouest et au nord-ouest. La cause de ces différences est bien simple. Avant d'arriver à Halle, les vents d'ouest passent sur l'Atlantique et se chargent de vapeurs, tandis que ceux qui soufflent de l'est viennent de l'intérieur des continents de l'Europe ou de l'Asie. Ces vapeurs se résolvent déjà en pluie lorsque les vents occidentaux arrivent en France; mais cette eau se vaporise presque immédiatement, et il en résulte qu'en Allemagne ces vents seront toujours plus chargés de vapeur que ceux de l'est. Le vent d'ouest-sud-ouest, venant à la fois de la mer et des contrées plus chaudes, peut se charger d'une plus grande proportion de vapeur d'eau que le vent d'ouest, qui est plus froid. Aussi, quoique ce dernier ait moins de chemin à faire pour arriver depuis la mer jusqu'à Halle, contient-il une moindre proportion de vapeur que le sud-ouest. »

N'oublions pas que tout ce que nous venons de dire se rapporte à la quantité absolue de la vapeur d'eau. Nous n'avons rien dit encore de l'humidité relative ou état hygrométrique, c'est-à-dire de l'élément qui nous fait juger de la sécheresse ou de l'humidité réelle du milieu où nous respirons. Il est d'autant plus important de ne pas confondre l'état hygrométrique avec la tension de la vapeur d'eau que le plus souvent leurs marches sont opposées, comme on peut s'en assurer en comparant les courbes qui les représentent l'une et l'autre dans les figures que nous avons données. Insistons sur ce point.

Nous trouvons que l'air est sec lorsque, quelle que soit d'ailleurs la quantité de vapeur qu'il renferme, il est éloigné de son point de saturation. Il

est humide au contraire, même avec une faible tension de vapeur, si sa température est telle que, pour un faible abaissement, il se sature. On voit alors la vapeur condensée ou précipitée soit à la surface des corps, où elle produit la rosée, soit dans l'air même, à l'état de brouillard, et nous avons alors la sensation d'une humidité pénétrante. Ainsi, en général, l'instant de la journée où l'humidité relative est la plus grande est celui qui précède le lever du soleil. Alors la quantité de vapeur d'eau est à son minimum ; cependant, à cause de la basse température, l'air est très humide. Plus le soleil monte, plus l'évaporation est activée, plus la quantité de vapeur formée est considérable ; mais aussi, en raison de l'élévation de la température, plus le point de saturation s'éloigne, plus l'air est et paraît sec. Il en est de même en été, où l'on voit la tension ou la quantité de vapeur monter d'un mois à l'autre, en même temps que la température, tandis que l'état hygrométrique ou l'humidité relative diminue, ou, ce qui revient au même, que la sécheresse de l'air augmente. En hiver, par les temps froids et brumeux, la tension est faible, l'état hygrométrique élevé ; l'air, très humide, est voisin de son point de saturation.

CHAPITRE V

LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LES HYDROMÉTÉORES

1

La rosée.

Tout le monde sait ce qu'est la *rosée*, ce dépôt plus ou moins abondant de fines gouttelettes aqueuses qu'on aperçoit le matin sur le sol, sur tous les objets exposés à l'air, et principalement à la surface des végétaux, herbes, feuilles, etc. Avant d'en donner l'explication ou la théorie, disons dans quelles circonstances elle se forme et quelles sont les conditions de sa plus ou moins grande abondance.

C'est le plus généralement pendant la nuit que la rosée se dépose. Dès le coucher du soleil, le phénomène commence; il arrive même que l'herbe est déjà sensiblement humide avant la disparition de l'astre sous l'horizon, dans les parties du sol qui sont à l'ombre. Mais c'est dans la seconde moitié de la nuit qu'il est le plus intense, et les gouttelettes

dont se couvrent les objets augmentent en grosseur jusqu'après le lever du soleil.

Deux circonstances favorisent particulièrement la formation de la rosée : la sérénité du ciel et le calme de l'air. S'il ne fait pas de vent, on en observe encore des traces par un temps couvert, comme aussi par un ciel clair quand l'atmosphère est agitée par le vent. Mais, sous l'influence réunie de ces deux conditions défavorables, on ne voit jamais de rosée. Que le ciel vienne à se couvrir quand la rosée se dépose, à l'instant elle cesse de se former, et même celle qui déjà mouillait les plantes diminue et finit par disparaître. Il en est de même si un vent un peu fort succède au calme de l'atmosphère.

Toutefois on constate qu'un léger mouvement de l'air est plutôt favorable au dépôt de la rosée. On a remarqué que, si à une nuit sereine succède une matinée brumeuse, la rosée est très abondante, qu'elle l'est aussi davantage quand règnent les vents très faibles de l'ouest et du sud, c'est-à-dire ceux qui, dans nos climats, sont les plus humides. Cette influence de la direction du vent sur la formation de la rosée est générale, et, dans chaque contrée, ce sont les vents de mer qui la favorisent. Ainsi en Égypte, quand les vents du nord ne soufflent point, il n'y en a pas.

Comme on le voit, toutes les circonstances qui amènent une abondante précipitation de rosée se réduisent jusqu'ici à deux : le refroidissement du sol et des couches inférieures de l'air en contact avec lui, une quantité suffisante de vapeur d'eau dans ces couches et, par conséquent, un état hygrométrique voisin de la saturation. Comme ces circon-

stances se trouvent principalement réunies au printemps et en automne, il n'est pas étonnant que les nuits de ces deux saisons, de la seconde surtout, se distinguent par l'abondance des dépôts de rosée. On comprend de même pourquoi c'est dans le voisinage de la mer, des grandes étendues d'eau, des lacs et des fleuves que le phénomène est le plus intense, tandis qu'il est presque nul dans l'intérieur des grands continents; dans les déserts de sable, l'air est si sec que, malgré la basse température des nuits, toujours très sereines, la rosée est inconnue.

Elle se dépose de préférence, toutes autres circonstances égales, sur les corps qu'aucun abri ne garantit contre le rayonnement nocturne. La nature du corps a aussi une grande influence sur l'abondance de la rosée dont il se recouvre. L'observation prouve que les végétaux se mouillent plus que la terre; les corps mauvais conducteurs de la chaleur, divisés en filaments ou en touffes, plus que les corps bons conducteurs ou en masses compactes. L'état de la surface a une influence marquée : elle se couvre d'autant plus de rosée qu'elle est plus rugueuse. Les métaux polis sont, de tous les corps connus, ceux qui l'attirent le moins; on croyait même qu'elle ne les mouille jamais. Mais Wells ayant exposé à l'air, dans les circonstances les plus favorables, des miroirs d'or, d'argent, de cuivre, d'étain, de platine, de fer, d'acier, de zinc, de plomb, constata que leur surface se recouvre d'une légère couche d'humidité. Il n'y remarqua point, à la vérité, les fines gouttelettes qu'on voit se déposer sur le verre, sur l'herbe, aux premiers instants de la précipitation aqueuse. Du reste, il y a sous ce rapport une différence

notable entre les divers métaux. Le platine, le fer, le zinc, l'acier sont parfois couverts de rosée, tandis que l'or, le cuivre, l'étain, l'argent restent parfaitement secs dans les mêmes conditions.

Quant à l'état mécanique des corps, il a, comme nous venons de le dire, une grande influence. De menus copeaux absorbent plus de rosée que le morceau de bois qui les a formés; le coton non filé plus qu'un même poids de coton filé, plus qu'un même poids de laine dont les filaments sont moins fins. Le duvet de cygne est le corps qui, de tous, se recouvre le plus abondamment de rosée.

En ce qui concerne la situation du corps exposé à l'air pendant la nuit, voici comment on peut formuler l'influence des abris qui le protègent : « Tout ce qui tend en général à diminuer l'étendue de la portion du ciel visible de la place que le corps occupe, diminue la quantité de rosée dont ce dernier se recouvre. » Des expériences dues à Wells et variées de mille manières démontrent l'exactitude de cette loi. Citons-en quelques-unes. « Je plaçai, dit-il, dans une nuit calme et sereine, 10 grains de laine sur une planche peinte d'un mètre et demi de long, de deux tiers de mètre de large, de 2 centimètres d'épaisseur, et qui était soutenue, à plus d'un mètre au-dessus de l'herbe, par quatre appuis de bois très minces et d'égale hauteur; en même temps j'attachai, mais sans trop les serrer, 10 grains de laine au milieu de sa face inférieure. Les deux touffes étaient conséquemment à 2 centimètres de distance et se trouvaient également exposées à l'action de l'air. Cependant, le lendemain matin, je trouvai que la touffe supérieure s'était chargée de

14 grains d'humidité, tandis que l'inférieure n'en avait attiré que 4. Une seconde nuit, ces quantités d'humidité furent respectivement 19 et 6 grains; une troisième, 11 et 2; une quatrième, 20 et 4; c'était toujours la laine attachée à la face inférieure de la planche qui acquérait le moins de poids. »

Des différences semblables, mais moins fortes, furent constatées en plaçant deux flocons de laine semblables, l'un sur l'herbe, tout à fait à découvert, l'autre également sur l'herbe, mais au-dessous de la planche de l'expérience précédente. De celle-ci, la portion visible du ciel était beaucoup plus grande qu'auparavant. Pour montrer que la position verticale de l'abri au-dessus du corps n'était point la cause qui le préservait de la rosée, dans l'hypothèse où celle-ci tomberait à la manière de la pluie, Wells fit l'expérience suivante : Il posa sur l'herbe ses deux flocons de laine à distance convenable, puis posa verticalement au-dessus de l'un d'eux un cylindre en terre cuite ouvert aux deux bouts, de façon que le flocon occupât le centre de sa base inférieure. Pour le flocon à découvert, l'augmentation de poids fut de 16 grains; pour l'autre, de 2 seulement. Cependant il ne faisait aucun vent pendant l'expérience, de sorte que, si la rosée fût tombée verticalement, chaque flocon aurait dû en recevoir la même quantité.

Toutes les circonstances, toutes les conditions de la production de la rosée, de sa plus ou moins grande abondance, étant ainsi étudiées, contrôlées par de nombreuses expériences, il restait à trouver leur lien commun. C'est ce que fit Wells en établissant cette loi : « *La température d'un corps recouvert de*

rosée est toujours plus basse que celle de l'air, » loi qu'il compléta par les suivantes : Toutes les fois que pendant la nuit la rosée ne se produit pas, c'est que les corps sont à une température au moins aussi élevée que celle de la couche d'air surplombante. Quand plusieurs thermomètres sont placés, la même nuit, dans des positions différentes, ce sont ceux qui occupent les lieux où il se dépose le plus de rosée qui baissent le plus. Les corps qui se couvrent le plus aisément de rosée sont ceux qui se refroidissent le plus promptement par un ciel serein. Enfin, il prouva que « *le refroidissement des corps précède constamment l'apparition de la rosée* ». De là Wells déduisit l'explication scientifique du phénomène et de toutes les circonstances qui président à sa formation et à son développement.

Résumons dans ses traits essentiels cette *théorie de la rosée*, qui a reçu l'assentiment de tous les physiciens et que toutes les observations et les expériences faites depuis ont complètement confirmée.

Pendant la nuit, les corps situés à la surface du sol et le sol lui-même, ne recevant plus la chaleur du soleil, se refroidissent par voie de rayonnement, et leur température s'abaisse au-dessous de celle des couches d'air qui les surplombent. Ce refroidissement est d'autant plus intense que le ciel est plus clair, plus dégagé de nuages et de brumes, et que la partie visible du ciel, du point où se trouvent les corps, est plus étendue. Il est plus considérable si le corps est mauvais conducteur de la chaleur, ou si, entre le sol et lui, est interposé un mauvais conducteur. Dans ces conditions, en effet, l'abaissement de température dû au rayonnement vers l'espace n'est

compensé que par le rayonnement de l'atmosphère vers la terre, lequel est comparativement très faible. La couche d'air en contact avec le sol refroidi se refroidit elle-même; et si la quantité de vapeur d'eau qu'elle renferme dépasse celle qui correspond à la tension maximum pour la température du moment, elle se sature et abandonne à la surface du corps une partie de son eau de saturation. Les gouttelettes liquides se déposent et produisent la rosée, tout de même que nous avons vu les parois extérieures d'un vase se couvrir de buée dès qu'on verse à l'intérieur un liquide plus froid que l'air. Le phénomène continue, s'accroît même, tant que la température du sol s'abaisse et qu'aucune cause extérieure ne vient faire obstacle au rayonnement.

On comprend pourquoi le dépôt de rosée est d'autant plus abondant que le ciel est plus serein et l'air plus calme. Les nuages tiennent lieu d'écran, et le rayonnement de leur propre chaleur compense celui du sol vers l'espace; il empêche ou amoindrit de même le refroidissement nocturne. Tout abri produit un effet analogue. Quant à l'action des vents, elle s'explique aussi aisément: en apportant continuellement aux corps de nouvelles couches qui leur cèdent leur chaleur, ils atténuent le refroidissement et dès lors s'opposent à la précipitation de la rosée. Le faible pouvoir rayonnant des métaux, surtout des métaux polis, leur grande conductibilité rendent leur refroidissement moins prompt et moins intense et expliquent ainsi parfaitement pourquoi, de tous les corps, ce sont ceux qui se couvrent le plus difficilement de rosée.

II

La gelée blanche. — Le givre.

Lorsque, par une nuit calme et sereine, la température du sol s'abaisse au-dessous de 0°, la vapeur de l'air ne se dépose plus sous la forme d'eau liquide, mais sous celle de petits cristaux blancs et brillants. Ce n'est plus la rosée, c'est la *gelée blanche*, dont la production est soumise aux mêmes lois que celle de la rosée et qui s'explique de même. Ce qu'il faut noter, c'est que la congélation ou la cristallisation de la vapeur d'eau condensée se fait directement à la surface des corps refroidis et sans que préalablement il y ait eu formation de rosée. En effet, si l'eau ne se congelait qu'après sa réunion en gouttelettes, ce qu'on observerait ce seraient de petites sphères de glace transparente, non l'agglomération cristalline opaque à laquelle on donne le nom de gelée blanche.

C'est dans les matinées d'automne et de printemps que le phénomène est le plus fréquent. Dans nos climats, les gelées blanches se montrent jusqu'en juin et dès les premiers jours de septembre; mais elles ne sont un peu fortes qu'en avril, mai, octobre, et c'est dans les deux premiers de ces mois qu'elles sont particulièrement redoutées des agriculteurs, à cause de leurs effets fâcheux sur les jeunes pousses des plantes, les bourgeons et les fleurs des arbres à fruit. Dans la petite culture, on s'en préserve à l'aide d'abris qui protègent les végétaux contre l'intensité du rayonnement nocturne.

On a proposé, il y a quelques années, un moyen préservatif de la gelée blanche, qui, dans une certaine mesure, pourrait s'appliquer sur d'assez grandes surfaces. Il a un inconvénient grave, celui d'être dispendieux, à cause des soins de mise en œuvre qu'il entraîne. Ce moyen consiste à produire, à la



Fig. 37. — Cristaux de givre.

surface du champ qu'on veut préserver, des nuages de fumée qui peu à peu se disposent en rideau horizontal, formant une couche artificielle de nuages. On allume pour cela, de place en place, des feux de matière bitumineuse, de végétaux imparfaitement secs, susceptibles en un mot de donner une abondante fumée. Le moyen est peut-être efficace, mais quel travail exigerait-il pour couvrir ainsi tous les soirs des étendues pareilles à celles des vignobles de la Côte-d'Or, par exemple !

Un phénomène analogue au dépôt de la rosée, et dû à des causes semblables, s'observe à l'intérieur des appartements. Le matin, après une nuit fraîche, on trouve les vitres des fenêtres couvertes intérieurement d'une buée abondante. La mince couche de

verre s'est refroidie par rayonnement, et la vapeur d'eau de l'air de la chambre s'est condensée à sa



Fig. 38. — Cristallisations arborescentes des vitres à l'intérieur des appartements.

surface. En hiver, l'abaissement de la température est assez grand pour que la vapeur se dépose sur les vitres à l'état cristallin et y forme ces arborisa-

tions, ces fines dentelures que chacun a pu admirer.

Quelquefois on donne le nom de *givre* aux cristaux de la gelée blanche; mais il est préférable de réserver ce nom aux dépôts analogues qui se forment dans des circonstances différentes, et qui recouvrent tous les objets extérieurs, notamment les branches d'arbre, les brindilles des végétaux, les fils d'araignée dont ils sont entremêlés, etc. Le givre se forme aussi bien le jour que la nuit; il se dépose surtout lorsque, après un froid très vif qui a maintenu un peu longtemps les corps à une température très basse, survient un vent chaud et humide, dont la vapeur se précipite abondamment à leur surface et s'y congèle instantanément. C'est la même cause qui détermine le dépôt du givre sur la barbe des personnes qui sortent par un froid un peu intense. Leur haleine chargée de vapeur se condense sous forme de nuage au dehors et se congèle au contact des poils qui, mauvais conducteurs de la chaleur, ont pris la température extérieure et s'y maintiennent.

III

Les brouillards. — Formation des brouillards et des nuages.

La condensation de la vapeur sous forme de fines gouttelettes ne se fait pas seulement à la surface des corps refroidis par le rayonnement nocturne; elle se fait aussi dans l'air même, toutes les fois que, pour une cause quelconque, la température de l'air s'abaisse au-dessous du point de saturation. Alors,

grâce à leur faible poids et à la résistance que l'air oppose à leur chute, ces gouttelettes restent suspendues; elles troublent la transparence des couches atmosphériques et deviennent visibles. Leurs masses constituent les *brouillards*, lorsqu'elles rasant la surface du sol; si elles se forment ou s'élèvent dans les régions élevées de l'atmosphère, en laissant les couches inférieures limpides et transparentes, elles constituent les *nuages*. Occupons-nous d'abord de la première de ces formes de la vapeur d'eau condensée dans l'air.

Si le principe physique qui donne naissance aux brouillards est toujours le même, les circonstances de leur formation sont assez variables, et il y a lieu de distinguer entre ceux qui se développent le matin et le soir pendant la saison chaude, et les brouillards d'hiver. Les premiers naissent ordinairement par un temps calme, au-dessus d'un sol humide, de la mer, des rivières, des lacs dont l'eau est à une température plus élevée que l'air. L'évaporation active de ces eaux donne lieu à une abondante production de vapeurs qui, soit après le coucher, soit avant le lever du soleil, s'élevant dans un air relativement froid, le saturent et se condensent à une faible distance du sol. Ces brouillards forment souvent dans les vallées, au-dessus des cours d'eau, des nappes blanchâtres qui se dilatent, s'élèvent et se dissipent quand les rayons du soleil viennent en élever la température. Les pays maritimes qui, comme l'Angleterre, la Norvège, ont leurs côtes baignées par des courants chauds, par les eaux du Gulf-Stream, sont souvent enveloppés de brouillards de ce genre. Ils sont d'autant plus épais qu'il y a une plus grande

différence de température entre l'eau de la mer et l'air. « Les fiords norvégiens, dit M. Mohn, qui sont remplis des eaux chaudes du courant de l'Atlantique du Nord et qui ne gèlent pas, même dans les hivers les plus froids, sont spécialement propices pour la formation de ces brouillards, particulièrement dans la partie nord-est du pays, où l'eau des fiords se conserve toujours chaude, tandis que la température de l'air qui vient de l'intérieur des terres froides se trouve comprise entre -20° et -30° et descend même quelquefois au-dessous. Le brouillard glacé commence à se former au fond des terres qui entourent les fiords, se dissipant au fur et à mesure qu'il se rapproche des régions plus tempérées de la côte. »

Les brouillards qu'on observe en hiver se forment le plus souvent lorsque, à un froid intense et sec, caractérisé dans nos climats par un vent de la région nord à est, vient succéder brusquement un vent de la région opposée qui amène un air humide et chaud. L'abaissement de température qui résulte, pour cet air, de son mélange avec les couches primitivement refroidies et de son contact avec le sol glacé, détermine une précipitation immédiate de vapeur et la formation de brumes plus ou moins épaisses. Les brouillards des régions polaires, ceux qui enveloppent le banc de Terre-Neuve, sont dus à cette cause. On a un exemple de ce mode de formation des brouillards dans les nuages de vapeur qu'on voit sortir, par les temps froids, de la bouche des hommes et des animaux.

Enfin, en toute saison, on peut observer des brouillards qui se forment dans des circonstances toutes contraires. Lorsque à un temps humide et

doux succède brusquement un vent du nord ou de l'est (dans nos climats de l'Europe continentale), le refroidissement subit qui en résulte amène le point de saturation de l'air et la formation de brouillards. On voit que, si les circonstances sont opposées, les conditions physiques du phénomène sont toujours les mêmes.

Revenons maintenant à la question de la constitution des brouillards et à la raison de leur suspension dans l'air. Les très fines gouttelettes qui les forment sont-elles, comme celles de la rosée, de petites sphères entièrement liquides, ou, comme on l'a supposé pour rendre compte de leur légèreté spécifique, des sphérules creuses, de simples enveloppes liquides remplies d'air, des *vésicules*? L'hypothèse vésiculaire, dont la première idée remonte, paraît-il, à Halley, a été adoptée par Saussure et Kratzenstein, puis par Kaemtz, qui se prononce en sa faveur dans son *Cours de météorologie*. Les raisons qu'on invoque à l'appui de l'existence des vésicules sont les suivantes : elles ne scintillent pas comme les gouttes liquides exposées en pleine lumière; les arcs-en-ciel ne se montrent pas au sein des brouillards quand la position de l'observateur, celle du soleil et de la nébulosité sont favorables à la production du phénomène. Des expériences dues à Saussure et à Kratzenstein sur la vapeur qu'on voit s'élever de l'eau chaude, les ont portés à croire qu'il se forme des globules de grosseur variée, dont les plus petits montent tandis que les plus gros retombent, et ils en concluaient que les premiers sont des vésicules creuses. Ces raisons sont loin d'être concluantes. La suspension des gouttelettes

des nuages et des brouillards s'explique par les mêmes raisons qui rendent compte de la suspension des fines poussières, malgré l'excès de leur densité sur celle de l'air; si l'on n'a point observé d'arc-en-ciel dans les brouillards, on observe des phénomènes analogues, anneaux colorés et couronnes, autour des lumières qu'on aperçoit à travers les brumes, et de tels phénomènes indiquent que les particules aqueuses sont pleines. Les physiciens et les météorologistes s'accordent aujourd'hui pour abandonner l'hypothèse des vapeurs vésiculaires, comme n'étant prouvée par aucun fait positif et comme inutile à l'explication des faits.

Le mode de formation des brouillards et des nuages a été récemment l'objet de curieuses recherches, qui tendraient à établir un rapprochement singulier entre les poussières de l'atmosphère et les particules des vapeurs aqueuses. D'après M. Aitken, la précipitation de la vapeur d'eau à l'état de fines gouttelettes, produisant par leur ensemble les brouillards ou les nuages, aurait pour condition essentielle la présence préalable de poussières solides dans le milieu où ils se forment.

Le savant physicien écossais a fait diverses expériences d'où il croit pouvoir conclure que la présence des poussières est nécessaire pour que la vapeur d'eau se précipite à l'état de brouillard ou de nuage : chaque particule se charge d'un très faible poids d'eau liquide, et l'ensemble flotte dans l'air; si la poussière est trop peu abondante, la condensation sur chaque grain est relativement trop grande et celui-ci tombe avec assez de rapidité. S'il n'y avait aucune poussière dans l'atmosphère, il est probable,

conclut Aitken, qu'on ne verrait ni nuages, ni brouillards : la vapeur d'eau de l'air sursaturé se déposerait à la surface du sol et des objets qui sont à la surface ; il n'y aurait que de la rosée plus ou moins abondante, mais pas de pluie.

Cette théorie explique plusieurs faits bien connus, relatifs à la présence fréquente des brouillards dans certains lieux. A Londres, par exemple, les brouillards sont parfois si denses, qu'on est forcé d'allumer le gaz dans les rues comme à l'intérieur des maisons. Or l'atmosphère de cette grande cité est généralement remplie d'une poussière ténue, provenant surtout de la fumée des cheminées particulières et de foyers d'usines, dont les particules retiennent la vapeur d'eau condensée par une basse température. On observe des phénomènes semblables dans les grands centres industriels, où les brouillards très épais ont une odeur désagréable qui dénote la présence de substances étrangères à la vapeur d'eau. D'après M. Aitken, si l'on avait soin de brûler plus complètement la houille, le gaz, etc., les brouillards seraient à la fois moins denses et moins malsains.

IV

Les nuages. — Classification des nuages selon leur forme et leur structure.

Au premier abord, on serait tenté de distinguer les nuages des brouillards, non seulement par leur élévation dans les couches supérieures de l'atmo-

sphère, mais aussi par leur forme plus tranchée. Ainsi généralement les brouillards n'ont pas de contours accusés, de limites bien déterminées : cela tient le plus souvent à ce que, plongés au sein de la nébulosité, nous ne pouvons juger de sa forme extérieure. D'autre part, il y a souvent dans les couches élevées de l'air des nuages de forme vague, indistincte, comme aussi nous observons, notamment dans les vallées au-dessus des cours d'eau, des brouillards rasant la surface du sol et cependant fort nettement limités dans leurs contours. Dans les pays de montagnes, quand le matin d'épais brouillards s'étendent dans les parties inférieures de l'air, on les voit monter le long du flanc des collines, s'élever peu à peu jusqu'au delà de leur sommet, et prendre, à mesure qu'ils s'éloignent, toute l'apparence des nuages ordinaires. Les personnes qui ont fait l'ascension des hauteurs, et que ces brouillards transformés en nuages finissent par envelopper, se trouvent à leur tour au sein d'une nébulosité qui a tous les caractères des brouillards de la vallée. Ainsi, il paraît donc qu'il n'y a pas lieu de faire une distinction entre ces deux espèces de météores, et l'on peut dire que, si les brouillards sont les nuages des couches voisines du sol, les nuages sont les brouillards des hautes régions de l'air.

Nous allons voir cependant qu'il y a diverses sortes de nuages, différant à la fois par leur aspect extérieur, ou leur forme, leur couleur, etc., et par leur structure intime. Avant de donner les classifications adoptées, complétons ce que nous avons dit du mode de formation des brouillards, en insistant sur un point qui est particulier aux nuages. Il arrive

souvent, par les beaux jours de la saison chaude, que l'atmosphère, le matin au lever du soleil, est d'une sérénité absolue : aucune parcelle nuageuse ne ternit l'azur du ciel. Cependant, à mesure que le soleil monte sur l'horizon, on voit peu à peu poindre dans les hauteurs de petits et légers nuages qui peu à peu grossissent, se rassemblent et finissent quelquefois par couvrir une grande étendue du ciel, au milieu de la journée. La formation de ces nuages s'explique parfaitement par les courants ascendants d'air chaud que nous avons décrits déjà. Ces courants entraînent avec eux la vapeur d'eau dont ils étaient chargés; en arrivant dans les hauteurs, la dilatation que produit la diminution de pression détermine un abaissement de température, l'air tombe au-dessous du point de saturation, et la vapeur qu'il contient se précipite, en donnant lieu à la naissance d'un nuage qui se grossit par l'adjonction de vapeurs nouvelles, condensées comme les premières et par la même cause.

Pour une raison opposée, on voit des nuages tout formés dans les hautes régions se dissiper, sans se résoudre en pluie, sans être entraînés loin de notre vue par le vent. Il suffit, pour se rendre compte du phénomène, de remarquer qu'une élévation de température fait repasser à l'état de vapeur invisible la vapeur condensée par le refroidissement. L'échauffement peut être dû soit à l'action directe des rayons solaires, soit au passage de la nébulosité à travers des couches plus chaudes.

Voyons maintenant quelles classifications sont adoptées pour ranger les nuages en catégories, suivant leur forme.

C'est au précurseur de Darwin, à Lamarck, qu'est

due la première ébauche de classification des nuages. Il en distingua six formes principales, que, quelques années après, il porta à douze; mais, comme le remarque A. Poëy, notre compatriote « n'eut pas l'idée de faire usage de la nomenclature latine et scientifique, qui a tant contribué à la vulgarisation de la classification de Howard ». Voici les trois types



Fig. 39. — *Cirrus* de Howard (*queues de chat* des marins).

de nuages qui, avec leurs dérivés ou formes secondaires, ont prévalu dans le langage courant des météorologistes modernes; nous en donnons la définition d'après les expressions du physicien anglais :

Cirrus : filaments parallèles, sinueux ou divergents, susceptibles de s'étendre par voie d'accroissement dans une direction quelconque ;

Cumulus : amas convexe ou conique, s'accroissant dans le sens de la hauteur à partir d'une base horizontale ;

Stratus : nappe très allongée, continue, horizontale, s'accroissant de bas en haut.

Les formes dérivées de ces trois types principaux sont ainsi définies par Howard :

Cirro-cumulus : petites masses arrondies, bien limitées, pressées horizontalement les unes contre les autres ;



Fig. 40. — *Cumulus* de Howard (balles de coton des marins).

Cirro-stratus : masses horizontales ou légèrement inclinées, moins compactes sur tout ou partie de



Fig. 41. — *Stratus* de Howard.

leur contour, courbées ou ondulées vers le bas ; tantôt séparées, tantôt réunies en groupes de petits nuages ayant le même caractère ;

Cumulo-stratus : mélange de *cirro-stratus* et de *cumulus*, les premiers se surajoutant aux autres, de façon à leur donner une base très étendue;

Cumulo-cirro-stratus, ou *nimbus* : nuage de pluie. Un nuage ou un assemblage de nuages d'où tombe la pluie. C'est une nappe horizontale au-dessus de laquelle s'étendent des cirrus et que des cumulus pénètrent latéralement et par-dessous.



Fig. 42. — *Cumulo-cirro-stratus* de Howard, ou *nimbus*.

Ces définitions ont été plus ou moins modifiées par les météorologistes qui sont venus après Howard ; mais les dénominations que nous venons de rappeler étant devenues populaires, comme les définitions qu'en a données Kaemtz dans son *Cours de Météorologie* sont elles-mêmes devenues classiques, nous croyons devoir entrer encore sur ce point dans quelques détails.

Les cirrus (*queues de chat* des marins) se composent de filaments déliés qui les font ressembler soit à un pinceau, soit à un mince réseau, soit à des cheveux crépus. Ils apparaissent d'ordinaire après une période continue de beau temps, quand le baromètre

commence à baisser insensiblement, annonçant un changement de temps, la pluie en été, le dégel en hiver. En Allemagne, on les désigne sous le nom d'arbres du vent (*Windsbäume*). Ils se disposent fréquemment en bandes parallèles, dont la direction court du sud au nord ou du sud-ouest au nord-est. Comme l'a fort judicieusement remarqué Bravais, la perspective donne quelquefois à ces bandes parallèles l'aspect des branches d'un éventail qui, divergeant d'un point de l'horizon jusqu'au zénith ou dans son voisinage, convergent ensuite vers le point opposé. C'est un phénomène de ce genre, très marqué, que nous avons dessiné d'après nature dans la soirée du 7 décembre 1883, et dont le dessin se trouve reproduit dans le journal *la Nature*, ainsi que dans le tome V de notre MONDE PHYSIQUE.

D'après Dove, les cirrus sont amenés par des vents du sud qui déterminent la baisse du baromètre, et dont les vapeurs se précipitent à l'état de pluie ; mais auparavant ils deviennent de plus en plus denses, puis se rassemblent sous la forme de masses semblables à du coton cardé, aux filaments étroitement entrelacés, et prennent une teinte grisâtre. Les cirrus se sont ainsi transformés en cirrostratus. Nous parlerons plus loin de leur structure intime.

Pour Kaemtz, le cumulus est le nuage d'été de nos contrées ; il se voit en tout temps dans les régions tropicales, et jamais en hiver dans les hautes latitudes. C'est la *balle de coton* des marins. Cette sorte de nuage est le produit de la condensation des vapeurs qu'entraînent dans les hauteurs les courants ascendants du milieu du jour.

Le même savant donne le nom de *stratus* aux bandes horizontales nuageuses qui se forment au coucher du soleil et disparaissent à son lever. Pour Howard, le *stratus* est à proprement parler le nuage



Fig. 43. — Ciel pommelé ou agglomération de *cirro-cumulus*.

de nuit, comme pour Kaemtz; mais il le considère plutôt comme un brouillard, dont la surface inférieure repose sur la terre ou sur les eaux.

Quand le ciel est couvert sur une notable étendue de *cirro-cumulus*, ces petits nuages à forme arrondie qu'on nomme aussi nuages moutonnés, on dit qu'il est *pommelé* (les Anglais disent *mackerel sky*). Pour Kaemtz, les *cirro-cumulus* sont un présage de chaleur. « Il semble, dit-il, que les vents

chauds du sud qui règnent dans les régions supérieures n'amènent pas une quantité de vapeur suffisante pour couvrir entièrement le ciel de nuages et qu'ils n'agissent que par leur température élevée. »

Entassés à l'horizon, les cumulus se projetant les uns sur les autres par les parties arrondies de leurs masses, et se réunissant par leurs bases horizontales, prennent l'aspect des cumulo-stratus, dont il n'est guère possible de les distinguer. Quant aux nimbus, ce n'est pas un nuage d'une forme déterminée, mais un assemblage de deux ou trois types de nuages, d'où résulte la pluie. Howard, nous l'avons vu, en fait un cumulo-cirro-stratus. Pour A. Poëy, « la pluie est produite par l'action et la réaction électrique, sur la vapeur d'eau, de deux *couches de nuages superposées*, l'une supérieure, formée de cirrus électronégatifs, et l'autre inférieure, de cumulus électropositifs ». Dès 1850, M. Rozet constatait que les nimbus sont toujours formés par la réunion de deux nuages d'espèces différentes, des cirrus et des cumulus. Nous reviendrons sur ce point important en traitant de la pluie.

Ceci nous amène à mentionner une nouvelle classification des nuages, basée non plus seulement sur leur forme, mais sur la structure réelle et la constitution physique des masses vaporeuses qui les composent. D'après le dernier des météorologistes que nous venons de citer, « il n'existe réellement que deux espèces de nuages ¹ : des *cumulus*, formés de vapeur vésiculaire, et des *cirrus*, formés de vapeur

1. *Observations faites pendant l'été de 1850 sur les montagnes de Vaucluse*, par M. Rozet. (*Comptes rendus de l'Académie des sciences pour 1851*, t. I).

glacée; les autres espèces de nuages distinguées par les météorologistes ne sont que des modifications de celles-ci. »

Ce sont aussi ces deux types de nuages qui forment la base de la nouvelle classification proposée par A. Poëy, mais avec une distinction, pour les dérivés du cirrus, entre les nuages de glace et les nuages de neige. Voici, du reste, cette classification, avec les dénominations choisies par le savant météorologiste :

Premier type..	CIRRUS..	{	<i>Tracto-cirro-stratus..</i>	}	Nuages de glace.
			<i>Tracto-cirro-cumulus..</i>		
		{	<i>Tracto-cirrus</i>	}	
			<i>Cirro-stratus</i>		
Dérivés		{	<i>Cirro-cumulus</i>	}	Nuages de neige.
			<i>Pallio-cirrus</i>		
			<i>Globo-cirrus</i>		
Second type...	CUMULUS				
Dérivés		{	<i>Pallio-cumulus</i>	}	Nuages de vapeur aqueuse.
			<i>Globo-cumulus</i>		
			<i>Fracto-cumulus</i>		

Nous en resterons là sur la question de la classification et de la nomenclature des nuages. La nomenclature d'Howard, malgré ses imperfections, a un grand avantage, celui d'être simple et surtout d'être généralement adoptée. Celle de Poëy, plus exacte et plus complète, doit être retenue cependant, en raison du point de vue physique qui classe les nuages d'après leur structure intime; mais elle a besoin, sous ce rapport, d'être soumise au contrôle de l'expérience. Les ascensions aéronautiques pourront rendre ici de grands services.

Déjà il est généralement admis que les cirrus sont formés de cristaux de glace. Barral et Bixio, dans

leur célèbre ascension de l'été de 1850, ont traversé un nuage de cette sorte, formé de fines aiguilles de glace, et qui n'avait pas moins de 4 kilomètres d'épaisseur. Les phénomènes des halos et des parhélies se forment au milieu des cirrus; or ils sont dus aux réfractions qui se produisent à l'intérieur de prismes de glace en suspension dans l'air et convenablement orientés par rapport au plan qui passe par le soleil et par l'œil de l'observateur. La théorie supposait l'existence de ces prismes, et les observations des aéronautes en ont prouvé la réalité.

Parfois le ciel semble d'en bas complètement serein; rien ne ternit la clarté de son azur. Et cependant les voyageurs des hautes régions trouvent alors l'air rempli de cristaux très ténus. Ces cristaux sont visibles de près, soit parce qu'ils reflètent vivement la lumière solaire (Crocé-Spinelli et Sivel, mars 1874), soit parce que leur ensemble forme une nappe que les aéronautes situés au même niveau considèrent dans le sens horizontal et dès lors sous une grande épaisseur. M. G. Tissandier a été plusieurs fois témoin de l'existence de véritables bancs d'aiguilles de glace suspendus dans l'atmosphère, dont ils ne troublent pas la transparence. Il est à présumer que c'est de là, par la condensation et l'agglomération de ces couches, que naissent les différentes formes de cirrus.

Un mot maintenant de la hauteur des nuages. Les cirrus sont, de tous, les plus élevés. D'après les observations et les mesures de Kaemtz à Halle, leur hauteur atteint souvent 6500 mètres. « Pendant un séjour de onze semaines en face du Finsteraarhorn, dit-il, dont l'élévation est de 4200 mètres, je n'ai

jamais observé de cirrus au-dessous de la sommité de cette montagne. » Dans son ascension de mars 1874, Crocé-Spinelli vit « au-dessus de l'aérostât de légers cirrus formant une nappe assez con-



Fig. 44. — *Cirrus*.

tinue, à reflets plus ou moins nacrés ou soyeux, et dont l'élévation semblait être de 9000 à 10 000 mètres. Tissandier (ascension du *Zénith* du 15 avril 1875) constata l'existence d'abondants cirrus entre 4500 et 4800 mètres, « altitude où ils formaient, dit-il, autour de la nacelle, comme un cirque immense d'un blanc éblouissant ».

Bien que moins élevés que les cirrus, les cumulus se voient parfois à de grandes hauteurs. Mais ces

hauteurs, suivant les saisons ou les heures du jour, sont très variables. Quelquefois les cumulus sont étagés les uns au-dessus des autres et forment plusieurs couches ou bancs séparés par des espaces libres de nuages.

Les hauteurs des nuages ont été mesurées le plus souvent par des opérations de triangulation ou par la comparaison des positions de leurs bases inférieures avec des points dont l'altitude était connue. Riccioli, Bouguer, de Humboldt, Lambert, Kaemtz ont trouvé des nombres compris entre 400 et 6500 mètres. Peytier et Howard, dans leur triangulation des Pyrénées, ont trouvé, pour la base inférieure, des nombres compris entre 450 et 2500 mètres, pour la base supérieure, entre 800 et 3000 mètres. M. Rozet a mesuré en 1850, au théodolite, l'élévation et l'épaisseur d'un grand nombre de couches de cumulus. Il a remarqué que, dans les beaux temps, l'élévation de ces couches suit le mouvement du soleil; au minimum à son lever, au maximum entre midi et 2 heures, elle diminue ensuite jusqu'au lendemain matin. En juillet, il trouvait 2100 et 2200 mètres pour la hauteur de leur base inférieure, et des épaisseurs de 1180 à 1290 mètres entre 10 heures du matin et 2 heures du soir. D'après cet observateur, l'épaisseur est en rapport avec le degré d'humidité de l'air.

V

La pluie. — La neige.

Quand la condensation de la vapeur d'eau au sein d'un nuage donne lieu à la formation de gouttes un peu volumineuses, trop pesantes pour rester suspendues dans l'air, ces gouttes tombent à la surface du sol et donnent lieu au phénomène de la *pluie*. Cela suppose que la température du nuage est supérieure à celle de la congélation. Si les particules aqueuses sont à une température plus basse que 0°, elles passent à l'état solide, cristallisent et forment un nuage de particules de glace agglomérées parfois en petites masses légères ou *flocons*. Lorsque ces flocons deviennent trop volumineux pour résister à la pesanteur, les particules solides se précipitent, et si, dans leur chute, elles traversent des couches également froides, c'est de la *neige* qui tombe. Il arrive parfois que ces conditions ne sont que partiellement remplies et qu'aux gouttes de pluie se trouvent mêlés des flocons de neige en proportion variable. Au lieu de s'élever dans l'atmosphère et de se transformer en nuage, le brouillard tombe quelquefois aussi sous la forme d'une pluie fine et pénétrante qu'on nomme *bruine*.

Vu à une certaine distance à l'horizon, un nuage qui se résout en pluie semble confondu avec le sol; des rayures ou trainées grisâtres et vaporeuses, dirigées obliquement selon la direction du vent, troublent la transparence de l'air et empêchent de distinguer les objets situés au delà. Souvent ces

trainées ne parviennent pas jusqu'à terre, ce qui indique que les gouttes, rencontrant des couches éloignées du point de saturation qui correspond à leur température, s'évaporent et disparaissent : la pluie, en ce cas, n'existe que pour les couches d'air les plus rapprochées de la base du nuage. On conçoit de même que des gouttes, d'abord assez volumineuses en s'échappant de la nuée pluvieuse, diminuent progressivement et arrivent au sol notablement plus petites qu'à leur point de départ. Mais le contraire a lieu si les couches inférieures de l'air sont plus humides et plus froides que celles d'où émane la pluie : les gouttes grossissent en condensant à leur surface l'excès de vapeur de ces couches sursaturées, et dans ce cas la pluie est plus forte en bas qu'en haut.

On a vu plus haut les nuages distingués en *nuages de neige* et en *nuages de pluie*. Mais cette distinction doit s'entendre de la constitution qu'ils ont à la hauteur où on les observe, plutôt que de la nature du résidu qu'ils donnent par leur chute à la surface du sol. En effet, un même nuage peut fournir simultanément de la neige dans les hautes régions et de la pluie dans la plaine; cela dépend des différences de température de l'air à des altitudes diverses. Des observations faites par M. Rozet à Grenoble et à Gap, en avril et en mai 1851, confirment la réalité de cette transformation de la neige en pluie.

Il paraît établi que la pluie ou la neige ne tombe que des nuages auxquels Howard a donné le nom de *nimbus*; elle résulte donc de la réunion des cirrus avec les cumulus, des nuages de glace avec



les nuages de vapeur aqueuse. Le savant dont nous venons de citer les observations insiste sur ce point. « Monté sur une montagne dans un jour orageux, dit-il, j'ai encore constaté qu'il ne se forme de nimbus dans une couche de cumulus que sur les points où viennent tomber des cirrus. Voilà donc de nouveaux faits à l'appui de mes observations précédentes, par lesquelles j'avais constaté que la pluie résulte du mélange de la vapeur vésiculaire avec la vapeur glacée. »

Mais pourquoi la réunion de ces deux sortes de nuages donne-t-elle lieu au phénomène de la pluie? Est-ce simplement par le fait de l'abaissement de température qui résulte, pour le cumulus, de l'invasion du nuage glacé? La condensation qui en résulte, grossissant ou réunissant les gouttelettes aqueuses, déterminerait leur chute. Hutton donnait de la pluie une théorie à peu près analogue, lorsqu'il l'attribuait au mélange de deux masses d'air saturées à des températures inégales. La température du mélange étant trop basse pour qu'il puisse contenir toute la vapeur des masses réunies, il y a précipitation. A. Poëy fait intervenir l'électricité dans le phénomène, au moins pour les pluies orageuses et les pluies continues et abondantes. On a vu qu'il donne au nimbus, ou nuage de pluie d'Howard, le nom de pallium, qu'il distingue en deux couches, le pallio-cirrus et le pallio-cumulus. « L'apparition de ces couches, dit-il, annonce le mauvais temps, leur disparition le beau temps. La couche du pallio-cirrus apparait la première, et, quelques heures ou quelques jours après, celle du pallio-cumulus se forme en dessous. Ces deux couches restent en vue

à une certaine distance l'une de l'autre ; leur action et leur réaction réciproques produisent les orages et les fortes pluies, accompagnés de décharges électriques. Elles sont électrisées en sens contraire : la couche supérieure de cirrus est négative, l'inférieure de cumulus est positive comme la pluie qu'elle déverse, tandis que l'électricité de l'air à la surface du sol est négative. Quand ces deux couches s'attirent, une décharge se produit, et la couche inférieure continue à déverser son surplus d'eau sans donner aucun signe d'électricité, pas plus que l'air en contact avec la terre. Cet état se prolonge jusqu'à ce que la couche supérieure se déchire la première, ensuite la couche inférieure, puis elles disparaissent l'une après l'autre et le beau temps revient. » A l'appui de cette théorie, le savant directeur de l'observatoire de La Havane cite des observations faites en ballon en 1786, à Paris, par Testu, et en 1852, aux États-Unis, par J. Wise.

L'influence de la direction du vent sur la production de la pluie n'est pas douteuse, et dans tous les climats, quand le vent souffle de la mer vers l'intérieur des terres, la pluie ne tarde point à se produire. Rien de plus simple que l'explication du phénomène. Dans l'Europe occidentale, c'est aux vents d'entre le sud et l'ouest que sont dus la plupart des temps pluvieux. Tant que durent les vents de la région opposée qui amènent des masses d'air desséchées par leur traversée continentale, où elles se sont débarrassées, par des condensations successives, de la vapeur d'eau dont elles étaient chargées primitivement, le temps est beau et sec, et le ciel serein. Les vents du sud à l'ouest viennent-ils à

souffler, aussitôt on voit apparaître les premiers cirrus précurseurs d'un changement de temps. C'est dans les parties les plus élevées et les plus froides de l'air que commence la condensation. Les masses d'air humide venues de l'Océan affluent; elles ont à gravir la pente des continents vers lesquels elles se dirigent, et, à mesure qu'elles montent, la diminution de pression les oblige à se dilater; comme nous avons eu déjà l'occasion de le dire, à cette dilatation correspond une consommation de la chaleur qu'elles apportent avec elles. Le point de saturation s'abaisse, l'humidité se condense en nuages de plus en plus épais, jusqu'à ce que l'air sursaturé ne permette plus la formation de nouvelles vapeurs. La pluie commence alors, et sa durée est en rapport avec la quantité de vapeurs apportées et avec la durée des vents qui les renouvellent.

Si, dans sa marche, le vent humide rencontre des obstacles, comme des chaînes de montagnes, l'air en mouvement s'élève sur leurs flancs, jusqu'à leurs sommets, où la température peut être assez basse pour que la vapeur condensée se cristallise en flocons neigeux ¹.

1. Babinet a développé, il y a trente ans, dans une notice sur l'*arroisement du globe*, la théorie que nous résumons ici. Voici le passage relatif aux chutes de neige sur les montagnes : « Les masses d'air des mers et des plaines portées par les courants atmosphériques vers les montagnes glissent le long de leurs flancs et s'élèvent par suite à d'immenses hauteurs. Dès lors ces masses se dilatent et se refroidissent prodigieusement : 200 mètres d'élévation donnent déjà 3 degrés de froid; qu'on juge d'après cela du froid qui doit résulter d'un soulèvement égal à la hauteur des Alpes, des Pyrénées, du Caucase, de la Cordillère occidentale des deux Amériques, ou de l'Himalaya d'Asie! Voilà la cause très simple qui fait

Il y a un proverbe bien connu, *petite pluie abat grand vent*, qui est l'expression retournée de ce qui se passe souvent dans le cas où la pluie est produite dans les circonstances dont nous venons de parler. Quand, en effet, la vitesse du mouvement aérien diminue ou s'annule, les masses d'air devenues immobiles forment barrière pour celles qui n'ont pas achevé leur course; ces dernières s'élèvent, se dilatent et se refroidissent, et la vapeur d'eau qu'elles déposent au sein d'un air déjà saturé provoque la chute de la pluie, qui est probablement due aussi à la cessation du mouvement, c'est-à-dire à la suppression de l'une des causes de suspension des nuages.

Il arrive parfois, à la fin d'une journée humide et chaude, que des gouttes de pluie tombent par un ciel sans nuages. On donne le nom de *serein* à ce phénomène, qui s'explique par le refroidissement des couches d'air après la disparition du soleil. On a vu plus haut que, dans certaines circonstances, les hautes régions de l'air contiennent des cristaux de glace, de fines aiguilles trop espacées pour troubler la transparence de l'air. En descendant le soir dans des couches plus chaudes, ces particules doivent fondre en gouttelettes et tomber sur le sol. C'est là, croyons-nous, l'explication très simple du serein.

des chaines de montagnes le berceau et l'origine des grands fleuves, et déjà, avant de parcourir le globe entier, nous voyons les Alpes d'Europe donner, par le vent humide du sud-ouest, naissance à deux fleuves : le Rhône et le Rhin. Par le vent d'est, ces mêmes Alpes font déposer l'eau qui alimente l'immense bassin du Danube, et enfin, par le vent chaud et humide du sud, la barrière élevée des monts qui sont au nord de l'Italie fait déposer toute l'eau du bassin du Pô et des autres tributaires de l'Adriatique. »

La neige ne différant de la pluie que par une température plus basse des nuages d'où elle tombe et des couches d'air que traversent ses flocons, nous n'avons rien à ajouter à ce que nous avons dit des causes de la pluie; elles sont, à cette différence près, les mêmes pour les chutes de neige. Mais nous entrerons dans quelques détails sur les formes singulières qu'affectent les cristaux constituant les flocons.

C'est Képler, paraît-il, qui a le premier reconnu la structure cristalline de la neige. Musschenbroek, Cassini, Érasme Bartholin décrivirent les formes variées des flocons, qui, à de rares exceptions près, présentent tous cette particularité que les fines aiguilles dont ils sont composés se croisent de mille manières en faisant des angles de 60 ou 120 degrés. Il en résulte tantôt des lames hexagonales, tantôt des étoiles à six branches, simples ou ramifiées, tantôt enfin des triangles, des pyramides, des prismes, mais tellement diversifiés malgré leur symétrie, qu'ils échappent à toute description et que le dessin peut seul en donner une idée. La figure 45 est la reproduction de quelques-uns des cristaux de neige qui ont été dessinés, dans les régions polaires, par le capitaine Scoresby. D'autres observateurs, Kaemtz, J. Glaisher, Bechey, Petitot, A. Landrin, ont décrit des formes nouvelles, de sorte qu'il est à présumer que ces formes varient à l'infini, pour ainsi dire, selon les circonstances qui leur donnent naissance.

Kaemtz assure que c'est par un temps calme et sans brouillard qu'on peut admirer dans toute leur beauté les formes cristallines régulières de la neige. « Avec la brume, dit-il, les cristaux sont ordinairement inégaux, opaques, et il semble qu'un grand

nombre de vésicules se sont solidifiées à leur surface, sans avoir eu le temps de s'unir intimement aux molécules cristallines. Par le vent, les cristaux



Fig. 45. — Formes cristallines de la neige, d'après Scoresby.

sont brisés et irréguliers ; on trouve alors des grains arrondis composés de rayons inégaux. Dans les Alpes et en Allemagne, j'ai vu souvent tomber des cristaux parfaitement symétriques. Le vent s'élevait-il, c'étaient des grains de la grosseur de ceux du

millet, ou de petits pois dont la structure était assez peu compacte, ou bien des corps ayant la forme d'une pyramide dont la base était une calotte sphérique. On pouvait rapporter ces corps au grésil; cependant ils se formaient sous l'influence des mêmes conditions météorologiques que les flocons qui tombaient avant le coup de vent. »

Le *grésil*, en effet, est une sorte de neige caractérisée par de petits grains opaques ayant toute l'apparence de flocons de neige condensés. C'est dans les bourrasques ou giboulées du printemps qu'il tombe le plus fréquemment. Les grains sont parfois assez durs pour qu'on les compare à de petits grêlons. Et, de fait, le grésil paraît intermédiaire entre la neige et la grêle.

La densité de la neige est très variable selon la température, l'état hygrométrique, la grosseur des flocons. La neige qui tombe par un temps sec et froid est plus légère, et les couches qu'elle forme sur la terre sont moins tassées que celles qui proviennent d'une neige plus humide. La densité est souvent 10 ou 12 fois moindre que celle de l'eau; Musschenbroek a pesé, à Utrecht, de la neige formée de cristaux étoilés : il l'a trouvée 24 fois plus légère que l'eau.

VI

Les pluviomètres.

Mesurer la quantité d'eau météorique qui tombe en un lieu donné dans le cours d'une année, sous la forme de pluie, de neige, de grêle ou de grésil, est

d'une grande importance pour l'étude climatologique de ce lieu. On y parvient à l'aide d'instruments connus sous les noms de *pluviomètres*, *udomètres*, *ombromètres*, dont la signification est la même.

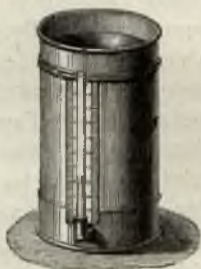


Fig. 46. — Pluviomètre;
vue extérieure.



Fig. 47. — Pluviomètre;
coupe.

Le pluviomètre le plus simple se compose d'un vase de forme cylindrique M, portant latéralement un tube coudé A, à la partie supérieure un entonnoir conique B qui rassemble l'eau tombée par l'ouverture extérieure. Le niveau de l'eau dans le tube latéral donne, par une graduation en millimètres, l'épaisseur de la couche d'eau tombée. Le zéro de l'échelle est au niveau d'une cloison percée d'un trou, l'instrument, avant une observation, étant toujours rempli d'eau jusqu'à ce niveau. Avec un appareil ainsi disposé, on ne peut mesurer que les quantités de pluie un peu abondantes, puisque c'est la hauteur même de la couche d'eau qu'on évalue et qu'on lit.

Pour obtenir plus de précision dans les lectures, on donne généralement au cylindre où l'eau est recueillie une section beaucoup plus petite que la section droite de l'entonnoir, c'est-à-dire que la sur-

face sur laquelle tombe la pluie. Ordinairement, le cercle ou la bague du pluviomètre a 226 millimètres de diamètre, ou bien une surface de 4 décimètres carrés. En prenant 71^{mm},5 pour le diamètre du cylindre, la surface de l'eau qu'on y recueille sera



Fig. 48. — Pluviomètre décupleur de Tonnello.

dix fois moindre que celle de l'entonnoir et sa hauteur dix fois plus grande. Les millimètres lus sur l'échelle seront donc des dixièmes de millimètre d'eau tombée. On pourrait prendre évidemment tout autre rapport pour les sections.

La figure 48 représente un pluviomètre construit d'après ce principe : c'est le pluviomètre *décupleur* Tonnello.

Le pluviomètre *totalisateur* de M. Hervé-Mangon (fig. 49) est construit d'une façon semblable, le

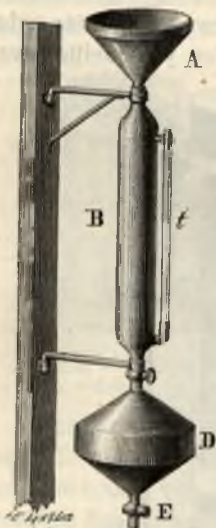


Fig. 49. — Pluviomètre totalisateur d'Hervé-Mangon.

tube latéral décuplant les hauteurs de pluie tombée. Seulement il porte un réservoir inférieur où l'on recueille successivement l'eau d'une série d'observations et qui sert de contrôle aux lectures. Voici la description et l'usage de l'appendice en question, d'après les *Instructions météorologiques* du Bureau central : « Au-dessous du cylindre de zinc est un réservoir D, complètement fermé, qui peut communiquer avec le cylindre B au moyen d'un robinet. Après l'observation de chaque jour, on ouvre ce robinet de façon à faire écouler dans le réservoir inférieur toute l'eau recueillie par le pluviomètre, puis on

ferme de nouveau le robinet. De cette manière le liquide s'amasse dans le réservoir D sans être exposé à aucune évaporation. De temps en temps, la personne qui surveille les observations mesure l'eau contenue dans le réservoir D, en ouvrant avec une clef spéciale le robinet E qui termine ce réservoir et en recevant dans une éprouvette graduée le liquide accumulé depuis la dernière inspection. Le nombre de centimètres cubes d'eau ainsi recueillie, divisé par 40, exprimera en millimètres la hauteur de la

couche tombée dans l'intervalle considéré, hauteur qui devra se trouver sensiblement égale à la somme des hauteurs inscrites dans la même période par l'agent chargé des opérations journalières. Cette vérification, toujours facile à faire, et ne demandant à la personne qui en est chargée que quelques minutes par mois, permet de corriger les erreurs que la négligence ou l'oubli introduit trop souvent dans les observations. »

On emploie, dans les observations météorologiques, des appareils enregistreurs de la pluie, *pluviographes* ou *udographes*.

Le pluviomètre enregistreur donne, outre la quantité d'eau tombée pour chaque pluie, les heures du jour et de la nuit où commence et finit le phénomène, et par suite sa durée. On en peut conclure encore l'intensité de l'averse.

Le récepteur des pluviomètres doit être placé dans un lieu bien découvert, de façon que le réservoir ne soit d'aucun côté abrité contre la pluie, et la reçoive, quelle que soit la direction du vent qui la pousse. On le dispose, d'habitude, de façon que son ouverture se trouve à 1^m,50 ou 2 mètres au-dessus du sol. Trop bas, il pourrait s'y introduire de l'eau provenant du rejaillement de la pluie, ou bien, en hiver, il risquerait d'être recouvert par la neige que le vent amoncellerait à son pied. Trop élevé, il ne donnerait généralement, comme l'expérience le prouve, qu'une quantité d'eau inférieure à celle qui tombe sur le sol. On attribue généralement cette inégalité à l'influence des remous du vent, et, pour cette raison, on recommande expressément de ne jamais installer le pluviomètre au-dessus d'un toit.

Pour recueillir la neige et mesurer l'eau qui en provient, on doit prendre quelques dispositions particulières (éviter notamment que les flocons soient, après leur chute, dispersés par le vent); il faut aussi fondre la neige recueillie.

CHAPITRE VI

LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LE VENT.

1

Direction et force du vent.

Tout mouvement de transport des couches de l'air, quel qu'en soit le sens, vertical ascendant ou descendant, oblique ou horizontal, constitue un courant aérien ou *vent*. Mais le plus souvent, dans le langage ordinaire et même dans les recherches scientifiques, c'est seulement la composante horizontale de ce mouvement que l'on considère, soit qu'il s'agisse d'en marquer la direction, soit qu'on veuille en mesurer la vitesse ou l'intensité.

Nous avons vu que l'air n'est en équilibre que si les couches qui le composent se superposent horizontalement dans l'ordre de leurs densités, décroissantes avec l'altitude. Dès que, par une cause quelconque, survient une différence de température entre deux régions contiguës, de nature à renverser l'ordre des densités qui maintient l'équilibre, ce dernier est troublé. La raréfaction qui s'est produite dans la région de l'air échauffée détermine un afflux

de l'air plus froid et plus dense, et le courant qui en résulte se propage de proche en proche avec une vitesse et une force qui dépendent des inégalités de température, de densité, de pression. La raréfaction de l'air peut être due encore à la précipitation de la vapeur d'eau qu'il contenait : c'est ce qui arrive après une pluie abondante, un orage. L'air des régions voisines se précipite dans le vide relatif ainsi formé, donnant lieu à un vent, comme dans le cas de l'inégalité de température.

Les causes de ces ruptures d'équilibre dans le sein de l'atmosphère sont extrêmement variées : les unes sont accidentelles ou locales, et tiennent aux lieux, à la nature du sol, à son humidité ou à sa sécheresse, à la végétation plus ou moins abondante qui le recouvre, à son altitude, à l'état hygrométrique de l'air, etc. ; les autres sont périodiques, et suivent les jours et les nuits ou les saisons. La répartition géographique des terres et des eaux, des montagnes, des plateaux et des plaines a aussi sur la production et la succession des vents une influence considérable. Ce qui n'est pas douteux, c'est l'importance qu'ont les courants aériens dans l'économie générale de la planète ou dans la climatologie. Suivant que les vents dominants d'une contrée sont froids ou chauds, secs ou humides, ils influent d'une façon favorable ou défavorable sur la végétation, sur la santé des hommes ou des animaux. Comme les courants de la mer, ils adoucissent les climats des régions vers lesquelles ils se dirigent, ou les rendent plus rigoureux. Ils purifient ou assainissent l'air des villes, qu'ils renouvellent ; ils transportent sur les continents, où elles se condensent et tombent

en pluie ou en neige, les immenses quantités de vapeur formées à la surface de la mer par l'évaporation. Enfin, ils transportent au loin les graines légères des plantes et aussi le pollen des fleurs, aidant ainsi à la dissémination et à la reproduction de la vie végétale à la surface de la terre. La partie de la Météorologie qui étudie les vents, les lois de leur propagation, a encore un côté pratique hautement apprécié par les marins, en permettant d'abrégé leur route, bienfait qui résulte aussi de la connaissance de plus en plus parfaite des courants océaniques.

Franklin a mis en évidence, à l'aide d'une expérience fort simple que tout le monde peut répéter, la production du vent, en tant qu'elle résulte de l'inégalité de la température. Si l'on ouvre, en hiver, la porte qui fait communiquer deux chambres, l'une froide, l'autre bien chauffée, il se produit aussitôt un double courant d'air. L'air de la chambre chauffée, plus léger, pénètre en montant dans la chambre froide, tandis que l'air plus dense de celle-ci s'écoule par en bas pour le remplacer. En plaçant deux bougies allumées à la partie inférieure et à la partie supérieure de la porte, la direction contraire de leurs flammes indique nettement le sens des deux courants opposés. C'est la même raison qui détermine les courants ascendants à l'intérieur des cheminées, sans lesquels le tirage ne serait pas possible, et qui produit les mouvements de l'air à l'intérieur d'un verre de lampe, ou encore le long des tuyaux des poêles.

Les vents qui ont pour cause immédiate une raréfaction de l'atmosphère en un de ses points se

nomment *vents d'aspiration*, et l'on admet dès lors nécessairement qu'ils se propagent peu à peu dans une direction opposée à celle suivant laquelle ils soufflent, de sorte qu'un vent d'est, par exemple,



Fig. 50. — Formation des courants aériens par l'inégalité de température des couches d'air.

qui règne sur l'Europe centrale et qui souffle vers les côtes de l'Atlantique, a commencé par se faire sentir à l'ouest, en France par exemple, en Suisse, en Allemagne et finalement en Russie. Cette opinion, qui était déjà celle de Franklin, a été controversée. Kaemtz était plutôt porté à croire que le vent commence dans un point situé au milieu de la

région où il règne, pour se diriger, de là, en arrière aussi bien qu'en avant. Il invoque à l'appui de sa manière de voir les brises de terre et de mer, dont la cause est bien connue et dont nous parlerons plus loin. Il cite, d'ailleurs, des faits contraires à l'opinion de Franklin aussi bien que des faits favorables; mais aujourd'hui ces observations opposées ne sembleraient plus contradictoires. La loi de propagation énoncée par Franklin s'appliquant aux vents naissants, aux courants d'aspiration, est toujours vraie. Mais elle ne l'est plus s'il s'agit des courants d'impulsion, des *vents d'insufflation*, comme on les a nommés par opposition aux vents d'aspiration; s'il s'agit de la propagation des bourrasques, cyclones, etc., phénomènes complexes, grands mouvements atmosphériques où les masses d'air sont animées à la fois d'un mouvement de giration et d'un mouvement de translation à la surface de la planète. Nous reviendrons sur ce point plus loin.

Pour le moment, bornons-nous à énumérer les éléments des courants aériens que l'observation constate et mesure, avant de dire, dans le paragraphe qui va suivre, quels appareils les météorologistes emploient dans ce but spécial. Ces éléments sont la direction, la vitesse, l'intensité ou la pression du vent.

La *direction* du vent s'entend de celle du point de l'horizon d'où il souffle et s'indique par l'orientation de ce point rapportée aux quatre points cardinaux et aux points intermédiaires. On se borne ordinairement aux trente-deux désignations suivantes, appliquées aux divisions du cercle de l'horizon et dont l'ensemble forme la *rose des vents*. Chacun des

secteurs a reçu le nom de *rumb*; quand le vent passe de l'un à l'autre, on dit qu'il a sauté de un ou plusieurs rumb :

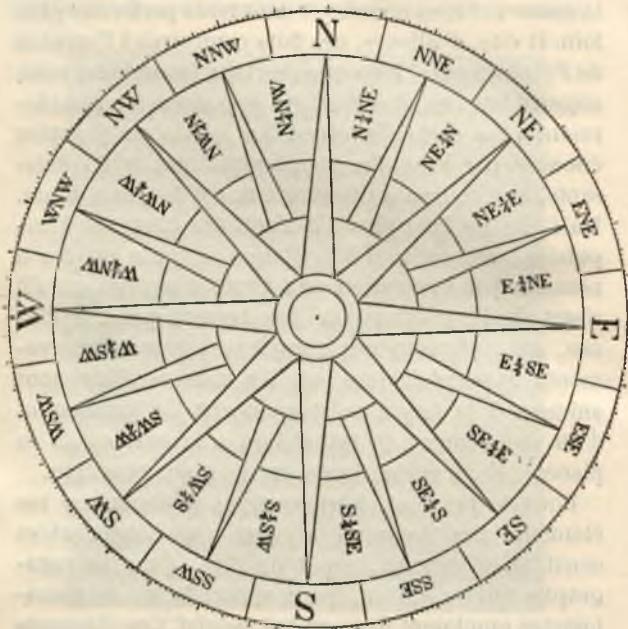


Fig. 51. — Rose des vents. Les trente-deux rumb usités dans la navigation et la météorologie.

NORD	EST	SUD	OUEST
$n \frac{1}{4} ne$	$e \frac{1}{4} se$	$s \frac{1}{4} sw$	$w \frac{1}{4} nw$
NORD-NORD-EST	EST-SUD-EST	SUD-SUD-OUEST	OUEST-NORD-OUEST
$ne \frac{1}{4} n$	$se \frac{1}{4} e$	$sw \frac{1}{4} s$	$nw \frac{1}{4} w$
NORD-EST	SUD-EST	SUD-OUEST	NORD-OUEST
$ne \frac{1}{4} e$	$se \frac{1}{4} s$	$sw \frac{1}{4} w$	$nw \frac{1}{4} n$
EST-NORD-EST	SUD-SUD-EST	OUEST-SUD-OUEST	NORD-NORD-OUEST
$e \frac{1}{4} ne$	$s \frac{1}{4} se$	$w \frac{1}{4} sw$	$n \frac{1}{4} nw$
EST	SUD	OUEST	NORD

La *vitesse* du vent est le nombre de mètres que parcourent les molécules d'air en une seconde (ou le nombre de kilomètres parcourus en une heure). L'*intensité* ou la *force* du vent est la pression qu'il exerce sur l'unité de surface, qui est le mètre carré; on l'exprime d'ordinaire en kilogrammes. Dans les observations courantes, en l'absence d'appareils propres à mesurer la vitesse du vent et sa force, que l'on confond souvent à tort, on estime directement l'un ou l'autre de ces éléments, en adoptant une échelle conventionnelle, dont les degrés correspondent à des effets connus du vent, sur terre ou sur mer. Les tableaux suivants montrent la concordance entre les degrés de l'échelle terrestre adoptée par les météorologistes, et ceux de l'échelle de Beaufort plus particulièrement usitée chez les gens de mer :

ÉCHELLE TERRESTRE	EFFETS DU VENT	ÉCHELLE MARINE DE BEAUFORT
0. Calme.	La fumée s'élève verticalement; les feuilles des arbres sont immobiles.	0. Calme.
1. Faible.	Sensible aux mains ou à la figure; agite les petites feuilles.	1. Presque calme.
2. Modéré.	Fait flotter un drapeau; agite les feuilles et les petites branches des arbres.	2. Légère brise.
3. Assez fort.	Agite les grosses branches des arbres.	3. Petite brise.
4. Fort.	Agite les plus grosses branches et les troncs de petit diamètre.	4. Jolie brise.
5. Violent.	Secoue tous les arbres, brise les branches et les troncs de petit diamètre.	5. Bonne brise.
6. Ouragan.	Renverse les cheminées, enlève les toits des maisons, déracine les arbres.	6. Bon frais.
		7. Grand frais.
		8. Petit coup de vent.
		9. Coup de vent.
		10. Fort coup de vent.
		11. Tempête.
		12. Ouragan.

Les *Instructions* du Bureau central météorologique de France, auxquelles nous empruntons le tableau précédent, y joignent celui de la vitesse ou de la force du vent pour chacun des sept degrés de l'échelle terrestre ou des treize degrés correspondants de l'échelle marine. Voici ces nombres :

DEGRÉS DE L'ÉCHELLE		VITESSE		PRESSION DU VENT EN KILOGRAMM. PAR MÈTRE CARRÉ
TERRESTRE	MARINE	EN MÈTRES PAR SECONDE	EN KILOMÈTRES PAR HEURE	
0	0	De 0 ^m à 0 ^m ,5	De 0km à 1km,8	De 0kg à 0kg,1
1	1.2	0 ^m ,5 5 ^m	1km,8 18km	0kg,1 3kg
2	3.4	5 ^m 10 ^m	18km 36km	3kg 12kg
3	5.6	10 ^m 15 ^m	36km 54km	12kg 27kg
4	7.8	15 ^m 20 ^m	54km 72km	27kg 48kg
5	9.10	20 ^m 30 ^m	72km 108km	48kg 108kg
6	11.12	Au-dessus de 30.	Au-dessus de 108.	Au-dessus de 108.

Ces définitions données, voyons comment on mesure les divers éléments du vent.

II

Girouettes, anémoscopes et anémomètres.

Pour observer la direction du vent, on se sert de temps immémorial des girouettes, fixées au sommet des maisons ou des édifices quelconques, ou à l'extrémité de mâts élevés spécialement pour cet objet. En mer, les flammes des mâts, la fumée des cheminées des bateaux à vapeur n'indiquent la direction vraie du vent que si le navire marche dans

le vent; en cas contraire, elles marquent la direction de la composante des vitesses du vent et du navire. Les voyageurs qui n'ont pas de girouettes à leur disposition peuvent y suppléer en attachant un ruban à l'extrémité d'une baguette; quand le vent est faible, il suffit de tourner la figure à tous les points de l'horizon pour distinguer le point d'où il souffle; en mouillant un doigt et le tenant en l'air, le froid que produit l'évaporation est plus vif du côté du vent; on peut ainsi se rendre compte de sa direction approchée.

Les girouettes ordinaires, le plus souvent mal construites, mal équilibrées, offrent en outre un inconvénient qui en rend l'emploi difficile en météorologie : étant situées au dehors et à la partie supérieure des édifices, l'observation tant soit peu continue en est pénible, et d'ailleurs l'observateur a quelque peine à discerner le rumb de vent avec précision. Si leur élévation est insuffisante, le courant qui les entraîne a souvent une direction qui n'est pas celle du vent régnant; c'est ce que chacun peut constater en examinant plusieurs girouettes voisines : il arrive assez rarement que leurs indications soient concordantes. Avant de décrire le mode d'installation le plus rationnel, n'oublions pas de dire que les courants aériens n'ont pas toujours la même direction à différentes hauteurs. On voit quelquefois les nuages marcher dans un sens et les girouettes dans un autre. Il y aura donc, pour un météorologiste, deux observations simultanées à faire : celle de la direction du vent à une hauteur suffisante au-dessus du sol, et celle de la direction suivie par les nuages ou même par diverses couches

de nuages superposées. Pour la première, il se servira des anémoscopes que nous allons décrire; pour la seconde, qui n'est pas toujours aisée, il pourra s'aider du *miroir à nuages*. Voici la description de ce dernier appareil donnée par les *Instructions météorologiques* : « C'est un disque de glace noire ¹, fixé horizontalement, et portant gravés sur sa circonférence les quatre points cardinaux et les directions intermédiaires, N., N.-N.-E., E.-N.-E., etc. Sur ce disque on peut poser en un endroit quelconque une tige de métal verticale, munie d'un pied et terminée en haut par un œilleton. Pour déterminer la direction du mouvement d'un nuage, on pose cette tige de métal à un endroit tel, que l'œil placé derrière l'œilleton voie l'image du nuage par réflexion sur la glace noire se faire au centre du disque; puis, sans bouger l'œilleton, on regarde par quelle division du cercle l'image du nuage sort du miroir : la direction opposée est celle par laquelle le nuage est entré. On peut même se dispenser de chercher la direction opposée et noter simplement celle par laquelle disparaît le nuage, si l'on a eu la précaution d'orienter le miroir à rebours, la division S vers le nord, E vers l'ouest, et ainsi de suite; la lecture donnera alors la direction qu'il faut inscrire sur les feuilles et qui est toujours celle *d'où vient* le nuage. »

1. On emploie le verre noir, pour assombrir la lumière des nuages réfléchis par le miroir; l'éclat de cette lumière rend souvent en effet les observations suivies pénibles, fatigantes pour la vue. Quant au miroir à nuages, il est d'une installation si simple, que chacun peut en établir un au-devant d'une fenêtre d'où l'on découvre une étendue suffisante du ciel. Il suffit de se bien orienter et de s'assurer de l'horizontalité du plan sur lequel il repose.

L'observation de la direction du vent à terre se fait plus souvent à l'aide d'une girouette, le plus simple des *anémoscopes*. Elle doit être installée à une hauteur suffisante pour n'être pas contrariée par les remous qui résultent du voisinage des édifices, des arbres, etc. Il importe avant tout qu'elle soit très mobile, ce qui aura lieu si elle peut tourner librement autour d'un axe d'une verticalité parfaite, et si elle est en équilibre, son centre de gravité se trouvant sur l'axe même. Deux lames rectangulaires formant un angle aigu (d'environ 20 degrés), soudées à la tige verticale, ont pour contrepoids une flèche, terminée par une pointe ou une boule dirigée



Fig. 52. — Installation d'une girouette.

dans le plan bissecteur des lames. La tige traverse le toit de l'édifice, ainsi que le plafond de la salle où se tient l'observateur; elle passe dans des colliers qui la maintiennent sans la serrer. Elle porte à son extrémité inférieure un disque horizontal solide, enfermé dans un tambour fixé au plafond, et reposant sur des billes de métal ou d'agate. De la sorte,

la mobilité de la tige en partant de la girouette est assurée¹; d'autre part, la double lame, en lui donnant plus de stabilité, empêche les oscillations trop fortes et trop fréquentes qu'on observe dans les bourrasques, lorsque la lame est unique. Les indications se lisent au-dessous du tambour, sur une rose des vents tracée au plafond et qui a pour centre l'extrémité de la tige. Celle-ci porte, dans ce but, une aiguille fixée dans une direction exactement parallèle au plan bissecteur des deux lames de la girouette et suivant par conséquent toutes ses oscillations. Cette installation permet d'observer la direction du vent à tout instant, pendant la journée et surtout pendant la nuit, sans quitter la chambre, et elle suffit quand on ne tient pas à noter toutes les variations de cette direction. Quand on veut connaître ces variations d'une manière continue, ou même seulement à des intervalles un peu rapprochés et sans interruption, l'observation de la girouette devient par trop pénible. En ce cas, il faut adopter des appareils enregistreurs soit de la direction, soit de la vitesse du vent, soit de ces deux éléments à la fois. Dès le commencement du siècle dernier, on avait

1. « Au lieu de faire reposer la girouette sur des billes, disent les *Instructions météorologiques*, on peut la supporter, dans un grand vase plein d'eau salée ou chargée de chlorure de calcium, au moyen d'un flotteur, par exemple un cylindre de zinc creux ou une sphère. Ce flotteur pourra être muni extérieurement d'ailettes, destinées à augmenter le frottement contre le liquide. On obtient ainsi, mieux que par tout autre procédé, une girouette qui obéit aux vents les plus faibles, et qui offre au contraire une grande résistance aux déplacements rapides, ce qui fait qu'elle présente moins, par les vents forts, ces oscillations violentes, qui sont dues le plus souvent aux défauts de l'instrument. »

compris l'utilité de ces instruments automatiques ; un mécanicien distingué de cette époque, d'Ons en Bray, donna dès 1734 (dans les *Mémoires de l'Académie des sciences*) la description d'un « anémomètre qui marque de lui-même sur le papier non seulement les vents qu'il a fait pendant les vingt-quatre heures, et à quelle heure chacun a commencé et fini, mais aussi leurs différentes vitesses ou forces relatives ».

Le nombre des appareils imaginés depuis lors pour enregistrer la direction, la vitesse ou la force du vent est considérable. Nous ne ferons que citer l'anémoscope du P. Beaudoux, les anémomètres de Bouguer, de Lind, de Taupenot, de Liais, celui de Combes et de Morin, pour arriver tout de suite aux appareils usités aujourd'hui dans les observatoires météorologiques. Ces appareils sont en même temps enregistreurs. Nous prendrons pour exemple de ces derniers appareils les anémomètres qui sont employés à l'observatoire de Montsouris depuis une dizaine d'années.

A l'origine, la direction du vent était enregistrée par l'anémomètre de M. Hervé-Mangon. Voici à l'aide de quelle disposition : La girouette porte, sur son axe, quatre disques métalliques qui tournent avec elle et jouent le rôle de commutateurs électriques. A cet effet, chacun des disques est entaillé sur les 5 huitièmes de sa circonférence ; 3 huitièmes forment saillie ; mais les quatre disques sont fixés sur l'axe de façon que le milieu de chacune des saillies est à 90 degrés de celle qui se trouve au-dessus ou au-dessous d'elle, de sorte que, lorsque le mouvement de la girouette oriente l'une d'elles au Nord, les trois autres sont orientées Est, Sud, Ouest.

Quatre lames de ressort disposées, dans la boîte contenant les disques, en regard de chacun d'eux, appuient sur leur circonférence et maintiennent le contact avec celui d'entre eux qui présente sa partie saillante. Ce contact persiste tant que la direction du vent est comprise entre les divisions extrêmes qui

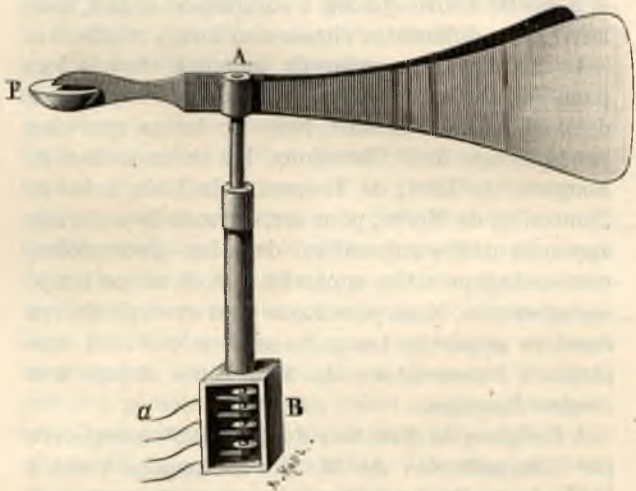


Fig. 53. — Girouette de l'anémomètre Hervé-Mangon, enregistreur de la direction du vent.

correspondent aux 3 huitièmes de la circonférence, il peut exister pour un seul disque ou pour deux disques à la fois, mais jamais plus. Un contact unique a lieu quand le vent souffle de l'une des quatre directions principales, N., E., S., W.; dans les quatre directions intermédiaires, le contact existe pour les deux disques correspondants. Or les lames de ressort ou frotteurs sont en relation, par des fils

conducteurs, avec les pôles d'électro-aimants au nombre de quatre; quand le contact a lieu, le courant passe, anime un ou deux des électros et fait mouvoir un trembleur qui marque un point sur une bande de papier déroulée uniformément sous l'action d'un mouvement d'horlogerie. L'enregistrement se fait de dix minutes en dix minutes, de sorte que l'examen des points tracés sur le papier dans une période de vingt-quatre heures permettra de relever la direction du vent et toutes ses variations pendant cet intervalle.

Cet appareil, excellent d'ailleurs, avait l'inconvénient de ne donner que huit directions. Dans le but d'en obtenir seize, le directeur de l'Observatoire, M. Marié-Davy, le fit remplacer par un anémomètre construit par Salleron.

Quant à la vitesse du vent, elle s'obtient à l'aide de l'anémomètre de Robinson. C'est un moulinet à quatre branches horizontales, dont chacune porte à son extrémité un hémisphère métallique creux. Le système est porté par un axe D au sommet du mât et tourne sous l'action du vent, plus forte à l'intérieur des coupes que sur leur partie convexe. C'est du nombre des tours ou des révolutions complètes

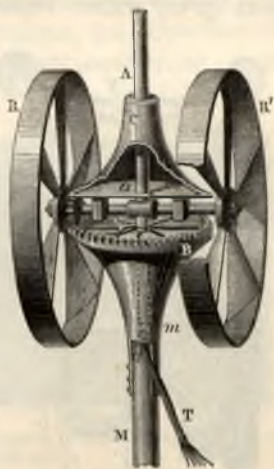


Fig. 54. — Anémomètre Salleron.

faites par le moulinet que l'on peut déduire la vitesse du vent par heure et par seconde, d'après un principe qui a été établi par l'inventeur. Selon Robinson, le nombre des tours est proportionnel à la vitesse du vent; quand la longueur des bras est assez grande pour qu'on puisse regarder comme insensible le

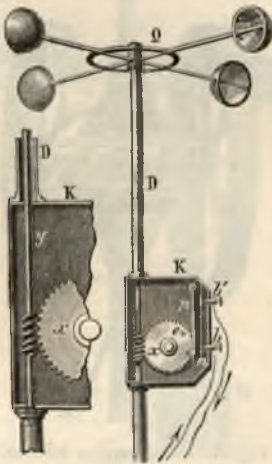


Fig. 55. — Anémomètre à moulinet de Robinson.

frottement sur l'axe, le chemin parcouru en un temps donné par l'un des hémisphères est égal au tiers du chemin parcouru par une molécule d'air dans le même temps. Un calcul facile permet donc d'obtenir la vitesse du vent, si l'on connaît le nombre des tours du moulinet et la distance du centre d'un hémisphère à l'axe de rotation. Celle-ci est connue et constante pour un anémomètre; le nombre des tours est donné soit par un compteur à

cadran, soit par un enregistreur électrique. Dans les deux cas, l'arbre D qui porte le moulinet ou plutôt la tige *y* communique son mouvement de rotation, par l'intermédiaire d'une vis sans fin, à une roue dentée *x*. Chaque tour du moulinet fait avancer cette roue d'une dent; si elle a 100 dents, une révolution de la roue correspondra à 100 tours. Dans les compteurs, la première roue engrène, par un pignon, avec une

seconde roue dont la vitesse est 10 fois moindre; chaque révolution correspondra à 1000 tours du moulinet. Les index des cadrans centrés sur roues permettront donc de calculer combien de tours le moulinet a faits dans un temps donné, et par suite le nombre de kilomètres parcourus par le vent, ou, selon le langage météorologique, les *kilomètres de vent* qui ont passé par l'anémomètre en vingt-quatre heures.



Fig. 56. — Diagrammes de l'anémomètre donnant la direction du vent et sa vitesse.

La figure 56 est la reproduction des tracés de l'anémomètre que nous venons de décrire pour trois journées consécutives de 24 heures. La ligne divisée du bas de la figure est une ligne de repère dont chaque trait correspond à une heure des trois jours. Au-dessus, sur une ligne marquée V, on voit une suite de courbes obliques, de longueurs inégales; ce sont celles dont nous venons de parler en dernier lieu; par leur longueur, elles marquent la vitesse du vent pendant chaque heure: la courbe que forment leurs extrémités traduit à l'œil les variations successives de cette vitesse. Plus haut, huit

lignes horizontales correspondent aux directions du vent des quatre points cardinaux et à leurs intermédiaires. Les traits verticaux qui en descendent indi-

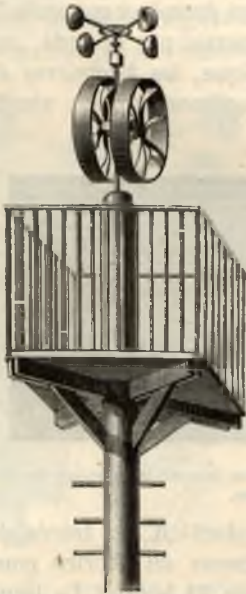


Fig. 57. — Plate-forme du mât des anémomètres, à l'observatoire de Montsouris.

quent quelle était, à l'heure correspondante, la direction du vent qui soufflait alors. En certains points, deux directions, W. et S. W. par exemple, sont superposées. Cela montre qu'à ces heures la direction du vent était comprise entre ces deux rumb; elle était W. S. W. par conséquent, ou à peu près.

A l'observatoire de Montsouris, la *pression du vent* était primitivement donnée par quatre cônes fixes dirigés vers les points cardinaux. Ces cônes, disposés aux quatre coins de la plate-forme du mât des anémomètres (fig. 57), communiquaient avec l'intérieur du pavillon des en-

registreurs au moyen de quatre tuyaux de cuivre, longs chacun de 24 mètres environ. Chaque tuyau était terminé par un tube de caoutchouc aboutissant à l'intérieur d'une mince boîte de baromètre métallique. En groupant ces boîtes deux par deux, par *vents opposés*, la pression était positive dans l'une, négative dans l'autre, et

c'est leur différence (ou somme algébrique) que l'aiguille marquait sur le cylindre de l'enregistreur. Les deux résultats obtenus donnaient les composantes rectangulaires de la pression, d'où l'on pouvait déduire la pression totale. « Mais les à-coups du vent, dit l'*Annuaire* de 1878, étaient compliqués par son incessante mobilité. Le relevé des données enregistrées devenait peu sûr et d'une extrême difficulté. » Ces inconvénients ont décidé le directeur de l'Observatoire à substituer au système que nous venons de décrire sommairement l'anémomètre multiplicateur de M. Eugène Bourdon (décrit dans le t. V du MONDE PHYSIQUE), qui a pour objet principal la mesure et l'enregistrement des pressions variables du vent.

II

Variations périodiques du vent, diurnes, annuelles.

Les observations anémométriques peuvent servir à une double fin, à la solution de deux problèmes dont chacun a son importance en météorologie. L'un intéresse plus particulièrement la climatologie, l'autre la météorologie dynamique, ou, si l'on veut, l'étude de la circulation atmosphérique générale. Dans ce second cas, les données recueillies en un lieu donné, sur terre comme sur mer, indiquant, pour les diverses époques de l'année, la direction probable du vent, d'après sa fréquence dans chaque rumb, sa vitesse ou son intensité, ne seront qu'un élément, parmi les milliers ou les millions d'éléments

nécessaires, mais un élément indispensable à la découverte des lois de cette circulation, découverte si utile à la navigation et à d'autres branches de l'activité humaine. Les mêmes données considérées isolément peuvent servir à caractériser le climat de la région où elles ont été amassées.

En chaque région du globe, en effet, les vents qui soufflent des divers points de l'horizon ont des propriétés physiques fort différentes, variables d'ailleurs avec les saisons. Tantôt les masses d'air qu'ils apportent en ce lieu ont une température plus élevée que celle qu'ils remplacent, ou au contraire plus basse; tantôt ils sont plus chargés d'humidité, ou au contraire plus secs; ils amènent ou font cesser la pluie, la neige, les orages. Il y a donc alors grand intérêt à savoir quelles sont les lois de leur succession, leur fréquence et leur durée relatives, les variations de leur vitesse. Si l'on parvenait à déterminer ainsi la masse d'air venue de chaque direction pendant le cours de l'année, on obtiendrait un des facteurs les plus efficaces du climat de la région où les observations ont été faites.

Essayons de donner une idée de ce qui a été réalisé dans cet ordre spécial de recherches.

Si l'on fait tous les jours, dans un observatoire météorologique, une, deux ou trois fois par jour, l'observation de la direction du vent, si, après un intervalle de 3 mois, de 6 mois ou d'une année, on réunit, pour chaque rumb de vent, le nombre des observations, on aura ainsi la fréquence de la direction dans le lieu donné. En portant sur une rose des vents, dans chaque direction, une ligne ou flèche, et en donnant à ces lignes des longueurs proportion-

nelles aux nombres de fois que le vent a soufflé dans chacune d'elles, on aura la représentation graphique de cette même fréquence. En certains jours,



Fig. 58. — Observatoire météorologique de Montsouris.

la direction du vent est indécise ; elle est variable ou il y a calme complet. On tient compte de ces cas, en inscrivant au centre de la rose un cercle dont le rayon représente, par sa longueur, le nombre moyen des jours où le vent est calme ou variable. La figure 60 donne la rose de direction des vents

pour l'observatoire de Montsouris, telle qu'elle résulte de la moyenne des observations ; et la figure 59 celle de l'année 1878-1879 seule ¹. Au premier coup d'œil, on voit que le vent dominant est celui du sud-ouest ; si l'on partage les huit rumb

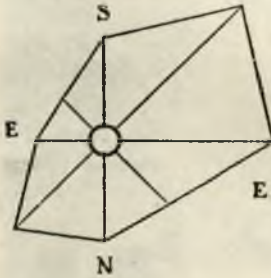


Fig. 59. — Rose de la direction et de la fréquence relative des vents à Montsouris. — Année 1878-1879.

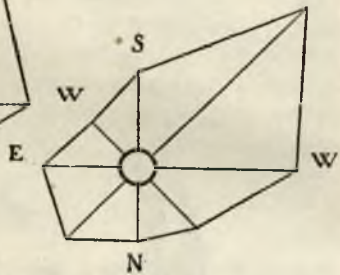


Fig. 60. — Année moyenne.

en deux groupes, le premier formé des quatre vents S., S.-W., W. et N.-W., le second des quatre autres N., N.-E., E. et S.-E., il est visible aussi que c'est le premier groupe qui comprend les vents les plus fréquents ; et en effet, année moyenne, les premiers soufflent 202 jours à Montsouris, les autres seule-

1. On joint d'habitude les sommets des flèches par des lignes dont l'ensemble forme un polygone fermé. Chaque flèche est tracée dans le sens où souffle le vent ; celle qui marque les vents du nord s'avance vers le sud ; les vents d'ouest sont représentés par la flèche de droite, dirigée vers l'est, etc. On pourrait indiquer les jours de vents variables en prolongeant chaque flèche d'une longueur égale, proportionnelle à la moyenne des nombres de jours et en réunissant les extrémités par un polygone pointillé. Le cercle du centre représenterait alors les jours de calme.

ment 118. Comme on a l'habitude de désigner ceux-ci par le nom de *vents polaires* et ceux-là par celui de *vents équatoriaux*, cela revient à dire que les vents équatoriaux sont les vents dominants de la région où se trouve situé l'observatoire de Montsouris.

La fréquence relative des vents varie naturellement d'une région à l'autre. Si l'on comparait les roses de direction que nous venons de donner pour Paris avec celle de l'année moyenne à Calcutta, la différence des deux régimes sauterait aux yeux. Dans l'Inde, l'écart est beaucoup moindre entre les vents équatoriaux et les vents polaires : sur 1000 vents, 567 soufflent de la région sud, 433 de la région nord. Toutefois le sud-ouest est encore la direction prédominante.

L'influence des saisons n'est pas moindre. D'après les observations de huit années faites à Calcutta par Hardwicke, il y a une opposition tranchée entre la direction des vents dominants pendant les mois d'hiver (octobre à mars) et celle des vents qui règnent pendant les six mois d'été (avril à septembre). Pendant la saison d'hiver on remarque une prédominance marquée des vents de la direction N.-W. ; en été, c'est au contraire du sud-est au sud-ouest que soufflent les vents dominants. Cette opposition n'existe pas, pour ainsi dire, dans nos contrées, où les vents équatoriaux sont les plus fréquents, non seulement pour l'année entière, mais dans chaque saison et dans chaque mois de l'année.

IV

Les brises de mer et les vents de terre.**Brises diurnes et nocturnes des pays alpestres.**

Sur le littoral de la mer et à une certaine distance des côtes, aussi bien sur mer que sur terre, on observe des vents dont la direction alterne chaque jour périodiquement et d'une façon régulière. Ce sont les *brises de mer* et les *vents de terre*, dénominations qui indiquent le sens dans lequel soufflent ces courants aériens.

Par les jours clairs et beaux, quand l'atmosphère n'est pas troublée par une bourrasque, le lever du soleil est suivi, au bord de la mer, de quelques heures de calme. Vers huit ou neuf heures de la matinée, une légère brise commence à souffler de la mer; peu à peu le vent prend de la force, à mesure qu'il pénètre plus avant dans les terres. Vers trois heures de l'après-midi, la brise de mer atteint son maximum, après quoi elle va en s'affaiblissant jusqu'au coucher du soleil. Le calme dure peu; un vent soufflant de la terre vers la mer lui succède et persiste jusqu'au moment du lever du soleil, instant où il atteint son maximum de vitesse et d'extension.

La cause des brises de terre et de mer, de leur périodicité diurne, est aisée à comprendre. Elle est tout entière dans ce fait bien connu que pendant le jour le sol s'échauffe plus et plus rapidement que l'eau de la mer sous l'action des rayons du soleil, et dans ce fait opposé que pendant la nuit le refroidissement par rayonnement est au contraire plus rapide

sur terre que sur mer. Les couches d'air surplombantes participent à ces différences de température ; les plus chaudes s'élèvent en vertu de leur moindre densité, et l'équilibre rompu tend à se rétablir par l'appel des couches plus froides et plus denses. Toutefois, comme l'inégalité de température est généralement plus accentuée pendant le jour que pendant la nuit, il en résulte que la brise de mer doit être plus vive que celle de terre, laquelle, en revanche, a une durée un peu plus longue. Quand le temps est couvert, l'échauffement du sol et le rayonnement de la surface sont considérablement amoindris, et par suite les inégalités de température qui causent ces mouvements aériens s'atténuent : les brises sont faibles.

La direction commune des brises de terre et de mer est perpendiculaire à celle de la côte. Elle subit toutefois, en raison du mouvement de rotation de la terre, une déviation qui la fait incliner vers la droite dans l'hémisphère boréal, à gauche dans l'hémisphère austral. Ainsi, le long d'une côte exposée au nord, les vents de mer s'inclinent du côté de l'est ; pour une côte exposée au sud, ils viennent du côté du sud-ouest. Cela suppose, comme nous l'avons dit, que le calme règne dans la région considérée. Mais si un vent de direction constante souffle en même temps, cette déviation sera modifiée dans un sens ou dans l'autre, et il en sera de même de la force des deux brises, qui pourra être accrue, diminuée ou même annulée, selon la force et la direction du vent régnant. On se rendra aisément compte de ces modifications en considérant les deux courants aériens simultanés comme deux forces de directions et d'in-

tensités connues, et en cherchant quelle est leur résultante d'après la règle de la composition de deux forces concourantes. Un vent d'ouest, par exemple, accroîtra la force de la brise de mer et diminuera celle de la brise de terre, sur une côte occidentale, sans changer leur direction; les effets seront opposés le long d'une côte orientale. Sur une côte exposée au nord, le vent d'ouest régnera inclinera au nord-ouest la brise de mer, au sud-ouest celle de terre, etc.

Au fond des baies et des golfes, les brises de mer sont faibles; et cela s'explique par la divergence des mouvements qui sollicitent à la fois les couches d'air; celles-ci ne se meuvent qu'en vertu de la différence des forces en action. Dans les parties des terres qui s'avancent dans la mer, sur les promontoires ou les caps, ce sont au contraire les brises de terre qui sont peu accentuées.

Les inégalités de température qui donnent lieu aux brises périodiques diurnes ne font pas seulement sentir leur influence sur les côtes maritimes. Comme elles se manifestent aussi dans les contrées où le sol est accidenté entre les points dont l'altitude est inégale, il en résulte des courants ascendants et descendants du jour et de la nuit, que connaissent de temps immémorial les habitants des montagnes et des vallées. Ces flux et reflux journaliers des masses atmosphériques ont reçu, dans les Alpes et le Jura, des dénominations diverses, selon les localités : *thalwind*, *pontias*, *vesine*, *solore*, *vauderou*, *rebas*, *vent du Mont-Blanc*, *aloup du vent*.

CHAPITRE VII

LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE

LES VENTS PÉRIODIQUES, ALIZÉS ET MOUSSONS

I

Vents périodiques et réguliers.

On vient de décrire et d'étudier séparément chacun des éléments du temps, la température et la pression de l'air, son état de sécheresse ou d'humidité, les météores qui prennent naissance au sein de l'atmosphère et qui sont une conséquence plus ou moins prochaine de la combinaison de ces éléments. Il nous reste, pour bien connaître ce qu'est le temps, à envisager les mêmes phénomènes dans leur ensemble à la surface du globe terrestre, et à voir quelles sont les lois de leur succession, soit dans le temps, soit dans l'espace.

Il n'y a qu'un petit nombre d'années que les météorologistes ont été amenés à considérer les choses d'une façon aussi générale. Jadis, on cherchait surtout, en rassemblant le plus grand nombre possible d'observations barométriques, thermométriques,

anémométriques et hygrométriques, à caractériser le climat moyen de chaque région pourvue d'un observatoire. On étudiait en outre les conditions physiques de la formation et du développement des phénomènes. C'était là une besogne préalable fort intéressante et très utile, qui n'est pas d'ailleurs terminée, tant s'en faut. Mais elle laissait à peu près de côté un problème plus intéressant encore, surtout au point de vue qui touche le plus le public, c'est-à-dire au point de vue pratique : la question de la prévision du temps. Tout ce qu'on savait sur ce point important se bornait aux pronostics qu'avait depuis longtemps recueillis, sous forme de dictons populaires, l'empirisme des agriculteurs et des marins de tous les temps et de tous les pays : les savants, nous l'avons vu dans les premiers chapitres de ce volume, n'ont guère fait que résumer en langage scientifique ce que les gens du peuple avaient observé avant eux.

A l'époque dont nous parlons, d'ailleurs, les communications rapides n'existaient pas entre les régions tant soit peu éloignées de la Terre; on n'avait connaissance des faits météorologiques remarquables et lointains que longtemps après qu'ils s'étaient produits; les rapports qu'ils pouvaient avoir avec les phénomènes locaux passaient inaperçus; les lois de succession des uns et des autres devaient rester ignorées, ou du moins seulement soupçonnées. Depuis que les relations entre les diverses régions du globe se sont à la fois multipliées et accélérées, grâce aux progrès simultanés de la locomotion terrestre ou maritime et des communications télégraphiques, on a entrevu la possibilité de connaître l'état météoro-

logique général, de savoir le temps qu'il fait au même instant sur une grande étendue de pays, et d'avoir ainsi une idée nette de la manière dont se propagent les grandes perturbations de l'atmosphère, causes les plus fréquentes des changements variés qu'on observe dans des localités diversement situées. En un mot, grâce aux communications régulièrement établies entre des stations météorologiques nombreuses et convenablement réparties, on a pu découvrir les lois de la propagation des mouvements troublants de l'atmosphère ; en y joignant celles que l'on connaissait déjà de ses mouvements périodiques et réguliers, on peut espérer de posséder dans un avenir prochain les lois générales de la circulation atmosphérique sur les continents et sur les mers. Nous allons essayer d'exposer ce qu'on sait aujourd'hui des unes et des autres.

Comme nous venons de le dire, la circulation atmosphérique générale se compose, en premier lieu, de vents affectant, dans leur intensité et dans leur direction, une certaine régularité, une périodicité ou une constance suffisante pour qu'on les comprenne sous la dénomination de *vents réguliers*. Tels sont les vents *alizés* des océans Atlantique et Pacifique, les *moussons* des mers de la Chine et de l'Inde, les vents *étésiens* de la Méditerranée. Outre ces mouvements généraux de l'atmosphère qui s'expliquent, ainsi qu'on le verra bientôt, de la même manière que les brises périodiques étudiées plus haut, et que séparent des zones ou des centres de calme, il se produit de temps à autre de grands mouvements tourbillonnants qui se propagent à de grandes distances, depuis les régions comprises

entre l'équateur et les tropiques jusqu'aux confins des deux zones tempérées. Ces phénomènes perturbateurs de l'équilibre atmosphérique, connus sous les dénominations de *bourrasques*, de *cyclones*, de *tornados*, de *typhons*, jouent un rôle d'une grande importance dans les changements de temps qui caractérisent nos saisons et nos climats.

Les vents périodiques de l'océan Indien connus sous le nom de *moussons* n'étaient pas ignorés des anciens, et les navigateurs grecs qui, au lieu de suivre les côtes, se hasardèrent au large de la mer des Indes, avaient donné à ces vents le nom d'*hippalos*¹. Mais les *alizés*, qui soufflent entre les tropiques et principalement au-dessus de l'océan Atlantique et du Pacifique, n'ont été observés pour la première fois par les Européens qu'en 1492. C'est dans le premier voyage de Christophe Colomb, vers le milieu du mois de septembre, que les compagnons de ce grand homme, effrayés de la continuité des brises qui soufflaient constamment de l'est, commencèrent à craindre que leurs navires ne pussent jamais retourner en Espagne. Ces vents réguliers, qui au début du voyage favorisaient les vues de Colomb, menaçaient, en s'éternisant, de lui porter un coup funeste, en poussant à la sédition de pauvres matelots en proie à toutes sortes de terreurs superstitieuses. Heureusement, au bout de quelques jours, le vent, passant

1. « *Monsun* (en malais *musim*, l'*hippalus* des Grecs), dit Humboldt, vient de Parabe *mausim*, époque fixée, saison, époque du rassemblement de ceux qui font le pèlerinage de la Mecque. Ce mot a été appliqué à la saison des vents réguliers, lesquels tirent leur nom spécifique des contrées d'où ils soufflent; ainsi on dit le *mausim* d'Aden, le *mausim* de Guzerate, du Malabar, etc. » (*Cosmos*, t. I.)

au sud-ouest leur rendit momentanément l'espérance. Moins d'un mois après, Colomb découvrait la première terre du Nouveau Monde.

Avant de dire quelles explications ont été proposées pour les phénomènes des moussons et des alizés¹, entrons dans quelques détails sur ces deux sortes de courants, qui jouent un si grand rôle dans la circulation atmosphérique générale. Parlons d'abord des alizés.

L'observation montre que les alizés occupent, de part et d'autre de l'équateur, une zone qui varie de 28 à 30 degrés en latitude ; mais l'équateur ne divise pas cette zone en deux parties égales : tandis que les alizés du nord-est n'arrivent point en moyenne jusqu'à cette ligne, les alizés du sud-est la débordent au contraire et se font sentir jusqu'à 3° de latitude boréale (au moins dans l'océan Atlantique). Dans l'océan Pacifique, l'alizé du nord-est souffle d'une manière si régulière, que les anciens galions espagnols qui faisaient le voyage des côtes du Mexique aux Philippines franchissaient sans dévier de leur route les 150 degrés de longitude qui séparent Acapulco de Manille. Quant à la direction des alizés de l'hémisphère boréal, elle varie, entre le 30° parallèle et l'équateur, depuis le nord-nord-est jusqu'à l'est-

1. On n'est pas d'accord sur l'origine et l'étymologie du mot *alizé*. « L'avis le plus suivi, dit l'abbé Choisy (voyez Littré), est qu'il faudrait dire, *vents elizez*, comme qui dirait *vents electi*, vents choisis. » L'espagnol *alisios* fait penser à *alisar*, qui signifie lisser, rendre uni ; à l'ancien français *alis*, uni ; par conséquent, *alisios*, *alizés* seraient les vents unis, réguliers. Littré cite à l'appui de cette seconde étymologie des exemples de l'emploi du vieux mot français qui vient d'être rapporté. Les Anglais donnent aux alizés le nom significatif de *vents du commerce* (trade winds).

nord-est, en tournant de plus en plus vers l'est à mesure qu'ils s'approchent de leur limite méridionale.

L'étendue et la limite des alizés varient avec les saisons. Ils s'avancent vers le nord pendant l'été de l'hémisphère boréal, reculant au contraire vers le sud pendant la saison d'hiver, et ce mouvement, qui coïncide avec celui du soleil, affecte les alizés du nord-est aussi bien que ceux du sud-est.

Entre les deux zones d'alizés, et à une faible distance par conséquent de l'équateur, s'étend sur toute l'étendue du Pacifique une zone ou bande de calmes, qu'on nomme *calmes équatoriaux*. Une région semblable existe dans l'Atlantique, mais elle se déplace avec les saisons, tantôt dans le voisinage du continent américain méridional, tantôt plus rapprochée du continent africain et en même temps de l'équateur. Ces régions sont caractérisées ou par des calmes plats, comme l'indique leur nom, ou par des vents variables, des *brises folles*, ainsi que les désignent les marins. Des zones de calmes s'observent pareillement de part et d'autre des alizés, dans chaque hémisphère, se déplaçant avec leurs limites; mais, comme elles sont voisines des tropiques, on les distingue par les noms de *calmes du tropique du Cancer* et de *calmes du tropique du Capricorne*.

Les alizés du nord-est et du sud-est n'ont toute leur régularité, leur constance de force et de direction qu'au large des océans. L'influence des masses continentales est évidente dans le Pacifique, les alizés ne se faisant sentir qu'à une certaine distance des côtes occidentales de l'Amérique. Cette influence est plus sensible encore dans le bassin plus étroit de l'Atlantique.

L'océan Indien est entouré de trois côtés, au nord, à l'ouest et à l'est, de grandes étendues continentales, et ce n'est qu'au sud qu'il est tout à fait libre et soustrait aux influences des variations de température et de pression qui ne peuvent manquer de modifier le régime des vents alizés. En janvier, c'est-à-dire au milieu de l'été de l'hémisphère austral, deux maxima thermiques, coïncidant avec deux dépressions barométriques, occupent l'Australie d'un côté, l'Afrique australe de l'autre. Un centre de pression maxima existe avec un minimum de température au nord de l'Asie. Dans ces conditions, la partie de la mer des Indes située au nord de l'équateur est soumise au régime des alizés du nord-est, qui là prennent le nom de *mousson du nord-est*; mais du côté oriental, dans la mer de la Sonde, ce sont les vents d'ouest qui soufflent, sous le nom de *mousson de l'ouest*, ce qui s'explique par l'influence ou l'appel du minimum australien. Les alizés du sud-est règnent au contraire dans la partie australe de l'océan Indien. Entre les alizés et les moussons existe une région de calmes, à peu près sous l'équateur.

Vers l'équinoxe du printemps, aux moussons régulières succède, dans le nord de l'océan Indien, une période de vents variables, avec calmes plats et ouragans, tandis que les alizés du sud-est continuent à régner, comme pendant toute l'année, dans la partie australe de la même mer. En juillet, les maxima thermiques et les centres de dépression ont monté avec le soleil vers le nord; les vents soufflent du sud-ouest jusqu'en octobre dans toute la partie septentrionale de la mer des Indes : c'est la *mousson du*

sud-ouest. Puis, après une transition que marquent des vents variables, des calmes, des tempêtes, la mousson reprend peu à peu sa direction première du nord-est. Du reste, dans la partie orientale de l'océan Indien, dans les mers qui baignent le grand archipel malaisien et les côtes orientales de l'Asie jusqu'en Chine, les directions des moussons et les époques de leur retour varient notablement : ce qui s'explique par les influences locales, l'influence des terres insulaires ou continentales, où la distribution des pressions et des températures est infiniment variée.

En résumé, le caractère distinctif des moussons comparées aux alizés, c'est que ceux-ci sont des vents réguliers de direction à peu près constante, tandis que les moussons, outre la régularité de leurs périodes, sont soumises à des changements alternatifs, à des renversements de direction. Comme la régularité, la constance des alizés est d'autant plus sensible que les espaces maritimes sur lesquels ils soufflent sont plus vastes et plus libres, il est permis d'en conclure que cette régularité et cette constance seraient générales sur toute la périphérie du globe terrestre, si les mers s'étendaient dans tous les sens. Les continents, les îles, par l'inégalité de leur distribution, les irrégularités de leur forme et de leur position, par l'inégale répartition des températures et des pressions, sont les causes des perturbations que subissent les vents réguliers et que l'observation constate principalement sur les océans resserrés comme l'est la mer des Indes.

C'est en effet en faisant d'abord abstraction des anomalies que présentent les alizés et les moussons,

qu'on est parvenu à donner une explication rationnelle de ces courants. La théorie adoptée jusqu'ici est celle que deux savants du xvii^e et du xviii^e siècle, Halley et Hadley, ont donnée tour à tour.

Voici en quoi consiste cette théorie.

Sous l'action incessante des rayons solaires qui, dans la zone équatoriale, ont une incidence méridienne s'éloignant peu de la verticale, les couches d'air voisines du sol s'échauffent considérablement, moins par l'effet de la radiation directe que par celle de la chaleur que réfléchit le sol lui-même. La raréfaction résultant de cet échauffement détermine un courant ascendant qui porte l'air des régions inférieures aux limites de l'atmosphère, où il se déverse et s'écoule en partie du côté du nord, en partie du côté du sud de l'équateur. Cet effet, maximum dans les régions où le soleil est vertical, diminue d'intensité à mesure qu'on s'en éloigne; il doit avoir pour conséquence deux courants aériens supérieurs, l'un dirigé vers le nord, l'autre à l'opposé, vers le sud. Or nous verrons bientôt comment les observations ont constaté l'existence de ce double courant.

Mais l'air échauffé et raréfié, à mesure qu'il s'écoule ainsi par le haut des zones équatoriales vers les latitudes plus élevées, est remplacé par l'air plus froid et plus dense de ces dernières régions; de là deux courants de directions opposées à celles des courants supérieurs, venant, l'un du nord dans l'hémisphère boréal, l'autre du sud dans l'hémisphère austral, tous deux se produisant dans les couches inférieures de l'atmosphère. Ce sont ces deux vents qui, déviés vers l'ouest par l'effet du mouvement de rotation de la terre, deviennent les alizés

du nord-est au nord de l'équateur, les alizés du sud-est de l'hémisphère austral.

L'existence des contre-alizés est prouvée par l'observation, et ainsi la théorie générale se trouve sur ce point confirmée. En effet, dans les régions où soufflent d'une façon pour ainsi dire permanente les alizés du nord-est ou ceux du sud-est, on voit nettement les cirrus, c'est-à-dire les nuages les plus élevés de l'atmosphère, se mouvoir dans des directions précisément opposées à celles qu'indique le mouvement des couches inférieures de l'air. Les pluies de poussières, les cendres volcaniques entraînées à de grandes distances de leur lieu d'origine ont aussi maintes fois témoigné de l'existence et de la direction des contre-alizés supérieurs. On cite, comme faits de cet ordre, l'éruption de mai 1812, qui porta les cendres du Morne-Garou, volcan de l'île Saint-Vincent, à 200 kilomètres à l'est, au-dessus de l'île des Barbades; celle du volcan Coseguina, en 1835, dont les cendres allèrent couvrir le sol de la Jamaïque à 1300 ou 1400 kilomètres au nord-est de leur point de départ; les poussières rougeâtres qui parfois inondent le littoral occidental de l'Afrique et que l'analyse d'Ehrenberg a montrées n'être autre chose que des particules organiques enlevées par les vents aux boues desséchées des bords de l'Amazone et de l'Orénoque.

Il n'est pas sans importance de remarquer que les régions où règnent les calmes, soit temporairement, soit d'une façon permanente, sont celles où viennent se rencontrer et se neutraliser les courants aériens de directions opposées. Telles sont les zones des calmes du Pacifique dans le voisinage de l'équa-

teur, là où convergent les alizés du nord-est et du sud-est; celles de l'Atlantique, qui se réduisent d'ailleurs à des centres de calmes se déplaçant selon la saison, en longitude comme en latitude. On trouve également des bandes de calmes aux limites septentrionale et méridionale des alizés, à la hauteur où les courants supérieurs, s'abaissant à la surface du sol, sont plus ou moins neutralisés par les courants polaires. Mais les mêmes régions qui se distinguent en temps normal par le calme qui règne dans leur atmosphère, sont en même temps, sinon le siège, du moins le lieu de naissance et d'origine de mouvements aériens tourbillonnants, de bourrasques et d'ouragans, dus précisément au conflit des vents contraires. Ces mouvements tournants, que nous allons décrire bientôt, ne se terminent généralement pas aux points où ils ont pris naissance. Ils traversent les zones des vents réguliers, alizés et moussons, dont ils rompent momentanément l'équilibre, et, décrivant des trajectoires étendues à la surface du globe, passant d'un continent à travers les océans, ils paraissent être la clef de l'explication des changements du temps.

Dans la Méditerranée, la seule mer que connaissaient bien les anciens navigateurs, règnent pendant près de six mois de l'année des vents de la région nord auxquels les Grecs donnèrent le nom, qui leur a été conservé, d'*étésiens* (en grec *ἐτησίαι*, de *ἔτος*, année), à cause de la régularité de leur retour à une même époque de l'année. Les vents étésiens se font sentir dans tout le nord de l'Afrique, sur toute l'étendue de la Méditerranée, jusqu'en Grèce et en Italie. C'est vers l'équinoxe du printemps, quand le

soleil, repassant l'équateur, se rapproche de nos zones, que le vent, qui auparavant soufflait de l'est et du sud-est, passe aux rumb du nord et s'y fixe. Pendant juin et juillet, il oscille entre le nord, le nord-ouest et le nord-est; de la fin de juillet à la fin de septembre, il souffle constamment du nord, avec plus de force le jour que la nuit.

Ce que nous venons de dire se rapporte plus particulièrement à la partie orientale du bassin méditerranéen; mais les vents étésiens sont également dominants dans la partie occidentale, ainsi que le montre la note suivante, que nous empruntons à M. Ch. Martins : « La fréquence actuelle, dit-il, de la navigation entre la France et l'Algérie, a permis de mieux apprécier l'état normal des vents dans la partie occidentale du bassin méditerranéen. Ce sont décidément les vents du nord qui prédominent. Cette fréquence des vents du nord se traduit par plusieurs signes. Ainsi, si l'on compare la demi-moyenne des traversées d'aller et de retour entre Toulon et Alger, on trouve que la traversée de retour est plus longue d'un quart pour un navire à voiles et d'un dixième pour un navire à vapeur. Cet effet ne peut être attribué aux courants, qui sont très faibles. Ensuite, tout le versant nord des îles Majorque ou Minorque, et surtout de cette dernière, est balayé par ce même vent, qui y occasionne un rabougrissement très sensible de la végétation. Ces vents dominant à Alger, à Toulon et à Marseille. C'est en hiver qu'ils atteignent leur plus grande violence, entre la côte de Provence et la côte d'Afrique.

« Par l'intermédiaire de ces vents du nord, la brise marine des côtes d'Afrique, résultat de l'aspiration

thermométrique exercée du nord au sud par les sables brûlants du Sahara, se trouve liée aux vents du nord dominants en Provence et dans tout le bassin du Rhône. Il est donc permis de croire que tous ces vents ont une commune origine. »

En résumé, les vents périodiques, quelque dénomination qu'on leur donne, moussons ou vents étésiens, ont avec les vents réguliers ou de direction constante ce rapport étroit qu'ils sont dus à la même cause : les uns et les autres sont produits par les inégalités de la température dans les zones de latitudes diverses et par les inégalités de pression qui en sont la conséquence. Seulement, dans certaines régions et notamment sur les grandes étendues maritimes, ces inégalités oscillent entre des limites qui ne dépendent que des déplacements du soleil en latitude : de là la constance des alizés du Pacifique ou encore de ceux de l'Atlantique. Dans d'autres régions au contraire, les maxima de température et les centres de basses pressions sont inégalement répartis, suivant les saisons, en raison de la distribution géographique des terres et de leurs propriétés calorifiques : le Sahara et les déserts de Libye en Afrique, la Syrie et l'Arabie dans l'Asie occidentale, les îles de l'Australie et le continent australien sont autant de foyers d'appel pour les masses atmosphériques plus froides qui les avoisinent ; suivant les époques, ces foyers concourent avec les zones équatoriales pour la production des grands courants atmosphériques, que tantôt ils secondent et tantôt ils contrarient au point d'en changer totalement la direction. Les alizés se changent ainsi en moussons, en vents étésiens.

II

Vents singuliers et locaux : le mistral; le fœhn et le sirocco. Vents du désert : le simoun; le tebbad.

En Europe, parmi les vents qui soufflent de la région du nord et qu'on désigne le plus souvent sous la qualification de *vents polaires*, quelques-uns se distinguent par leur violence, bien que généralement le temps soit beau quand ils soufflent. C'est le *mistral* (ou *maestrale*) sur le littoral français de la Méditerranée. C'est un vent du nord-ouest, sec et froid, particulier à la partie méridionale de la vallée du Rhône et à celle de l'Aude, où il prend alors le nom de *cers*. Quand souffle le cers ou le mistral, le ciel est d'une sérénité parfaite; parfois son intensité est telle, qu'il déracine les arbres et renverse les murs. Sa direction se rapproche du nord en remontant la vallée du Rhône. Les caractères physiques du mistral, sa sécheresse, sa violence, s'expliquent également bien, si l'on songe que les courants du nord-est qui viennent souffler sur les côtes de la Méditerranée ont traversé le massif central et se sont déchargés sur les montagnes de l'Auvergne et les Cévennes de toute la vapeur d'eau qu'ils contenaient, et que leur force a dû s'accélérer en descendant par l'appel du sol échauffé de la Provence ou du Languedoc. Aussi est-ce en hiver ou au printemps, quand les Cévennes sont couvertes de neige, que le cers et le mistral sévissent avec le plus de force.

Dans l'est de la France, en Bourgogne et en Franche-Comté, c'est le vent de l'est et du nord-est qui, sous le nom de *bise*, a tous les caractères du mistral, sauf peut-être une moindre violence.

Des vents du nord ayant une origine semblable et des causes pareilles soufflent sur la rive orientale de l'Adriatique, en Istrie et en Dalmatie, et sont connus sous le nom de *bora*. En Espagne, c'est le *gallego*.

Le mistral du midi de la France a pour antagoniste un vent du sud-est qu'on nomme le *marin*, caractérisé par les pluies qu'il amène et qu'explique son passage sur la mer, où les masses d'air ont pu se saturer au contact et accueillir les produits d'une évaporation active.

Le *fœhn* des Alpes, le *sirocco* d'Italie, sont des vents chauds dont les directions opposées coïncident, pour le premier, avec le courant supérieur ou contre-alizé du sud-ouest, pour le second, avec l'alizé du nord-est. Tous deux sont caractérisés par une extrême siccité, la baisse du baromètre et une augmentation notable de la température.

Le *fœhn* (*favonius* des Romains) se fait sentir sur le versant septentrional des Alpes, de Genève à Salzbourg, de la Suisse au Tyrol. « On l'appelle en Suisse, dit M. Grad, le *mangeur des neiges*, et il sert à la fin de l'été à sécher les foins dans les cantons d'Uri et de Saint-Gall. Endémique dans beaucoup de vallées, il apparaît en toutes saisons, mais on le remarque surtout au printemps, parce qu'il enlève à cette époque, en quelques heures, dans la zone des champs cultivés, des masses de neige épaisses de 1 à 2 mètres. Aussi un vieux proverbe

des Alpes dit que, quand la neige profonde recouvre maisons, champs et prairies, « ni le bon Dieu ni le soleil ne peuvent rien, si le fœhn ne vient pas en aide, pour débarrasser la terre de son froid linceul. »

D'après plusieurs météorologistes (Desor, Escher de la Linth, Ch. Martins), l'origine du fœhn se rattache au Sahara et sa température élevée est due à celle des sables brûlants du désert. Dove le fait dériver plus à l'ouest, de l'Atlantique, et il ne serait autre chose que l'une des ramifications du contre-alizé.

Quand le courant aérien se présente sur les flancs du versant méridional des Alpes, il est chaud et humide. Mais, en gravissant l'obstacle qui se présente devant lui, la pression que la masse d'air supporte diminue à mesure qu'elle monte, elle se dilate; et le travail employé à produire cet accroissement de volume s'effectue en consommant de la chaleur. Pour une ascension moyenne de 3000 à 3500 mètres, la diminution de température varie entre 20° et 30°, selon l'état hygrométrique de l'air. Il en résulte une condensation de la vapeur qui se dépose sur les flancs et au sommet de la montagne en pluie et en neige, de sorte que, arrivé sur le versant septentrional des Alpes, le fœhn est privé de vapeur d'eau. En continuant sa route et descendant la pente, la pression augmente, l'air reprend, avec son volume primitif, la chaleur qu'il avait perdue, et le vent est sec et chaud, ainsi que le prouve l'observation.

Cette explication des phénomènes caractéristiques du fœhn est applicable à tous les vents qui fran-



Fig. 61. — Ouragan de sable.

chissent de hautes montagnes pour descendre dans les plaines du versant opposé. Il en est ainsi du *sirocco* du versant italien des Alpes, qui a pour origine les bourrasques du nord-est et se fait sentir comme vent sec et chaud dans les plaines de la Lombardie. En Algérie, le même nom désigne les vents du sud issus du désert et qui ont franchi l'Atlas. Des vents ayant des propriétés toutes semblables se font sentir près du littoral de l'Adriatique à Raguse, sur les flancs de l'Elbrouz au sud de la mer Caspienne, sur toute la côte occidentale du Groënland, où les courants de sud-est, après avoir franchi des altitudes de 2000 mètres à l'intérieur, arrivent sur les terres basses des côtes ouest et nord-ouest, en déterminant des élévations de température d'au moins 25°.

Quand les vents traversent de grands espaces arides, des déserts sablonneux exposés aux rayons verticaux du soleil, l'air desséché et brûlant soulève par sa violence des nuages d'une poussière fine qui pénètre partout et dont les animaux et les hommes ont peine à se défendre. Plus d'une caravane, surprise par ces ouragans de sable, a péri victime des accidents qui résultent d'une chaleur et d'une sécheresse excessives, et de la suffocation causée par l'introduction de la poussière dans les organes de la respiration. Ces *vents du désert*, ces vents *empoisonnés*, comme les nomment les Arabes, soufflent en Syrie, en Arabie, en Égypte, dans le Sahara, dans les déserts de l'Asie centrale. En Arabie, c'est le *simoun*, *samoum* ou *semoum* (de *samma*, chaud et vénéneux). Les Turcs le nommaient aussi *chamyélé* ou vent de Syrie, dont on a fait *samiel*. En Égypte,

c'est le *kamsin* (vent de cinquante jours), parce qu'il apparaît surtout dans les 50 jours qui avoisinent l'équinoxe. A l'ouest du Sahara, en Guinée, c'est l'*pharmattan*; enfin, dans les déserts de l'Asie centrale, le mot persan *tebbad* (vent de fièvre) est la dénomination sous laquelle sont connus ces vents dangereux :

Voici, d'après Volney, la description du *kamsin* et de ses effets.

« Quand ces vents commencent à souffler, dit-il, l'air prend un aspect inquiétant. Le ciel, toujours si pur en ces climats, devient trouble; le soleil perd son éclat et n'offre plus qu'un disque violacé. L'air n'est pas nébuleux, mais gris et poudreux, et réellement il est plein d'une poussière très déliée qui ne se dépose pas et qui pénètre partout. Le vent, toujours léger et rapide, n'est pas d'abord très chaud; mais à mesure qu'il prend de la durée, il croit en intensité. Les corps animés le reconnaissent promptement au changement qu'ils éprouvent. Le poumon qu'un air trop raréfié ne remplit plus se contracte et se tourmente. La respiration devient courte, laborieuse; la peau est sèche et l'on est dévoré d'une chaleur interne. On a beau se gorger d'eau, rien ne rétablit la transpiration. On cherche en vain la fraîcheur; les corps qui avaient coutume de la donner trompent la main qui les touche. Le marbre, le fer, l'eau, quoique le soleil soit voilé, sont chauds. Alors on déserte les rues, et le silence règne comme pendant la nuit. Les habitants des villes et des villages s'enferment dans leurs maisons, et ceux du désert dans leurs tentes ou dans les puits creusés en terre, où ils attendent la fin de ce genre de tem-

pète. Communément elle dure trois jours : si elle passe, elle devient insupportable. Malheur aux voyageurs qu'un tel vent surprend en route loin de tout asile ! ils en subissent tout l'effet, qui est quelquefois porté jusqu'à la mort. Le danger est surtout au moment des rafales ; alors la vitesse accroit la chaleur au point de tuer subitement avec des circonstances singulières : car tantôt un homme tombe frappé entre deux autres qui restent sains ; et tantôt il suffit de se porter un mouchoir aux narines, ou d'enfoncer le nez dans un trou de sable, comme font les chameaux, ou de fuir au galop, comme font les Arabes ¹... »

Les caractères du simoun dans le Sahara et dans les Néfoud, du tebbad dans les déserts de l'Asie centrale, sont, à peu de chose près, les mêmes que ceux du kamsin décrits par Volney. C'est toujours cette chaleur brûlante, qui n'a de comparable que celle de l'air embrasé sortant de la bouche d'un four, cette poussière sablonneuse qui se tamise à travers les objets les plus hermétiquement clos, cette atmosphère terne qui ne laisse passer que les rayons blafards d'un soleil obscurci. « Dans le Souf, dit M. Ch. Martins dans sa description physique du Sahara, ces vents ensevelissent les caravanes sous des masses de sable énormes : c'est ainsi que périt l'armée de Cambyse, et les nombreux squelettes de chameaux que nous rencontrâmes témoignent que ces accidents se renouvellent encore quelquefois ². » Il arrive cependant que le simoun sévit sans que sa

1. *État physique de l'Égypte.*

2. *Du Spitzberg au Sahara.*



Fig. 62. — Le tebbad dans les déserts de sable de l'Asie centrale.

violence soulève le sable du désert, et toutefois alors le ciel reste obscurci. Palgrave, dans son voyage en Arabie centrale, a observé ce phénomène : « L'horizon s'obscurcissait rapidement et prenait une teinte violette ; un vent de feu, pareil à celui qui sortirait de la bouche d'un four gigantesque, soufflait au milieu des ténèbres croissantes... Chose singulière ! pendant toute la durée de l'ouragan (qui fut très courte, il est vrai, et d'une demi-heure à peine selon le récit du voyageur), aucun tourbillon de poussière ou de sable ne s'était élevé, aucun nuage ne voilait le ciel, et je ne sais comment expliquer les ténèbres qui tout à coup avaient envahi l'atmosphère. » Peut-être un nuage de sable, soulevé d'un point plus éloigné, était-il interposé à une certaine hauteur entre le soleil et le lieu où Palgrave éprouva cette atteinte d'ailleurs tout à fait passagère du fléau. Arminius Vambéry, traversant le désert situé entre Tünüklü et Bokhara, dans l'Asie centrale, insiste surtout sur la sensation pénible que cause le sable. « Nos pauvres chameaux, dit-il, avaient déjà reconnu l'approche du *tebbad* ; après une clameur désespérée, ils tombèrent à genoux, allongeant leur cou sur le sol et s'efforçant de cacher leur tête dans le sable. Derrière eux, comme à l'abri d'un retranchement, nous venions de nous agenouiller, quand le vent passa sur nous avec un frémissement sourd et nous enveloppa d'une croûte de sable épaisse d'environ deux doigts. Les premiers grains dont je sentis le contact produisirent sur moi l'effet d'une véritable pluie de feu. »

On a cru longtemps, sur la foi des récits orientaux et de l'étymologie, que le simoun avait des propriétés

toxiques spéciales. Il reste établi que les vents du désert sont dangereux; mais c'est à l'évaporation excessive, à la soif intense qui en est la suite, c'est à l'action suffocante d'un air chargé de particules sablonneuses d'une extrême finesse qu'il faut attribuer sans doute les effets funestes de ces vents sur les voyageurs assaillis par ces tourmentes, préalablement énervés et affaiblis d'ailleurs par une température torride.

CHAPITRE VIII

LES TEMPÊTES

I

Mouvements de translation et de rotation des tempêtes. Les cyclones.

Les marins désignent sous le nom de *grain* (*squall of wind* en anglais) tout changement brusque survenant dans la direction ou dans la force du vent; ce changement est d'ordinaire accompagné d'une recrudescence dans les nuées, qui couvrent le ciel et deviennent plus épaisses. Si les grains se succèdent à de courts intervalles, en augmentant d'intensité et de durée, ce sont des *bourrasques*, des *coups de vent*; puis, dans l'ordre de gradation ou de croissance de la perturbation atmosphérique, la bourrasque devient *tempête*, *tourmente*, *ouragan*. Les mêmes termes sont usités à terre, sans d'ailleurs qu'on attache une signification bien nette et précise à chacun d'eux. Cependant, comme on l'a vu plus haut, les échelles terrestre et marine de la force du vent s'accordent à considérer les tempêtes et les

ouragans comme les termes extrêmes de la violence de la perturbation atmosphérique.

Jadis on regardait les orages, même les plus dévastateurs, comme des phénomènes locaux qui naissaient et s'éteignaient sur place pour ainsi dire, ou qui du moins embrassaient une étendue assez limitée de la surface terrestre. La difficulté ou la rareté des communications d'une part, de l'autre le manque d'observations simultanées, ne permettaient point de suivre les phases d'une tempête et d'établir, comme on peut le faire aujourd'hui, les étapes de la route qu'elle parcourt sur les continents ou sur les mers. On avait bien constaté, à la fin du dernier siècle, la marche progressive de quelques grands orages, par exemple celle du terrible ouragan de grêle qui ravagea, le 13 juillet 1788, une bande du territoire traversant toute la France du sud au nord et allant jusqu'en Hollande ¹. Dans une note insérée

1. On avait pressenti plutôt que reconnu le mouvement de transport des météores orageux. Sur les instigations de Borda, des observations simultanées du baromètre en divers points de la France furent organisées par les soins de quelques savants, parmi lesquels Laplace et Lavoisier. Ce dernier manifestait, dans une note publiée en 1790, l'espoir que la comparaison des observations permettrait « de prévoir un ou deux jours à l'avance, avec une assez grande probabilité, le temps qu'il doit faire; on pense même, ajoute-t-il, qu'il ne serait pas impossible de publier tous les matins un journal de prédictions qui serait d'une grande utilité pour la société ». Déjà Borda avait reconnu, en rapprochant des observations multipliées pendant une seule quinzaine, que les variations du baromètre en des lieux éloignés ne sont pas simultanées, mais successives, et que l'ordre de ces variations dépend de la direction du vent. « Il y a une correspondance telle entre la force, la direction des vents et les variations du baromètre faites dans un grand nombre de lieux éloignés les uns des autres, qu'étant donnés deux de ces trois éléments, on pour-

dans les *Annales de physique et de chimie* en 1818, Arago cite quelques faits de tempêtes qui se sont propagées en sens inverse de celui d'où soufflait le vent, mais sans insister sur le fait même de la translation. Les observations de plus en plus nombreuses des ouragans de la mer des Indes, de ceux de la mer des Antilles, ne devaient pas tarder à mettre hors de doute le mouvement de translation de ces météores à la surface de l'Océan, et l'on put les suivre également dans leur parcours à travers les continents, quand l'application du télégraphe électrique aux études météorologiques eut multiplié les observations et rendu prompt et facile leur comparaison. Cette application, aujourd'hui si appréciée, avait été tentée dès la fin du dernier siècle avec les signaux du télégraphe aérien; mais c'est en 1850 que, sur la proposition de Redfield, furent faits les premiers essais vraiment pratiques aux États-Unis. « On voit, dit M. Radau en signalant ce dernier fait, que l'idée de cette nouvelle application du télégraphe était dans l'air; mais il fallut un gros événement pour qu'elle devint une réalité. Cet événement, ce fut l'ouragan qui, le 14 novembre 1854, assaillit les flottes alliées dans la mer Noire et causa la perte du vaisseau *le Henri IV*. On constata que le même jour, ou à un jour d'intervalle, des coups de vent avaient éclaté dans l'ouest de l'Europe, sur l'Autriche, sur l'Algérie, et il parut évident que la tempête s'était propagée de

rait souvent conclure l'autre. » Dans son *Cours de Météorologie*, Kaemtz discute à ce point de vue les variations du baromètre à la surface du globe pendant un certain nombre de tempêtes célèbres, et le fait de leur propagation successive ressort clairement de sa discussion.

proche en proche sur une vaste étendue ¹. » Le Verrier, s'étant alors adressé aux météorologistes de tous les pays pour avoir des renseignements sur l'état de l'atmosphère pendant les journées du 12 au 16 novembre, réunit plus de 250 documents qui prouvèrent « que la tempête avait traversé l'Europe du nord-ouest au sud-est, et que, s'il y avait eu un télégraphe entre Vienne et la Crimée, nos flottes auraient pu être averties à temps de l'arrivée de l'ouragan ».

Le mouvement de translation des tempêtes, bien connu des marins qui fréquentaient l'océan Indien et la mer des Antilles, où elles sont si fréquentes, fut donc étendu à toutes les perturbations d'une moindre violence, qui perdirent ainsi peu à peu le caractère local qu'on leur croyait autrefois.

Un autre caractère commun aux grandes perturbations atmosphériques, c'est le mouvement de rotation des masses d'air qu'elles transportent. Elles ont, en réalité, en tous les points de leur parcours, la forme d'un tourbillon. Tout autour d'une région centrale, où l'air se trouve dans un calme relatif, le vent souffle dans des directions qui font tout le tour du compas, de sorte qu'aux extrémités d'un même diamètre il affecte des directions complètement opposées. Quant à sa violence, elle va en croissant de la circonférence jusqu'aux bords du calme central. Ce mouvement de rotation est circulaire, suivant les uns, de sorte que les différentes couches d'air en mouvement formeraient sensiblement des cercles concentriques. Pour d'autres météorologistes, la véritable forme de la section horizontale du météore

1. *La météorologie nouvelle et la prévision du temps.*

est celle d'une spirale, les couches d'air ayant une tendance croissante à se rapprocher du centre. Quoi qu'il en soit, ce qui est incontestable, ce qui a été mis en pleine évidence par les observations d'un grand nombre de navigateurs et de savants, c'est le mouvement giratoire des tempêtes, qui leur a fait donner à toutes le nom de *cyclones*, d'abord réservé aux ouragans de l'océan Indien.

II

Les cyclones dans les régions tropicales.

Christophe Colomb, dans ses divers voyages au Nouveau Monde qu'il venait de découvrir, naviguant dans une mer souvent visitée par les cyclones, en essuya plusieurs, qu'il dépeint en termes d'une saisissante expression. « Jamais, dit-il, en relatant la tempête qui l'assailit aux Antilles en 1502, je n'ai vu la mer aussi haute, aussi horrible, aussi couverte d'écume. Le vent s'opposait à ce qu'on allât en avant; il ne permettait même pas de gagner quelque cap. Il me retenait dans cette mer, qui semblait être du sang et paraissait bouillonner comme une chaudière sur un grand feu. Jamais on n'avait vu le ciel avec un aspect si effrayant; il brûla un jour et une nuit comme une fournaise, et il lançait des rayons tellement enflammés, qu'à chaque instant je regardais si mes mâts n'étaient pas emportés. Ces foudres tombaient avec une si épouvantable furie que nous croyions tous qu'ils allaient englober les vaisseaux. Pendant tout ce temps, l'eau du ciel ne cessa pas de



Fig. 63. — Cyclone du 10 octobre 1780 aux Antilles.

tomber : on ne peut appeler cela pleuvoir, c'était comme un autre déluge. Les équipages étaient tellement harassés, qu'ils souhaitaient la mort pour être délivrés de tant de maux. Les navires avaient déjà perdu deux fois leurs chaloupes, leurs ancres, leurs cordages, et ils étaient ouverts et sans voiles. »

Le récit suivant, emprunté à Reid, qui le tient d'un témoin oculaire, suffira pour donner au lecteur une idée de la violence des ouragans sous les tropiques. Il est relatif au cyclone qui passa sur l'île des Barbades, le 10 août 1831.

« A sept heures du soir, le ciel était clair et le temps calme; cette tranquillité dura jusqu'à neuf heures et quelques minutes, moment où de nouveau le vent souffla du nord; vers dix heures et demie, on aperçut de temps en temps des éclairs dans la direction du nord-nord-est et du nord-ouest. Des rafales de vent et de pluie du nord-nord-est se succédèrent jusqu'à minuit. Le thermomètre descendit jusqu'à 28°, montant jusqu'à 30° pendant les moments de calme. Après minuit, les éclairs et les coups de tonnerre se succédèrent avec une grandeur effrayante; l'ouragan soufflait avec rage du nord et du nord-est; mais sa fureur augmenta à une heure du matin, le 11 août; la tempête, qui jusqu'à ce moment avait soufflé du nord-est, sauta brusquement au nord-ouest et aux rumbes intermédiaires. A partir de cet instant, des éclairs incessants sillonnèrent les nuages; mais les zigzags des décharges électriques étaient encore plus vifs que les lueurs de l'éclair, et la foudre éclatait dans toutes les directions. Un peu après deux heures du matin, le fracas assourdissant de l'ouragan soufflant du nord-nord-ouest au nord-ouest devint

impossible à décrire. Le lieutenant-colonel Nickle, commandant le 36^e régiment, qui s'était mis à l'abri sous l'embrasure extérieure d'une fenêtre du rez-de-chaussée de sa maison, n'entendit tomber ni le toit ni l'étage supérieur qui s'écroulaient, et il n'en fut averti que par la poussière provenant de la chute des décombres.

« Peu après, les éclairs cessèrent en même temps que le vent, et la ville demeura plongée dans une obscurité effrayante. On vit tomber du ciel plusieurs météores enflammés; l'un d'eux, de forme sphérique et de couleur rouge sombre, parut descendre verticalement d'une grande hauteur. Sa chute était évidemment due à son propre poids, non à l'action d'une force extérieure. En s'approchant de la terre avec une vitesse croissante, il devint d'une blancheur éblouissante, sa forme s'allongea, et, en touchant le sol de la place Beckwith, il se divisa en mille fragments comme une masse de métal en fusion, puis s'éteignit soudainement. Par sa forme et sa grosseur il rappelait les globes de lampe; par son éclat et la division de ses débris, il faisait penser à une boule de mercure de même dimension. Quelques minutes après l'apparition de ce météore, le bruit assourdissant du vent se changea en un murmure solennel, ou mieux en un rugissement éloigné; les éclairs, qui, à part de rares et courts intervalles, n'avaient cessé de sillonner le ciel, se montrèrent avec une vivacité et un éclat extraordinaires, couvrant pendant une demi-heure tout l'espace compris entre la terre et les nuées. L'immense masse des vapeurs semblait toucher les toits des maisons et lancer vers la terre des flammes que celle-ci lui renvoyait aussitôt.

« Immédiatement après cette singulière pluie d'éclairs, l'ouragan souffla de nouveau de l'ouest avec une prodigieuse violence, défiant toute description, chassant devant lui des milliers de débris arrachés sur la route. Les maisons les plus solides étaient ébranlées jusque dans leurs fondements, et le sol trembla sur le passage du fléau destructeur. Pendant toute la durée de l'ouragan, on ne put un seul instant distinguer nettement le bruit du tonnerre. Le rugissement et les sifflements du vent, le bruit de l'Océan, dont les vagues effroyables menaçaient d'engloutir tout ce que l'ouragan laissait debout, le choc des toits et des murs et mille autres bruits confus formaient un fracas horrible, épouvantable. Ceux qui n'ont pas assisté à de pareilles scènes d'horreur ne peuvent se faire une idée de l'effroi et du découragement qui saisissent l'homme en présence d'une telle rage de destruction.

« Après cinq heures du matin, la tempête mollit quelques instants; on put alors entendre le bruit causé par la chute des tuiles et des débris de constructions que les dernières rafales avaient probablement soulevés à une grande hauteur. A six heures, le vent était au sud, à sept heures au sud-est, à huit heures à l'est-sud-est, et à neuf heures le ciel était redevenu serein.

« Dès que la clarté du jour permit de distinguer les objets, l'auteur de ce récit se rendit non sans peine sur le quai. La pluie tombait alors avec une telle violence qu'elle blessait le visage, et elle était si épaisse qu'on pouvait à peine distinguer les objets au delà du môle. La scène qui s'offrit à lui était d'une majesté indescriptible; les vagues gigantesques

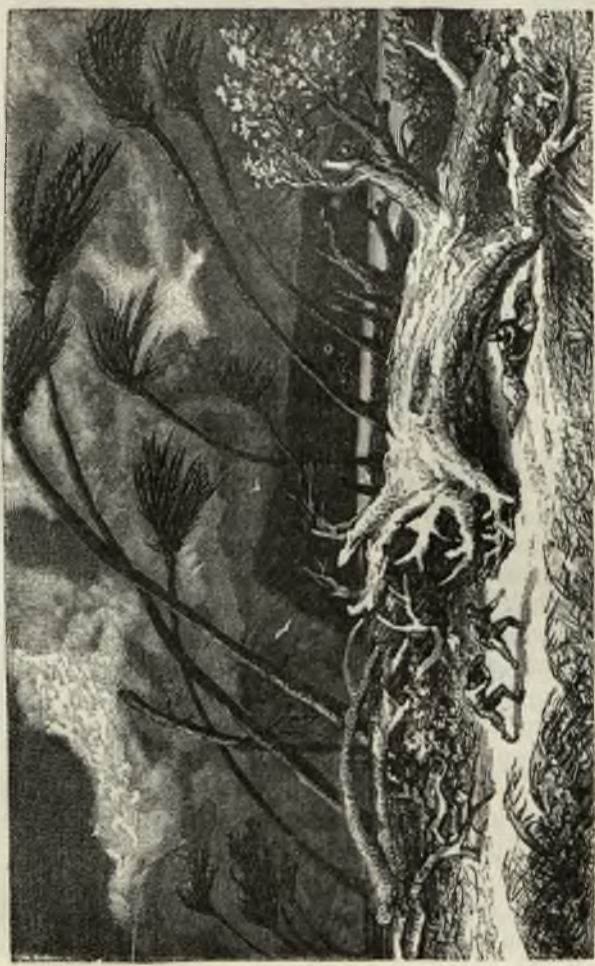


Fig. 64. — Cyclone des Antilles.

qui roulaient sur la plage semblaient devoir tout submerger ; mais, en se brisant sur le carénage, elles disparaissaient sous les débris de toute nature : bois de charpente, planches, galets, douves et barriques, bottes de foin et marchandises de toute sorte. Seuls deux navires étaient restés à flot en dedans de la jetée ; tous les autres étaient chavirés ou échoués sur les petits fonds.

« Du haut de la tour de la cathédrale, la vue, de quelque côté qu'elle se tournât, n'apercevait qu'une vaste plaine de ruines ; aucune trace de végétation, si ce n'est quelques champs d'herbe flétrie. Toute la surface de la terre semblait avoir été parcourue par une trombe de feu. Les quelques arbres restés debout, dépouillés de leurs branches et de leur feuillage, avaient le même aspect qu'en hiver, et les nombreuses villas des environs de Bridgetown, privées de leur luxuriant rideau de végétation, étaient en ruines. La direction suivant laquelle étaient tombés les cocotiers indiquait qu'un certain nombre avaient été déracinés par le nord-nord-est, mais que la majeure partie avaient été arrachés par les rafales du nord-ouest. »

Le cyclone du 10 août 1831, après avoir passé sur l'île des Barbades, son centre un peu au nord de cette île, poursuivit sa route avec une rapidité croissante ; du 12 au 13 il traversait Haïti, du 13 au 14 Cuba, et du 16 au 17 il était à l'embouchure du Mississippi. A partir de ce point, on cessa de suivre son mouvement.

Les ouragans de la mer des Antilles, les cyclones de l'océan Indien austral, ceux du golfe du Bengale, les typhons des mers de l'extrême Orient, diffèrent



Fig. 65. — Typhon à Hong-Kong.

les uns des autres par les positions et les directions de leurs trajectoires et le sens de leurs mouvements de rotation. Ils se ressemblent singulièrement par leurs effets destructeurs. C'est ce que Dampier constatait déjà dès la fin du xvii^e siècle, lorsqu'il disait dans son *Traité sur les vents, les marées et les courants* : « Pour ma part, je crois qu'entre un ouragan de l'océan Atlantique et un typhon des mers de Chine et de l'océan Indien il n'y a de différence que les noms. » Nous passerons donc rapidement sur la description des cyclones célèbres. Nous citerons encore celui des 10 et 11 octobre 1846, qui ravagea les Antilles et notamment le port et la ville de la Havane, détruisant un nombre considérable de navires, de maisons, et faisant d'innombrables victimes. D'après le contre-amiral Laplace, le baromètre, au plus fort de l'ouragan, descendit à 687 millimètres. En 1867, Saint-Thomas fut visité par un effroyable cyclone ; sur 80 navires en rade, 76 sombrèrent ou furent jetés à la côte ; 450 marins périrent. En 1871, la même île fut affreusement dévastée par un ouragan qui détruisit toute la partie orientale de la ville.

Il semble que certaines années soient plus que d'autres fécondes en tempêtes. Ainsi, en cette même année 1871, un typhon sévissait sur la partie méridionale du Japon, le 5 juillet ; un autre, à la date du 9 août, atteignait le nord de Formose, causant la perte de plusieurs navires ; le 24 août, trois jours après le cyclone de Saint-Thomas qu'on vient de mentionner, un violent typhon ravageait Yokohama et la baie de Yeddo. Enfin, le 10 octobre, un transport français, *l'Amazone*, quittant la Martinique

pour retourner en France, fut assailli par un ouragan qui mit le navire à deux doigts de sa perte; surpris par le cyclone sur un point où la direction du vent se confondait avec celle des alizés, le commandant de *l'Amazone* reconnut trop tard la nature de la tempête et traversa le météore par le centre.

Pendant longtemps les cyclones ont été considérés comme des météores des régions tropicales; les tempêtes des latitudes plus élevées étaient des coups de vent, des orages locaux, et le caractère spécial de giration propre aux ouragans, typhons et cyclones de la zone torride ne leur était pas reconnu. Aujourd'hui il est prouvé que les ouragans qui dévastent les pays de hautes latitudes sont souvent des cyclones qui ont pris naissance dans le voisinage de l'équateur et que leur mouvement de translation a amenés progressivement jusqu'à la zone tempérée ou même au voisinage de la zone polaire. Depuis que les avertissements météorologiques ont pu, grâce aux câbles sous-marins, transmettre l'annonce de l'arrivée d'un cyclone d'un continent à l'autre, l'identité de certaines bourrasques européennes, par exemple, avec des cyclones partis du golfe du Mexique ou ayant traversé tout ou partie du territoire des États-Unis, a pu être mise hors de doute par des observations positives.

Ce qui pouvait rendre incertain autrefois le caractère giratoire des tourmentes des hautes latitudes, c'est qu'il n'est pas aisé, quand un cyclone dépasse les régions tropicales, de constater le fait que le vent souffle, en ses diverses parties, de toutes les directions du compas. On n'observe plus alors que la moitié du tourbillon qui est tournée vers l'équa-

teur, et l'aire de cette partie diminue d'autant plus que la trajectoire s'avance plus loin vers le pôle. C'est là un fait qui a été mis en évidence par un officier de la marine hollandaise, M. Andrau, d'après une étude approfondie des tempêtes de l'Atlantique nord. D'après ses recherches, les tempêtes des latitudes élevées proviennent de cyclones dont une partie seulement se fait sentir, et il rend compte ainsi de la rareté des coups de vent d'est dans ces régions et de la fréquence des bourrasques qui, commençant par le sud-ouest, finissent par le nord-ouest.

Les cyclones, en passant des régions tropicales aux latitudes élevées, perdent de leur violence à mesure que s'agrandit l'aire de la surface terrestre qu'ils recouvrent. Néanmoins il arrive parfois que l'ouragan a conservé une force dont les effets destructeurs sont encore terribles. Les sinistres causés par les tempêtes du 14 novembre 1854 dans la mer Noire, des 2 et 3 décembre 1863 sur les côtes occidentales de l'Europe, sont des témoignages de cette intensité des cyclones qui abordent nos climats. Le 11 janvier 1866, un ouragan, se dirigeant de l'ouest vers l'est, passa sur Cherbourg. Le vent, qui, la veille, soufflait de la région du sud à l'est, passa au nord et acquit une violence dont le passage suivant du rapport de l'amiral La Roncière Le Noury donnera une idée : « La digue, qui, depuis qu'elle est achevée, n'avait pas encore passé par une telle épreuve, n'a subi aucune avarie sensible. L'œuvre de M. Reibell est définitivement jugée et constitue un des plus beaux et des plus solides travaux des temps modernes. Des pierres du poids de 2000 à



Fig. 66. — Ouragan du 11 janvier 1865 à Cherbourg.

3000 kilogr., qui forment l'extérieur de l'enrochement sur lequel elle repose, ont été projetées, par des lames, de l'extérieur de la digue par-dessus le parapet; quelques-unes sont restées sur le parapet même; elles ont, par conséquent, été soulevées à une hauteur verticale de 8 mètres environ. On ne peut se faire une idée de la puissance qu'avaient acquise les lames sous la pression du vent. En frappant la digue, elles s'élevaient à une hauteur égale à trois fois la hauteur du fort central, qui a 20 mètres de haut; puis, entraînées presque horizontalement par le vent, elles venaient tomber en poussière à une grande distance en dedans et couvraient les bâtiments qui étaient venus se mettre à l'abri sous la digue. »

III

Les cyclones : symptômes précurseurs. — La pression à l'intérieur d'un cyclone. — Calme central et rotation des vents.

Le plus souvent on est averti plusieurs jours à l'avance de l'approche d'un ouragan. Trois sortes de signes précurseurs annoncent son arrivée prochaine : l'aspect du ciel, l'état de la mer, les mouvements du thermomètre et surtout du baromètre. Pendant le jour, l'apparition de bandes de cirrus, de ces nuages déliés auxquels les marins donnent le nom de *queues* ou de *barbes de chat*; au lever ou au coucher du soleil, des colorations très vives, rouge orangé ou lie de vin; puis, peu avant que l'ouragan

se déclare, l'horizon chargé de véritables banquises de nuages sombres, dont les bords supérieurs reflètent une teinte cuivrée. La nuit, la scintillation des étoiles est plus vive que d'ordinaire. Parfois des éclairs sillonnent le ciel presque sans interruption, avec cette apparence toute particulière qui les fait ressembler aux lueurs des coups de canon. Les marins sont encore avertis de l'existence au large ou de l'approche d'un cyclone par cet état de la mer où les lames n'ont pas de direction déterminée et qu'ils nomment communément *mer tourmentée*. « Les lames, dit M. Roux dans son *Guide des ouragans*, semblent venir de trois ou quatre côtés différents; mais par intervalles on en distingue une, qui est particulièrement dure, déferlante, presque cylindrique, et beaucoup plus volumineuse que les autres. La soudaineté avec laquelle ces lames apparaissent, et la dureté avec laquelle elles frappent l'avant, la hanche ou le travers du navire, par un temps sombre et de faibles brises, sont autant d'indices qui doivent engager le capitaine à se tenir sur ses gardes, car ils dénotent le voisinage d'un cyclone. Il se produit enfin, à l'approche d'un cyclone, un bruit tout particulier, qui a lieu par le beau temps, et que les Anglais désignent sous le nom de *l'appel de la mer*. Ce bruit ressemble, par moments, au mugissement qu'on entend dans les vieilles maisons, en Europe, par des nuits d'hiver. »

Selon les parages, d'ailleurs, ces symptômes précurseurs, tirés de l'aspect du ciel ou de la mer, prennent des caractères tout particuliers.

Dans le golfe du Bengale et la mer Arabique, une atmosphère lourde et chargée d'électricité, le ther-

momètre et le baromètre tous deux au-dessus de leur moyenne normale, hausse bientôt suivie d'une baisse plus ou moins lente, suivant la rapidité du mouvement de translation du cyclone, sont autant de symptômes précurseurs qui précèdent son arrivée de 3 ou 4 jours. La veille, le soleil se couche dans un ciel d'un rouge sang qui bientôt empourpre tout l'espace. Puis se montre à l'horizon le large bandeau noir, qui monte rapidement et couvre le ciel. La baisse subite de 1 ou 2 millimètres de la colonne barométrique annonce l'entrée en scène du météore. Dans la partie australe de l'océan Indien, dont les cyclones ont été étudiés avec tant de soin par M. Bridet, ce savant signale comme invariable l'arrivée des cirrus qui se transforment en cirro-cumulus (ciel pommelé), que suivent, 24 ou 36 heures avant les premières rafales, d'épaisses couches de cumulus. Souvent la mer grossit 2 ou 3 jours avant l'arrivée du cyclone, et de longues houles font pressentir la direction d'où viendra le météore.

Mais de tous les symptômes qui peuvent faire présager la venue d'un ouragan, celui qui donne le plus de certitude, c'est l'observation des oscillations barométriques. La marche de la colonne de mercure qui mesure la pression de l'atmosphère avant l'arrivée du météore comme pendant toute la durée de son passage, est, avec les variations correspondantes de l'intensité et de la direction du vent, le signe le moins équivoque, le caractère le mieux défini de la nature de la perturbation.

Il résulte de l'étude comparée d'un grand nombre de cyclones que la baisse du baromètre peut se manifester 3 jours pleins avant l'arrivée de l'ouragan ;

cette baisse est faible encore, à la vérité : de 0^{mm},8 à 1 millimètre. Le météore peut en ce moment se trouver encore à une distance de plus de 1000 kilomètres. 48 heures avant son arrivée, la baisse s'accroît (1^{mm},5); la veille, elle se précipite et peut

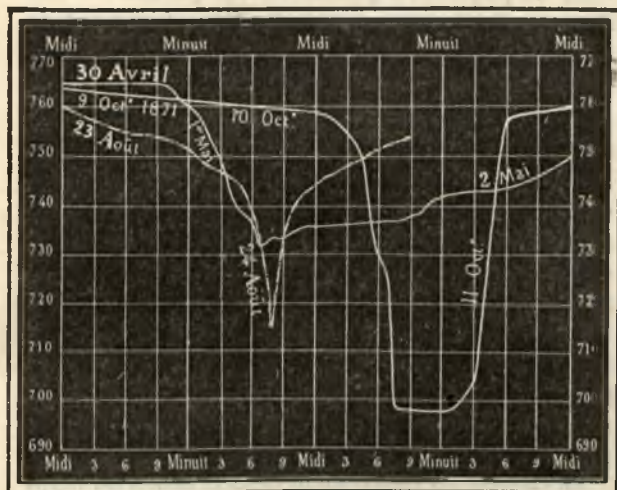


Fig. 67. — Marche du baromètre à l'intérieur des cyclones.

atteindre jusqu'à 5 millimètres. D'où il suit que, si la hauteur barométrique est d'abord de 760 millimètres, elle ne sera plus que de 759 millimètres 72 heures avant les premières rafales; 48 heures avant, le baromètre marquera 758 à 757,5; dans les 24 heures qui précéderont l'ouragan, 755,5 à 753; enfin au moment des violentes rafales il sera à 751 ou 750. M. Roux, en donnant ces nombres, fait observer qu'ils ne s'appliquent qu'au cas où le

cyclone s'avance directement vers l'observateur. En outre, ils supposent que ce dernier reste en place. S'il est sur un navire en marche, la baisse peut être plus rapide ou plus haute, selon que le navire va à la rencontre du météore ou au contraire s'en éloigne. Pour un paquebot à grande vitesse qui marche sur l'ouragan et en sens contraire du mouvement de translation de celui-ci, la succession des mouvements du baromètre se fera en un temps trois fois moindre; les premiers symptômes précurseurs seront perçus tout au plus 24 heures à l'avance d'après M. Bridet, qui, nous venons de le dire, a surtout étudié les cyclones de l'océan Indien austral : un navire qui se trouve sur la trajectoire de l'ouragan doit s'estimer à 24 heures de distance du centre si la baisse barométrique est de 0^{mm},3 par heure; à 18 heures de distance, si elle atteint 0^{mm},6; à 12 heures, pour 1 millimètre; à 9 heures, pour 1^{mm},5; à 6 heures, pour 2 millimètres; à 3 heures, si la baisse est de 3 millim. Dans le voisinage du centre, elle peut atteindre 4 et 5 millim, et même davantage.

La rapidité du mouvement de dépression du baromètre à l'intérieur d'un cyclone, depuis son bord externe jusqu'au centre, la rapidité non moindre avec laquelle il remonte quand, du calme central, le navire s'éloigne par l'extrémité opposée du diamètre du météore, sont visibles dans les diagrammes de la figure 67. L'une des courbes est relative au cyclone que la frégate *la Junon* essuya les 1^{er} et 2 mai 1868, dans sa traversée de la Réunion à Singapore; la seconde se rapporte à un typhon qui sévit à Yokohama le 24 août 1871; la troisième donne les variations du baromètre pendant que *l'Amazone* traver-

sait, dans l'Atlantique nord, le terrible cyclone où ce navire faillit périr, les 9, 10 et 11 octobre de cette même année de 1871.

L'intensité et la direction du vent sont en rapport avec ces variations de pression. Plus on s'approche du centre, plus la force du vent s'accroît; les parties intérieures du tourbillon sont donc celles où l'ouragan se déchaîne avec la plus grande violence; toutefois il y a une limite intérieure à cet accroissement, chaque cyclone présentant cette particularité d'un espace central où règne le calme, où subitement la vitesse du vent s'annule. C'est en ce point, caractérisé par le minimum de pression barométrique, que s'observe fréquemment une déchirure des nuées, une éclaircie qui laisse voir le bleu du ciel, le soleil ou les étoiles, et que les marins nomment l'*œil de la tempête*. Quant à sa direction, nous avons déjà dit qu'elle varie tout autour du centre. En marquant par des flèches la direction suivant laquelle souffle le vent autour du centre d'un cyclone, à des distances différentes de ce centre, on reconnaît que les masses d'air qu'il entraîne se meuvent, soit circulairement, comme le pensent la plupart des météorologistes et des marins qui les ont observées, soit selon des trajectoires spirales convergeant vers le centre, comme le soutiennent d'autres savants, parmi lesquels nous citerons Mohn, Meldrum. Pour connaître le sens de la direction du vent par rapport au centre de l'ouragan, on peut formuler la règle suivante, connue sous le nom de *loi de Buys-Ballot*, du nom du savant météorologiste qui l'a énoncée; elle s'applique d'ailleurs aux centres de dépression ordinaires, comme aux cyclones :

Lorsqu'on tourne le dos au vent dans l'hémisphère nord de la Terre, on obtient la direction du centre en étendant le bras gauche un peu en avant; dans l'hémisphère austral, on devra étendre le bras droit aussi un peu en avant.

IV

Mouvements de translation et de rotation des cyclones.

On voit donc que le mouvement giratoire des cyclones est de sens opposé dans l'un ou dans l'autre hémisphère. Il en est de même de leur mouvement de translation ou de la direction de leurs trajectoires. C'est ce que l'examen de la figure 68 va nous permettre de préciser.

C'est entre l'équateur et les tropiques que généralement prennent naissance les cyclones, un peu au nord et au sud de la région des calmes, à une latitude sensiblement égale à la déclinaison du soleil. Le météore une fois formé s'éloigne de l'équateur en s'avancant vers l'ouest; puis sa trajectoire se recourbe vers le nord dans l'hémisphère boréal, vers le sud dans l'hémisphère austral. Arrivé à la limite polaire des alizés, le tourbillon suit alors un arc tangent au méridien, puis s'infléchit du côté de l'est en s'éloignant toujours de plus en plus de l'équateur, jusqu'à ce qu'il se perde dans les hautes latitudes. Sa trajectoire totale a la forme approchée d'une parabole dont le sommet coïnciderait avec la limite supérieure des alizés dans chaque héli-

sphère (vers 30° dans l'hémisphère boréal, vers 26° ou 28° dans l'hémisphère sud). La direction de la

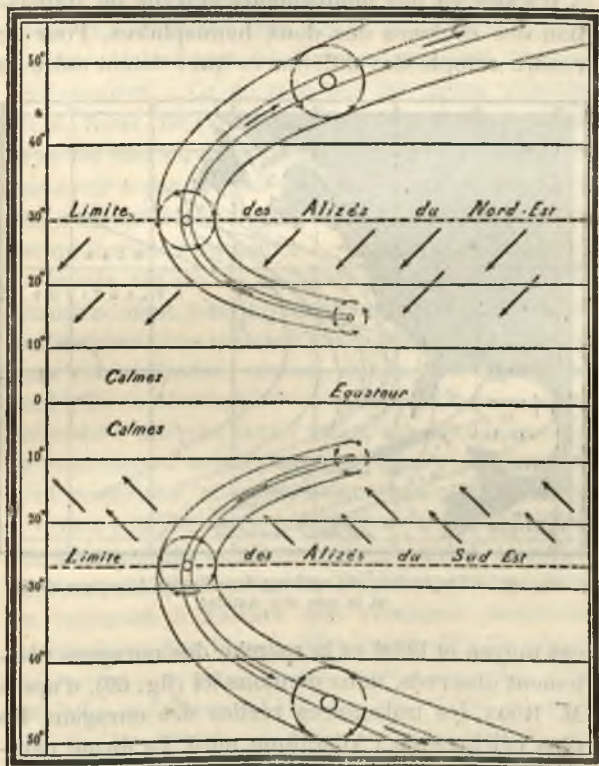


Fig. 68. — Mouvements de rotation et de translation d'un cyclone sur chaque hémisphère.

première branche du parcours est donc, soit du sud-est au nord-ouest, soit du nord-est au sud-ouest, entre les tropiques; la direction de la seconde

branche, du sud-ouest au nord-est ou bien du nord-est au sud-ouest.

Il s'agit ici des mouvements moyens de translation des cyclones des deux hémisphères. Pour se rendre compte des différences qui existent entre ce

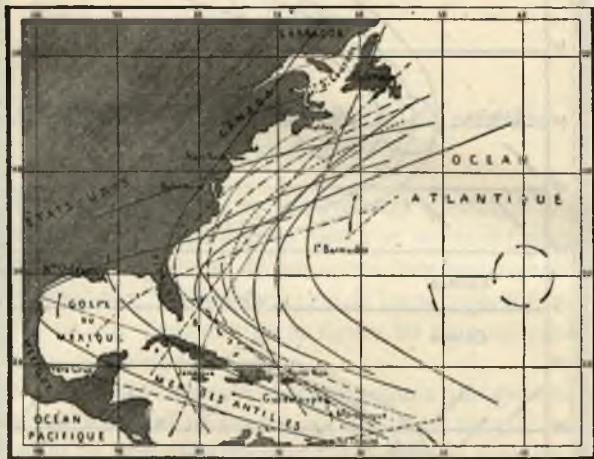


Fig. 69. — Trajectoires des cyclones dans l'océan Atlantique nord et la mer des Antilles.

cas moyen et idéal et la marche des ouragans réellement observés, nous donnons ici (fig. 69), d'après M. Roux, les trajectoires réelles des ouragans les plus célèbres de l'Atlantique nord. La forme parabolique de ces courbes et leur situation sont bien d'accord avec la loi générale que nous venons d'énoncer. Le mouvement de translation des typhons des mers de l'extrême Orient s'en écarte, au contraire : du moins certains d'entre eux se rapprochent de l'équateur au lieu de s'en éloigner, ou

encore la courbure de leurs trajectoires a une direction opposée à celle des cyclones ordinaires.

Tous les cyclones ne parcourent pas des espaces aussi considérables que ceux que supposent les courbes de la figure 69. Il en est qui sont presque stationnaires. « Ce ne sont pas les moins violents, dit M. Roux. Ils s'évanouissent, pour ainsi dire, tout près du lieu où ils ont pris naissance, après toutefois avoir accompli leur œuvre de destruction. Celui qui a ravagé l'île Saint-Thomas en octobre 1867 en est un terrible exemple. »

On cite des cas de cyclones qui se sont produits simultanément, à de plus ou moins grandes distances : tantôt on les a vus marcher parallèlement, côte à côte, sans se confondre ; tantôt, après un certain parcours, ils se réunissaient en se mouvant suivant une trajectoire unique ; tantôt enfin, les deux météores, se rencontrant suivant un angle assez prononcé, se sont confondus avec un bruit pareil au tonnerre.

Quant à la vitesse de translation des cyclones, elle est fort variable, et elle est généralement en raison de l'intensité de la tempête. Faible au début, elle va en croissant à mesure que l'ouragan progresse. 9 kilomètres par heure, telle paraît être la vitesse minimum des plus faibles ouragans ; elle peut atteindre et dépasser 54 kilomètres. Selon les relevés de M. Bridet, la vitesse de translation des cyclones de l'océan Indien varie de 1 à 5 milles (1,8 à 9 kilomètres) entre 5° et 10° de latitude sud ; elle est de 5 à 10 milles (9 à 18 kilomètres) entre 15° et 25°, pour s'élever à 12 et 18 milles (22 à 34 kilomètres) quand l'ouragan parvient dans les latitudes plus élevées.

Les nombres que nous venons de citer se rapportent au mouvement des cyclones qui traversent les océans. On doit à M. Loomis l'étude des trajectoires des tempêtes qui se meuvent à la surface du continent de l'Amérique du Nord. De 475 cas observés dans le cours des trois années 1872, 1873 et 1874, M. Loomis conclut pour la vitesse moyenne de translation le chiffre de 26 milles anglais, soit 42 kilomètres à l'heure. La comparaison de ces nombres avec ceux qui sont relatifs aux cyclones observés sur mer tend à prouver qu'à la surface des océans la vitesse de translation des cyclones est moindre qu'à la surface des terres. Ce résultat est confirmé par les observations des tempêtes de l'océan Atlantique, qui donnent pour la vitesse moyenne de translation 19,6 milles, tandis que M. Mohn a trouvé, pour la vitesse des tempêtes sur le continent européen, 26,7 milles à l'heure.

On voit sur la figure 67 que le cercle représentant l'étendue d'un cyclone à son origine est d'un moindre diamètre que ceux auxquels il parvient dans la suite de son cours. Les dimensions du météore semblent, en effet, aller en augmentant en même temps que sa vitesse et à mesure de son éloignement de l'équateur. Tandis que le diamètre initial varie entre 100 et 200 kilomètres, il atteint une moyenne de 500 à 1000 kilomètres à l'extrémité de la seconde branche de la parabole, et, dans le cas de certains ouragans d'une intensité exceptionnelle, va jusqu'à 2800 kilomètres, embrassant ainsi dans la sphère de l'action destructive près de 700 degrés carrés de la surface terrestre.

Revenons au mouvement de rotation du tour-

billon, à la vitesse et à la force du vent à des distances diverses du centre. On a déjà vu que celle-ci va en croissant de la limite extérieure jusqu'au calme central. En ce dernier point, ou un peu avant de l'atteindre, la violence de l'ouragan arrive à son maximum : le vent y peut acquérir une vitesse de 230 à 280 kilomètres à l'heure, soit 65 à 75 mètres par seconde. « Si l'on suppose un cyclone en marche, d'un diamètre de 300 milles, dit M. Roux, tout point frappé en premier lieu, qui se trouve placé sur la ligne de translation du centre, ne ressentira au début que de faibles brises, qui ne tarderont pas à fraichir. A 150 milles du centre, il ventera grande brise ; les rafales, qui viendront par intervalles, seront lourdes : c'est presque le coup de vent. A 100 milles, la force du vent obligera le capitaine d'un navire à mettre aux bas ris. De 50 à 80 milles, l'ouragan sera dans toute sa fureur ; à ce moment, un navire aura toujours trop de toile dehors. Enfin, dans le calme central, d'un rayon variant de 5 à 20 milles, le calme est si complet, qu'on peut le comparer à la mort après les plus terribles convulsions. »

Quand on considère le sens du mouvement de giration dans les cyclones, on voit que, dans l'hémisphère boréal, il est contraire à celui des aiguilles d'une montre, ou s'effectue de droite à gauche ; dans l'hémisphère austral, il a lieu dans un sens opposé, de gauche à droite, ou comme celui des aiguilles d'une montre. On déduit aisément de là une règle pour connaître dans quel rumb souffle le vent tout autour du centre du tourbillon. En partant du point le plus oriental d'une des circonférences concentriques et en suivant le sens du mouvement de gira-

tion, c'est-à-dire en allant à l'ouest par le nord, puis revenant à l'est par le sud, on rencontre les vents des divers rumb dans l'ordre que voici : sud, sud-est, est, nord-est, nord ; puis nord-ouest, ouest, sud-ouest et sud. Pour un cyclone austral, toujours dans la même hypothèse, la succession des vents serait, au contraire : nord, nord-est, est, sud-est et sud ; puis sud-ouest, ouest, nord-ouest et nord.

Les marins ont plus d'intérêt à considérer le cyclone comme divisé en deux moitiés, non plus, comme nous venons de le faire, par rapport à la direction des méridiens et des cercles de latitude, mais par rapport à la trajectoire du centre. En effet, dans ce cas, dans la moitié intérieure, c'est-à-dire située du côté de la concavité de la courbe, la vitesse de rotation et la vitesse de translation se combinent de manière à s'ajouter : la résultante tend à rapprocher les molécules d'air entraînées de la ligne parcourue par le centre : c'est le *demi-cercle dangereux* du cyclone. Dans l'autre moitié, au contraire, la vitesse de rotation et la vitesse de translation se détruisent en partie, et la résultante tend à rejeter les masses d'air et les objets qu'elles rencontrent en dehors du mouvement tourbillonnaire : c'est le *demi-cercle maniable*. De là, pour manœuvrer, des règles précises qui, depuis qu'elles ont été formulées pour notre savant compatriote Bridet, ont permis aux navires d'éviter bien des sinistres.

La vitesse de rotation va généralement en diminuant à mesure que le tourbillon s'éloigne de l'équateur, tandis que le contraire arrive pour le mouvement de translation, plus lent sous les tropiques que dans les latitudes de la zone tempérée. Mais

comme c'est le mouvement giratoire qui est de beaucoup le plus violent, on comprend que les cyclones des Antilles ou de l'océan Indien soient si terriblement destructeurs, tandis que les bourrasques de nos climats sont rarement très dangereuses, malgré

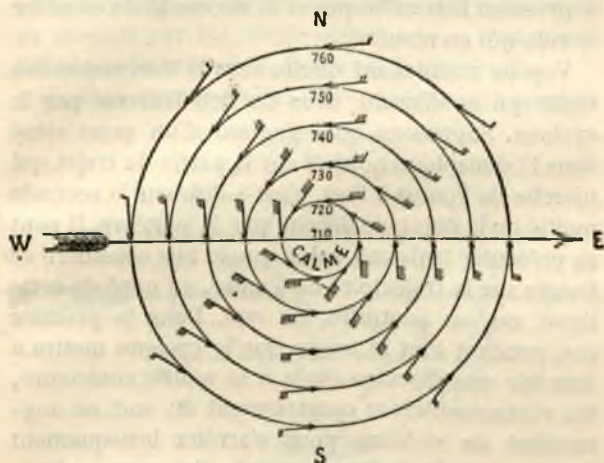


Fig. 70. — Direction et intensité des vents à l'intérieur d'un cyclone.

ou plutôt à cause même de la rapidité avec laquelle elles se déplacent.

Si le mouvement de giration était parfaitement circulaire, la direction du vent en chaque point de l'intérieur d'un cyclone serait perpendiculaire à celle du centre. On devrait alors représenter ce mouvement par des flèches tangentes aux cercles concentriques qui figureraient les isobares ou courbes d'égale pression. En réalité, ces flèches coupent les cercles cycloniques sous un angle aigu, qui, d'après Redfield, peut varier de 5° à 10° et, dans certains grands

cyclones, atteint jusqu'au quart de l'angle droit. Piddington pense même que l'obliquité peut aller jusqu'à 33°. En tout cas, elle démontre que l'air, tout en étant entraîné par la rotation, a une tendance à se déplacer vers le centre, ce qu'on explique par la dépression barométrique et la nécessité de combler le vide qui en résulte.

Voyons maintenant quelle sera la succession des vents qui souffleront dans un lieu traversé par le cyclone. Supposons qu'il s'agisse d'un point situé dans l'hémisphère nord et sur la partie du trajet qui marche de l'ouest à l'est, c'est-à-dire sur la seconde moitié de la parabole décrite par le météore. Il peut se présenter trois cas, selon que le lieu considéré se trouve sur la trajectoire du centre, au nord de cette ligne, ou, au contraire, au sud. Dans le premier cas, pendant tout le temps que le cyclone mettra à franchir une distance égale à sa moitié antérieure, les vents souffleront constamment du sud, en augmentant de violence pour s'arrêter brusquement au moment du calme central. Cet espace franchi, une saute brusque aura lieu du sud au nord, direction de laquelle le vent continuera à souffler jusqu'à la fin de la tempête. Si le cyclone aborde le lieu considéré par sa moitié boréale (demi-cercle maniable), ce sont les vents du sud qui se feront sentir les premiers, puis ils tourneront vers le sud-est, pour souffler de l'est à peu près au moment où l'on se trouvera à la plus petite distance du centre; de là, la direction du vent tournera au nord-est, puis au nord. On se rend aisément compte de cette succession des vents du sud au nord par le côté est, en imaginant que le cyclone restant immobile, c'est le

lieu A qui se déplace en sens contraire, sur une ligne AA'A'' parallèle à la trajectoire du centre. De même, si le lieu B est parcouru par l'ouragan dans sa moitié méridionale (demi-cercle dangereux), il est aisé de voir que le vent, soufflant d'abord du sud, arrivera de même à la direction nord, mais en passant par les rumb opposés de la rose, c'est-à-dire par le sud-ouest, l'ouest et le nord-ouest.

Si, sans quitter l'hémisphère boréal, on cherchait

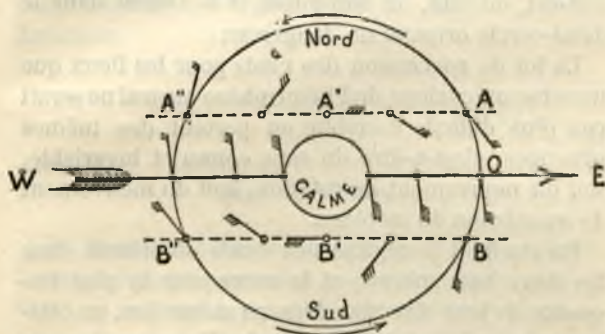


Fig. 71. — Succession des vents pendant le passage d'un cyclone.

quelle est la succession des vents qu'on observe quand le cyclone parcourt la première branche de sa parabole, orientée de l'est à l'ouest, il est évident que leur direction varierait du nord au sud, soit par l'est, soit par l'ouest. On s'en rendra compte d'ailleurs en remarquant que, le mouvement giratoire conservant le même sens, c'est le mouvement de translation seul qui serait changé, aussi bien dans la moitié nord que dans la moitié sud du cyclone. Mais, au point de vue de l'intensité, c'est alors dans la première moitié que les vents cycloniques souff-

flent avec le plus de force, puisqu'elle forme le demi-cercle dangereux.

Enfin vers le sommet de la trajectoire parabolique le mouvement de translation d'un cyclone boréal est sensiblement parallèle au méridien et dirigé du sud au nord. Les premiers vents ressentis en un lieu traversé par l'ouragan sont les vents d'est qui passent au nord-est, au nord, au nord-ouest et à l'ouest dans le demi-cercle maniable, et, au contraire, au sud-est, au sud, au sud-ouest et à l'ouest dans le demi-cercle oriental ou dangereux.

La loi de succession des vents pour les lieux que traverse un cyclone de l'hémisphère austral ne serait pas plus difficile à établir en partant des mêmes principes, c'est-à-dire du sens connu et invariable, soit du mouvement de rotation, soit du mouvement de translation du météore.

En étudiant le régime des vents dominants dans les deux hémisphères et la succession la plus fréquente de leur direction dans un même lieu, un célèbre météorologiste contemporain, Dove, avait constaté que, dans l'hémisphère nord, ce sont surtout les vents de sud-ouest et ceux de nord-est qui prédominent, et que, quand on passe de l'un à l'autre, le plus souvent la rotation se fait dans le même sens que le mouvement diurne apparent du soleil, c'est-à-dire par l'est, le sud-est, le sud, le sud-est et l'ouest. Dans l'hémisphère austral, la succession de l'est à l'ouest se fait en sens opposé, c'est-à-dire par le nord. Cette rotation des vents a été longtemps connue sous le nom de *loi de Dove*. Ce savant en fournissait l'explication en montrant que la lutte des deux courants dominants détermine la production de tourbillons,

lesquels, en se déplaçant, donnent lieu à la succession la plus fréquemment observée. La loi de Dove est vraie, en effet, mais seulement pour les régions de l'Europe occidentale, c'est-à-dire pour des contrées qui sont généralement parcourues par la moitié méridionale ou inférieure des bourrasques et cyclones venant de l'Atlantique et abordant l'Europe par ses côtes ouest. En réalité, elle n'a pas la généralité que lui attribuait son auteur; elle n'est qu'un cas particulier de la loi plus générale qu'on vient de formuler.

V

Les tornados.

On donne le nom de *tornades* ou *tornados* à des bourrasques qui, sur une échelle beaucoup moins vaste, il est vrai, ont à peu près toutes les apparences des cyclones et sont principalement caractérisés, ainsi que leur nom le suppose d'ailleurs, par un mouvement giratoire. C'est sur la côte occidentale d'Afrique, au Sénégal, que ces tempêtes sévissent le plus fréquemment; les tornados sont fort nombreux aussi dans le continent de l'Amérique du Nord. Des phénomènes plus ou moins analogues à ces tourbillons s'observent encore dans l'Amérique du Sud, où ils sont désignés par le nom de *pampères*, et dans l'océan Indien, du golfe du Bengale aux îles de la Sonde, où ils sont connus sous les dénominations de *grains arqués* et de *sumatras*.

Les tornados des États-Unis ont été étudiés par

M. Finley, qui en a fait l'objet d'un rapport au *Meteorological Office*, sous ce titre : *On the character of six hundred tornados* (sur le caractère de six cents tornados).

Non seulement les tornados ont des dimensions bien moins considérables que celles des cyclones, mais l'étendue de leur parcours est aussi fort limitée et leur durée beaucoup moindre. En moyenne, ils durent trois quarts d'heure, et leur trajet n'atteint qu'une cinquantaine de kilomètres. Cela n'a rien que de très naturel, s'il est vrai que presque toujours ils accompagnent les vrais cyclones, dont ils ne sont que des manifestations accidentelles et partielles. Ces mouvements giratoires secondaires, naissant au sein des grands mouvements tournants qu'engendrent les dépressions barométriques, se succèdent d'ailleurs sur le parcours du même cyclone; ces météores naissent principalement dans le demi-cercle dangereux du cyclone, un peu à l'avant, puisque, comme nous l'avons vu plus haut, les trajectoires des cyclones qui traversent les États-Unis, du Pacifique à l'Atlantique, sont dirigées à l'est, avec une faible inclinaison vers le nord.

Les tornados du Sénégal, d'après la description qu'en a donnée le docteur Borius, sont des bourrasques qui surviennent le plus souvent après des journées de chaleur accablantes, alors que la brise du sud-ouest, qui dominait pendant l'hivernage, a fait place à de faibles vents du nord au nord-est. Un nuage noir apparaît à l'horizon du sud et, au bout de trois ou quatre heures, monte et s'agrandit en forme de demi-cercle, qui peu à peu s'approche du zénith et le dépasse. « A un moment qui est ordi-



Fig. 72. — Un tornado au Sénégal.

nairement celui où le bord antérieur de la tornade atteint le zénith, souvent un peu plus tôt, et parfois seulement au moment où les deux tiers du ciel se trouvent couverts, un vent d'une violence extrême se déchaîne à la surface du sol dans la direction du sud-est. La masse météorique, vue en dessous et de près, n'a plus alors de forme définie; la partie du ciel qui était restée découverte est promptement envahie par les nuages, qui semblent se mouvoir en désordre. Comme le météore continue sa marche vers le nord, il est facile de constater que la direction du vent n'est due qu'à un mouvement propre du météore sur lui-même, combiné avec son mouvement de progression. » Pendant un quart d'heure au plus que dure cette bourrasque, que les éclairs et le tonnerre accompagnent d'ailleurs assez rarement, le vent passe du sud-est au sud-ouest en passant par le nord; la rotation a donc lieu, comme pour les cyclones de l'hémisphère boréal, dans un sens contraire au mouvement des aiguilles d'une montre. Ordinairement, c'est à la fin de la tornade, quand le vent est passé au sud-ouest, que la pluie se met à tomber avec une extrême abondance; mais il arrive aussi que le météore disparaît sans pluie: on a ce qu'on nomme alors une *tornade sèche*. Dans tous les cas, le passage d'une tornade est suivi d'un abaissement sensible de la température. Le docteur Borius évalue à 15 lieues à l'heure la vitesse moyenne du mouvement de progression.

Si les tornados et tornades sont bien, comme les descriptions précédentes en font foi, des tourbillons astreints, en ce qui concerne leur mouvement de giration, aux mêmes lois que les grands cyclones,

cela est plus douteux pour les pampères de l'Amérique du Sud et les grains arqués de l'océan Indien ; Reid les considère comme de simples rafales de vent et de pluie de direction rectiligne.

Nous ne décrivons pas ici les phénomènes électriques des orages : nous aurons l'occasion de les étudier dans le volume consacré aux MÉTÉORES ÉLECTRIQUES. Dans nos climats tempérés, c'est surtout pendant la saison chaude que se produisent ces crises de l'atmosphère, d'ailleurs souvent bien-faisantes malgré les ravages accidentels qu'elles causent ; les orages électriques ne sont pas inconnus cependant dans la saison froide, et il en survient de temps à autre au cœur même de l'hiver. Entre les tropiques, mais principalement dans la zone des calmes, dans la région comprise entre les alizés du nord-est et ceux du sud-est, ils sont d'une fréquence telle, qu'il se passe peu de jours sans qu'on entende les roulements du tonnerre. Au contraire, dans les régions polaires, les orages sont rares ; en Islande, les orages d'hiver sont plus fréquents que ceux d'été.

D'après M. Marié-Davy, le plus grand nombre des orages qui se produisent dans la partie occidentale du continent européen coïncident avec le passage des bourrasques tournantes, et c'est sur leur bord méridional ou dangereux qu'ils se forment. « Les orages, dit-il, ne sont point des phénomènes localisés, comme on l'avait admis jusqu'alors. Ils s'étendent toujours à une partie considérable de la France, et quelquefois la traversent dans toute son étendue, sur une ligne plus ou moins large, mais dépassant deux ou trois cents lieues en longueur. Ils exigent, pour

se former, une certaine préparation de l'atmosphère, ce qui permet de prévoir leur arrivée. Ils accompagnent constamment les mouvements tournants de l'air ; mais, pour provoquer l'orage, ces mouvements ont d'autant moins besoin d'être fortement caractérisés que la température est plus élevée et l'air plus chargé de vapeurs. » A chaque bourrasque correspond ordinairement une série de manifestations orageuses qui, comme le météore principal, suivent certaines routes déterminées et constantes, mais dont la direction subit l'influence du relief du sol. Si ce dernier présente de fortes saillies, la route suivie par les orages est divisée ou déviée ; elle est au contraire fort peu altérée si les ondulations du sol, collines et vallées, sont peu sensibles. Ce dernier cas se présente notamment, en France, dans les bassins peu accidentés de la Loire, de la Seine ou de la Somme. Il n'en est plus ainsi dans les Pyrénées, dans le massif central ou dans la vallée du Rhône, sur les confins du Jura et des Alpes.

Voici, d'après M. Marié-Davy, les conditions propices à la formation et à la propagation des orages sur le continent européen :

« Dans les temps ordinaires, l'atmosphère de l'Europe n'est pas assez abondamment fournie en électricité et en vapeur d'eau, les mouvements de l'air dans le sens de la verticale n'y sont pas assez actifs pour que les orages s'y forment d'eux-mêmes comme dans la zone équatoriale ; mais, qu'un mouvement tournant s'y produise, l'air des hautes régions se trouve abaissé vers la terre dans l'axe du tourbillon, il y apporte la température d'où résultent les nuages ; il y apporte aussi son électricité que les

nuages recueillent. Les éléments de l'orage se trouvent ainsi réunis à un degré d'autant plus élevé que l'appel de l'air des régions supérieures est plus actif, ou que la saison d'été a rendu la température plus



Fig. 73. — Carte des orages du 9 mai 1865, d'après M. Marié-Davy.

rapidement décroissante avec la hauteur, les couches inférieures étant celles qui s'échauffent le plus rapidement et le plus fortement. On doit donc en été se défier d'autant plus d'une baisse du baromètre qu'elle est circonscrite à un espace moins étendu. Elle est l'indice d'un mouvement tournant trop faible peut-être pour descendre jusqu'au sol, mais suffisant pour engendrer des orages. Ceux-ci ne se

répartissent pas uniformément sur tout le pourtour du disque tournant ; ils se montrent surtout dans les points les plus humides ou les plus chauds, c'est à-dire dans la portion située sous le vent de la mer. Dans les mouvements tournants qui abordent les côtes occidentales de la France, ils apparaîtront sur la portion du disque tournant qui regarde le sud-est, là où les vents soufflent d'entre sud-sud-est et ouest-sud-ouest. Dans les mouvements passant un peu plus haut, sur l'Angleterre, ils se montreront sur la portion du disque dirigée vers le sud, là où les vents soufflent d'entre sud-ouest et nord-ouest. A mesure que le mouvement pénètre dans l'intérieur de l'Europe en s'éloignant de la mer, l'air se dépouille progressivement de sa vapeur et de son électricité, les orages deviennent moins nombreux et leur diminution porte surtout sur la saison froide, pendant laquelle les circonstances sont moins favorables à leur production. Lorsque le mouvement se rapproche de la Méditerranée, il trouve dans l'air chaud et humide qui recouvre cette mer de nouveaux éléments pour la formation des orages, dont le nombre s'accroît considérablement. »

L'étude des tempêtes, bourrasques, cyclones, orages, n'est autre que celle des mouvements des centres de pression minima à la surface des continents ou des mers ; la répartition des isobares à un moment donné permet de reconnaître d'un coup d'œil les zones où existent ces basses pressions et dont chacune est le centre des phénomènes décrits dans les précédents paragraphes, rotation des vents, baisse progressive, puis hausse du baromètre, abaissement subit de la température, précipitation, etc.

En suivant sur la carte les changements qui se produisent d'un jour à l'autre dans le système des couches de pression, on voit la tempête marcher avec le système d'isobares concentriques qui enveloppent le point où le baromètre est le plus bas, mais en s'éloignant du centre on passe graduellement à des pressions de plus en plus élevées, et le plus souvent on reconnaît qu'il existe, dans des directions variables et à des distances plus ou moins grandes de ce centre, un, deux ou plusieurs systèmes opposés au premier, en ce sens qu'ils recouvrent des régions où la pression barométrique est le plus élevée, et caractérisés généralement par des vents faibles et de basses températures. L'étude de ces zones de haute pression, auxquelles a été donné le nom d'*anticyclones*, est encore peu avancée, mais elle promet d'être féconde, si l'on en juge par les recherches qu'a déjà faites sur ce sujet M. Loomis pour l'Amérique du Nord.

CHAPITRE IX

LA PRÉVISION DU TEMPS

I

Problème de la prévision du temps.

Le public, qui s'inquiète peu des théories, juge en général de l'intérêt ou de l'importance d'une science par les résultats pratiques et l'utilité immédiate qu'il en tire. Aussi est-il disposé à faire bon accueil à tous les faiseurs de prédictions du temps à échéance plus ou moins longue. Confondant volontiers la météorologie avec l'astronomie, et voyant par expérience les almanachs donner avec précision la date anticipée des phénomènes célestes, il se laisse aller au préjugé qui confond les choses du ciel avec celles de l'atmosphère, et demande à l'astronomie de lui révéler le temps qu'il va faire. Les déceptions réitérées qu'il éprouve en comparant avec la réalité les annonces des soi-disant éphémérides météorologiques ne le détrompent guère, et il conserve avec soin sa foi dans les influences lunaires, sa crédulité pour les faiseurs de prédictions et d'almanachs.

Pour peu qu'on ait étudié les phénomènes variés dont l'atmosphère est le théâtre mobile, il est aisé de se rendre compte de la difficulté du problème complexe de la prévision du temps. Cependant ce n'est point un problème absolument insoluble, et les personnes qui se tiennent au courant des progrès de la météorologie pratique savent qu'on est déjà parvenu, quoique dans une bien faible mesure, à obtenir quelques résultats intéressants. Nous allons essayer, dans ce chapitre, de présenter un très sommaire exposé de ces résultats. Mais, avant tout, disons comment se pose le problème.

En parlant de la *prévision du temps*, on peut entendre qu'elle comporte un intervalle de temps plus ou moins long : c'est une prédiction à brève ou à longue échéance. Quel temps, par exemple, ferait-il aujourd'hui et demain? Le beau ou le mauvais temps qui règne à cette heure doit-il durer ou cesser prochainement? On peut aller beaucoup plus loin, et demander quel caractère aura la saison courante, ou auront les saisons de l'année. L'été sera-t-il chaud, pluvieux ou sec? L'hiver sera-t-il doux ou rigoureux?

Ce n'est pas tout. Au cas où une réponse probable pourrait être faite à l'une ou à l'autre de ces questions, il reste à savoir à quelle étendue de pays elle est applicable. S'agit-il d'une prévision faite pour une localité restreinte, une région entière, un continent entier ou une fraction de continent? On présume bien que ce qui peut être exact pour une zone, un lieu, ne l'est pas nécessairement pour un pays limitrophe; que ce qui sera vrai de la France méridionale ne le sera plus du nord de la France; qu'il

y a lieu de distinguer entre l'Europe occidentale et l'Europe centrale, etc. Passons successivement en revue tous ces cas, et voyons ce que la science permet de conclure actuellement pour chacun d'eux.

Il n'est pas besoin de longues réflexions pour comprendre que le problème de la prévision du temps, à jour donné, pour une localité restreinte, ne sera jamais résolu. Autant vaudrait avoir la prétention de dire à l'avance quelle sera la fluctuation des vagues de l'Océan dans une prochaine tempête. Mais il en est autrement, si l'on se contente de demander quel sera l'état probable du temps pour le jour ou le lendemain, en se basant sur les symptômes actuels, sur l'état du ciel, l'aspect des nuages, etc. Les gens qui vivent en plein air et qui ont intérêt à connaître le temps, les cultivateurs et les marins, instruits par une longue expérience et des observations traditionnelles, peuvent, sans le secours d'instruments scientifiques, donner à cet égard d'excellentes indications. Nous avons consacré quelques pages de ce volume à quelques-uns de ces pronostics du temps, au moins pour les régions de notre zone tempérée. Nous n'y reviendrons donc pas.

II

Le baromètre et la prévision du temps.

De tous les instruments qui servent à noter et à mesurer les divers éléments du temps, pression atmosphérique, température, état hygrométrique, etc., le baromètre est certainement le plus utile à con-

sulter quand on a en vue la prévision des changements de temps. Les autres indiquent l'état présent de l'atmosphère, pour le lieu où l'on observe. Le baromètre marque, par ses oscillations, des variations de pression dues à des phénomènes souvent fort éloignés; nous en avons vu déjà des exemples en parlant des cyclones.

Mais il importe, pour cela, de bien interpréter ses indications. A peine est-il besoin de dire ici que l'on doit tenir peu de compte des mots usités inscrits sur la plupart des baromètres d'appartement et même sur des instruments destinés à un usage scientifique. Les mots dont nous parlons, et que tout le monde connaît, sont ceux-ci, ordinairement écrits en face des graduations suivantes (à 2 ou 3 millimètres près), soit sur les baromètres à mercure ordinaires ou à cadran, soit sur les baromètres anéroïdes :

Très sec.....	78,5 centim.
Beau fixe.....	77,6 —
Beau.....	76,7 —
Variable.....	76,0 —
Pluie ou vent.....	74,9 —
Grande pluie.....	74,0 —
Tempête.....	73,0 —

D'une façon générale, ces indications ne sont pas toujours inexactes; elles ont été adoptées par d'anciens observateurs qui avaient remarqué que le beau temps correspond le plus souvent à un baromètre élevé, que la baisse est d'autant plus grande que le temps est plus mauvais, et que le minimum enfin s'observe pendant le passage des ouragans. Mais, même en supposant l'exactitude de ces notations, il est clair qu'elles devraient être modifiées

lorsqu'on passerait d'un lieu où la hauteur barométrique moyenne est 760 millimètres (comme le suppose l'échelle précédente) à un lieu plus élevé où la pression moyenne diminue avec l'altitude. A Clermont ou à Genève, par exemple, où la pression moyenne est de 728 ou 727 millimètres, c'est à ce chiffre qu'il faudrait inscrire *variable*, sans quoi le baromètre y serait le plus souvent à *grande pluie* ou *tempête*. Si, pour remédier à cet inconvénient, on inscrivait les indications sur une échelle barométrique, préalablement réduite au niveau de la mer pour le lieu de l'observation, on tomberait dans un autre inconvénient qu'exprime fort bien M. Plumandon ¹, lorsqu'il dit à ce sujet :

« Il suffira de remarquer qu'à Clermont, par exemple, la pression atmosphérique, réduite au niveau de la mer, oscille entre les limites extrêmes 735 et 780 millimètres, et que, par conséquent, l'aiguille ne pourra jamais y indiquer ni *tempête*, ni *beau fixe*, ni *très sec*, inscrits au delà de ces limites, vers 725, 785 et 795. »

Ainsi, à supposer vrais pour une localité particulière les pronostics marqués sur l'échelle barométrique, ils cessent de l'être lorsqu'on transporte l'instrument à une altitude plus élevée, quand même on aurait eu le soin de réduire la graduation au niveau de la mer. Il y a lieu aussi de faire une remarque toute particulière pour les changements de latitude. « Dans les régions tropicales, dit fort bien M. Marié-Davy, l'échelle n'a plus aucune va-

1. Dans son excellent opuscule : *Le baromètre appliqué à la prévision du temps en France, et spécialement dans la France centrale.*

leur, et des perturbations atmosphériques d'égale énergie dépriment sensiblement moins le baromètre dans le midi de la France que dans le nord. »

Enfin, il est un fait prouvé par de nombreuses observations, qui démontre que la hauteur absolue du baromètre ne peut servir à la prévision du temps : on voit fréquemment le baromètre marquer une faible pression ou baisser par un temps beau et calme, monter au contraire et rester stationnaire pendant une pluie abondante ou un violent orage.

Il faut, en définitive, sinon n'ajouter aucune confiance, du moins ne prêter qu'une attention limitée aux indications du temps inscrites sur les cadrans ou les échelles barométriques.

Ce n'est pas la hauteur absolue, ce sont les variations de la pression qu'il importe d'observer avec grand soin, si l'on veut tâcher de tirer, des observations barométriques isolées ou locales, quelque indice du temps prochain. Nous allons bientôt voir que seules les observations simultanées faites sur toute une région, et l'étude des cartes météorologiques construites d'après ces observations, permettent de résoudre le problème du temps probable et prochain. Néanmoins l'étude attentive des mouvements de l'instrument, en y joignant celle de la direction du vent, peut donner d'utiles indications.

A moins de posséder une girouette établie dans de bonnes conditions, il est préférable, pour noter la véritable direction du vent, d'observer les mouvements des nuages. Quant au baromètre, il suffit d'avoir un bon anéroïde, bien réglé, d'en faire la lecture au moins une fois, mais mieux deux ou trois fois par jour ; autant que possible on prendra note

des hauteurs observées avec l'indication de l'heure, ou encore on construira la courbe des variations de la pression.

Quand le beau temps existe depuis un certain nombre de jours et doit persister encore, les mouvements de l'aiguille sont à peu près insensibles. Si alors le baromètre commence à baisser, lentement et régulièrement, un changement de temps est probable. Quand la baisse est lente et modérée (de 2 à 4 millimètres), on peut en conclure qu'une dépression passe au loin (à gauche de la direction du vent, comme nous l'avons vu). Le changement toutefois peut être insensible dans le lieu où l'on observe. Mais si la baisse, tout en se produisant lentement et avec continuité, est forte (jusqu'à 10 millimètres), c'est l'annonce d'un mauvais temps brusque, c'est l'indice d'une perturbation voisine et prochaine, simple bourrasque, averses, coups de vent ou tempête, selon que le baromètre descend de quelques millimètres seulement ou de plusieurs centimètres. Nous avons donné plusieurs exemples de ces baisses considérables, coïncidant avec le passage d'un ouragan ou d'un cyclone.

En résumé, la baisse barométrique est le présage du mauvais temps; mais elle commence pendant le beau temps et le plus souvent elle cesse pour faire place à la hausse au moment où la perturbation atteint son maximum.

Dans les époques de fréquentes bourrasques, les oscillations du baromètre suivent les variations du temps, la baisse ayant lieu généralement pendant le beau temps, la hausse reprenant avec le mauvais temps, pour annoncer l'éclaircie nouvelle.

Nous avons vu qu'un des symptômes précurseurs de l'arrivée d'un cyclone, c'est une faible baisse de 0,8 à 1 millimètre, trois jours environ avant le début de l'ouragan; auparavant, le baromètre est le plus souvent au-dessus de sa moyenne normale.

Si la baisse présage le mauvais temps, la hausse du baromètre est l'annonce du retour du beau temps, qui peut être de courte durée, ou au contraire stable, selon que la hausse se fait soudainement ou avec lenteur. Quand le baromètre est à sa hauteur moyenne et le temps beau, une hausse brusque annonce l'arrivée d'une prochaine dépression; mais si la hausse arrive quand le baromètre est bas, le retour au beau temps ne durera point.

Généralement le présage d'un beau temps durable est caractérisé par une hausse lente, continue et considérable: le maximum correspond d'ordinaire à l'indication *beau fixe*, mais il varie selon les lieux. On a remarqué que la durée du beau temps était à peu près partagée en deux moitiés égales par le jour où le baromètre atteint ce maximum, de sorte que, si l'on a tenu note de l'époque où a commencé la hausse, il sera possible de dire, avec assez de probabilité, pour combien de jours encore on doit compter sur le beau temps.

L'observation de la direction du vent, jointe à celle des hauteurs barométriques et de leurs variations, sera fort utile pour prévoir le sens des changements de cette direction. En effet, toutes les fois qu'arrive une dépression plus ou moins forte, c'est-à-dire la cause principale d'un changement de temps, la loi de Buys-Ballot permet de reconnaître dans quelle position se trouve le centre de dépression, s'il doit

passer au sud et au nord du lieu de l'observateur. En y joignant la loi de rotation des vents, ou de la succession des vents pour les points sur lesquels la dépression doit passer, il sera facile de déduire, avec une certaine probabilité, du vent qui souffle à un moment donné, la direction des vents qui lui succéderont ensuite. Nous allons voir du reste combien la connaissance des cartes météorologiques peut faciliter ces prévisions.

III

Les cartes météorologiques.

Dans le cours de chaque année, deux genres d'influences tendent à changer le temps en une région donnée du globe : les unes, d'ordre purement astronomique, sont régulières et périodiques comme les phénomènes d'où elles naissent, et, si elles existaient seules, la prévision du temps ne serait pour ainsi dire qu'une affaire de calcul, dépendant de la latitude géographique du lieu, des mouvements de rotation et de révolution de la Terre (on pourrait alors inscrire le temps probable sur les calendriers pour une latitude donnée); les autres, dues en grande partie à l'inégale répartition des terres et des eaux, aux inégalités du relief et de la nature du sol, aux courants marins, sont au contraire des influences perturbatrices, et, bien qu'en somme elles n'affectent guère les moyennes des éléments météorologiques, elles sont sans contredit les facteurs principaux des changements du temps, ceux

qu'il faut étudier et connaître, si l'on veut se hasarder de prévoir celui-ci à courte échéance.

Les dépressions barométriques, avec leur cortège de pluies, de vents tournants, d'orages, les variations de température qui en sont l'accompagnement, leur déplacement à la surface du globe, leur lutte avec les aires de hautes pressions, telle est la véritable base de la prévision du temps, telle qu'elle est aujourd'hui conçue et appliquée. Nous avons vu que si les savants ne sont point d'accord sur la théorie de ces grands phénomènes, du moins ils commencent à en bien connaître les lois. Pour étudier pratiquement la distribution et le mouvement de ces aires cycloniques et anticycloniques, qui embrassent, on l'a vu, de vastes régions des continents et des mers, il fallait pouvoir les suivre de jour en jour, relever les positions successives de leurs centres, ce qui exigeait la possession du plus grand nombre possible d'observations simultanées. Cela n'était réalisable et n'a pu être réalisé en effet que grâce au moyen rapide d'informations fourni par la télégraphie électrique, continentale et maritime.

Avec les documents que donnent les stations météorologiques, télégraphiquement reliées à une station centrale, on construit chaque jour des cartes du temps, dont nous allons décrire sommairement le mode de construction et l'usage.

Nous prendrons pour exemple le bulletin que publie quotidiennement le Bureau central météorologique de France. Ce bulletin comprend trois parties. La première se compose des documents numériques ou autres expédiés chaque matin des 122 stations avec lesquelles le Bureau central est

en correspondance ¹; la seconde, deux cartes où la pression et les vents d'une part, la température et la pluie d'autre part, sont représentés graphiquement sur la région qu'embrassent les observations quotidiennes; la troisième partie est consacrée à résumer brièvement la situation météorologique générale, avec les prévisions qu'elle permet de faire sur le temps futur probable.

Pour que le lecteur se fasse une idée un peu nette de la teneur de ce bulletin, nous allons entrer dans quelques détails sur chacune de ces parties.

Toutes les observations sont faites soit à sept heures, soit à huit heures du matin. Elles sont donc bien à peu près simultanées. Les pressions barométriques sont réduites à 0° et au niveau de la mer; à côté de la colonne qui les donne en est une seconde indiquant la variation positive ou négative qu'a

1. Ces 122 stations embrassent toute l'Europe maritime et continentale, ainsi que le nord de l'Afrique. En voici la répartition par contrées :

France	37
France (stations élevées).....	4
Algérie.....	9
Allemagne.....	9
Angleterre.....	7
Autriche.....	7
Espagne et Portugal.....	8
Italie et Monaco.....	11
Pays-Bas.....	5
Pays du Nord (Danemark, Suède et Norvège).....	10
Russie.....	13
Suisse.....	1
Turquie.....	1

Les quatre stations de haute altitude sont situées, en France, dans les Vosges, les Alpes, le Plateau central et les Pyrénées. Les observatoires météorologiques du Puy de Dôme et du Pic du Midi en font partie.

subie le baromètre depuis vingt-quatre heures, c'est-à-dire depuis la veille. La colonne des températures est également suivie de la différence avec celle du jour précédent. La force du vent est marquée par les chiffres d'une échelle qui va de 0 à 9. Viennent ensuite l'état du ciel et celui de la mer, marqués par les indications suivantes : pour le ciel, *beau, nuageux, couvert, brumeux, pluie* ou *neige, brouillard*; pour la mer, *belle* ou *calme, agitée, grosse, houleuse*. La quantité de pluie tombée depuis vingt-quatre heures, les températures maxima et minima de la même journée, enfin les observations de la veille faites à 6 heures du soir pour la pression, la température, le vent et l'état du ciel, sont inscrites à la suite dans autant de colonnes spéciales. Voici du reste un extrait du bulletin donnant (pour six stations) les observations du matin. Elles sont relatives au vendredi 13 juin 1884.

STATIONS	OBSERVATIONS DU MATIN						
	BAROMÈTRE A 0° AU NIVEAU DE LA MER		THERMOMÈTRE		VENT FORCE DE 0 A 9	ÉTAT DU CIEL	ÉTAT DE LA MER
	Observation.	Différ. en 24 h.	Observation.	Différ. en 24h.			
Paris(Saint-Maur)....	768,6	— 1,3	14,9	2,3	N.2	Beau.	—
Brest.....	770,3	— 0,6	13,8	0,8	NE.3	Nuageux.	Belle.
Stornoway.	761,5	— 3,5	10,0	— 1,7	WNW.6	Pluie.	Houleuse.
Naples.....	764,3	5,7	17,5	0,8	S.1	P. nuag.	Calme.
Copenhague.....	768,4	3,1	14,5	— 0,9	NW.2	P. nuag.	—
Moscou ...	763,6	— 5,5	11,0	2,2	S.1	Beau.	—

L'une des deux cartes du bulletin (toutes deux ont pour canevas géographique l'Europe et l'Algérie-

Tunisie) est consacrée à représenter la pression barométrique et ses variations, le vent et l'état du ciel et de la mer. Des courbes pleines figurent les isobares ¹ de 5 en 5 millimètres; des courbes ponctuées, les variations égales de la pression depuis la veille; si la convergence des isobares indique l'existence d'un centre de dépression, une ligne à traits croisés marque la trajectoire de cette dépression d'après les observations des jours précédents; chaque station est marquée par un cercle avec une teinte blanche ou noire, ou un signe spécial pour figurer l'état du ciel ou de la mer, la pluie ou la neige. Des flèches, portant des nombres croissants de pennes, marquent la force du vent; sa direction est donnée par l'orientation du trait.

La seconde carte indique la température et ses variations par des courbes pleines ou ponctuées, selon qu'elles représentent les isothermes ou les différences égales de température depuis la veille. Les températures sont notées de 5 en 5 degrés centigrades, et des chiffres indiquent en outre la position des maxima et des minima thermiques. La quantité de pluie, les orages, sont marqués sur la même carte par des signes spéciaux.

C'est d'après l'étude de telles cartes météorologiques, par la comparaison des deux cartes du jour avec celles de la veille ou des jours précédents, que les savants chargés de centraliser les renseignements multiples dont on vient de lire le détail, se basant en outre sur les lois connues des mouvements cyclo-

1. Rappelons que ce sont les courbes obtenues en reliant sur la carte, par un trait continu, les lieux où la pression barométrique est la même au même instant (voy. page 92).

niques ou anticycloniques, parviennent à formuler le temps probable dans les diverses régions soumises à leur examen quotidien. Telle est la base des avertissements météorologiques que le Bureau central expédie à son tour, par voie télégraphique, aux stations des côtes ou de l'intérieur des continents, avertissements qui ont rendu déjà tant de services, soit à la navigation, soit à l'agriculture.



Fig. 74. — Isobares et vents à la surface de l'Europe, le 9 octobre 1878. Dépression au nord-ouest de l'Irlande. Fig. 75. — Trajet d'une bourrasque sur le nord de l'Europe. Isobares et vents, le 10 octobre 1878.

En suivant sur les figures 74 à 77 les indications fournies par les observations de quatre journées consécutives, on pourra se rendre compte du mouvement de translation de la bourrasque du 9 au 13 octobre 1878, qui a abordé l'Europe par l'Irlande, puis s'est dirigée par le nord-est vers les côtes de Norvège. On comprendra alors comment la lecture et la discussion des cartes météorologiques quotidiennes et simultanées permettent de déduire,

avec une certaine précision, de la situation actuelle d'une grande région telle que l'Europe, le temps probable de demain. Toutefois, pour que cette prévision du temps à un ou deux jours au plus d'échéance soit formulée avec une suffisante probabilité, il faut, de la part des savants chargés du service d'avertis-



Fig. 76. — Trajet d'une bourrasque sur le nord de l'Europe. Isobares et vents, le 11 octobre 1878.



Fig. 77. — Isobares et vents, le 12 octobre 1878. Trajectoire de la bourrasque du 9 au 13 octobre A₁, A₂, A₃, A₄, A₅.

sement, outre une connaissance approfondie des lois météorologiques connues, une grande expérience que la pratique seule peut donner. Quand une bourrasque est dénoncée par la forme des isobares et la distribution des pressions, et que la direction de sa trajectoire se dessine, on peut sans doute prolonger la ligne de son parcours; mais, d'un jour à l'autre, des modifications dont la cause est le plus souvent locale peuvent changer ce parcours. Quelquefois la dépression principale se seg-

mente : il se forme une ou deux dépressions secondaires ; ou bien encore, une autre dépression suivant de près la première la côtoie et, suivant que son intensité est plus grande ou moindre, l'absorbe ou en est absorbée. Dans ces divers cas, les isobares qui affectent d'abord une forme à peu près circulaire prennent celle d'ellipses allongées, soit pour se segmenter en deux aires circulaires séparées, soit, au contraire, dans le cas de deux dépressions isolées, pour se confondre à nouveau en une seule. Quand ces circonstances se présentent, la prévision, surtout en ce qui concerne la direction du vent, devient plus incertaine. Il arrive aussi qu'une bourrasque, après s'être d'abord mue avec une certaine rapidité, devient stationnaire, reste ainsi quelques jours dans cet état et se comble sur place. La cause de cet arrêt dans le mouvement de translation de la dépression est le plus souvent l'existence d'une zone de fortes pressions, d'un anticyclone, selon l'expression usitée, en avant de la trajectoire de la bourrasque.

C'est, comme le fait pressentir la loi de translation des tempêtes sur l'hémisphère nord, par les côtes ouest du continent ou des îles que les bourrasques abordent toujours l'Europe. Elles arrivent toutes formées de l'Atlantique. Les unes viennent par les côtes septentrionales, par les Îles Britanniques ou la Norvège. De là elles gagnent soit la mer du Nord, les Pays-Bas, le Danemark, soit la Baltique, la Russie, quelquefois se rabattant sur l'Europe centrale. D'autres abordent simultanément l'Irlande, la Manche, les côtes de France, se dirigeant ainsi vers l'est ou le nord-est. Les bourras-

ques de ces deux catégories sont les plus nombreuses; elles se suivent fréquemment par groupes. D'autres enfin, plus méridionales, et sans doute originaires de la région de l'Atlantique entourant les Açores, abordent directement le Maroc, puis le continent européen par les côtes de Portugal et d'Espagne. L'Algérie, la Méditerranée, l'Italie, l'Adriatique sont successivement ou simultanément parcourues par ces dépressions. Quelquefois les bourrasques des Açores remontent au nord par le golfe de Gascogne, traversent la France et continuent leur route sur l'Europe centrale. Le plus souvent isolées, elles sont aussi intenses et dangereuses que les bourrasques plus septentrionales. Ce sont les dépressions ayant cette origine qui produisent, pour toutes les régions situées au nord de leurs trajectoires, cette rotation des vents contraire au mouvement du soleil, que Dove considérait comme une exception à la loi qu'il avait formulée. En réalité, la succession inverse se produit au sud des mêmes trajectoires, comme l'indique la loi plus générale de la rotation des cyclones. On peut citer comme exemple la mémorable tempête des 4 et 5 décembre 1879, qui aborda les côtes de France vers l'embouchure de la Loire, traversa notre pays du sud-ouest au nord-est, s'infléchit vers l'est et, le 6, atteignit la Russie méridionale, après avoir couvert de neige le midi de la France, l'Allemagne et l'Autriche. C'est après le passage de ce cyclone que s'établit, sur la plus grande partie de l'Europe, ce régime de fortes pressions et de basses températures qui donna lieu à l'hiver rigoureux de 1879-1880.

Nous avons dit que les orages sont le plus souvent dans la dépendance des bourrasques d'une certaine importance; leur prévision est donc liée à celle des bourrasques elles-mêmes; mais il est clair qu'elle ne peut s'entendre que d'un état probable d'une région, sans qu'on puisse rien dire pour une localité particulière. C'est aux observateurs de cette localité, prévenus de l'approche d'une bourrasque, à tenir compte de toutes les circonstances météorologiques spéciales du lieu où ils se trouvent; en combinant ces observations avec les pronostics fournis par l'aspect du ciel, il leur sera souvent possible de compléter la prédiction relative à un orage prochain.

Outre ces orages qui se produisent surtout dans la portion dangereuse d'une tempête tournante, il en est d'autres qui surviennent par séries en un même lieu pendant plusieurs jours consécutifs. C'est dans la saison d'été, au sein d'une atmosphère relativement calme, qu'ils éclatent, sans que le baromètre subisse une forte baisse. Le caractère de ces dépressions, remarquables par leur permanence et leur stabilité, et qui peut servir à leur prévision, est formulé en ces termes par M. Mascart : « Une vaste zone de pressions très uniformes, s'éloignant peu de la normale, couvre une grande partie de l'Europe, et le baromètre est plus bas sur l'océan Atlantique ¹. »

Les cartes du temps, telles que les publie le Bureau central météorologique de France, sont la base des avertissements expédiés télégraphiquement

1. *La météorologie appliquée à la prévision du temps.*

aux ports maritimes, et destinés à prévenir les marins de l'approche ou de la disparition des tempêtes. C'est pour ce but, essentiellement pratique, que ce service avait été conçu et organisé dès l'origine par Le Verrier. Peu d'années après (en 1861), une organisation semblable fut établie en Angleterre sous la direction de l'amiral Fitz-Roy, et la plupart des nations civilisées, suivant ce double exemple, ont à l'envi prêté leur concours à cette œuvre d'utilité générale qui tend à s'universaliser sur tout le globe.

Deux fois par jour, le Bureau météorologique de France expédie aux ports des dépêches indiquant la direction du vent, l'état de la mer sur les divers points du littoral, et, s'il y a lieu, l'arrivée d'une bourrasque signalée par l'existence au large d'une dépression barométrique. La dépêche est affichée à la portée des marins, des armateurs, des pêcheurs, etc. Le Bureau météorologique de Londres donne de semblables avertissements de tempêtes, et des signaux d'alarme sont hissés dans les stations menacées.

Au point de vue de la prévision à courte échéance, la position géographique des centres où convergent les dépêches télégraphiques de toutes les stations de chaque réseau a une importance qu'il est aisé de comprendre. Les Bureaux météorologiques de Paris et de Londres sont tous deux situés à l'ouest de l'Europe et à peu de distance des limites occidentales des côtes de l'Atlantique. Or nous avons vu que la plupart des bourrasques abordent l'Europe précisément dans cette direction; leur origine est au large de l'Océan, c'est-à-dire dans une région

dépourvue de stations météorologiques. Les informations les plus précieuses manquent : ce sont en effet celles qui auraient pu permettre de prévoir l'arrivée des perturbations, peut-être plusieurs jours à l'avance. Le secrétaire du *Meteorological Office* de Londres, M. R. Scott, se plaint de cette absence des documents les plus utiles au fonctionnement du système. « Nous sommes mal pourvus de stations, dit-il, sur la côte ouest de l'Irlande et de l'Écosse, district d'où il importerait d'avoir de bonne heure l'annonce des changements de temps. Mais, en premier lieu, la communication télégraphique est peu développée dans ces régions presque désertes ; en second lieu, les endroits habités se trouvent dans les baies abritées, où la vraie force du vent est difficilement connue, peu de maisons pouvant supporter la violence d'une bourrasque d'hiver de l'Atlantique. Les observateurs ne peuvent donc envoyer des rapports suffisamment exacts concernant la direction et la force du vent, la position de la station étant donnée. Valentia est située au bord de la mer dans un étroit passage entouré de hautes collines. A Greencastle, la haute terre de Innishowen brise la force des vents de sud-ouest et d'ouest. Ardrossan est une bonne station, mais elle se trouve loin de l'embouchure de la Clyde, et à cinquante milles au moins, à vol d'oiseau, du point ouest extrême d'Islay. Nous n'avons pas d'autre station jusqu'à celle de Stornoway, dans l'île de Lewis ¹. »

Paris est, à cet égard, placé à peu près comme

1. *Cartes du temps et avertissements de tempêtes*, par M. R. Scott.

Londres, avec cette différence que, s'il est dans une position meilleure pour être informé de l'arrivée des bourrasques qui abordent l'Europe par les Iles Britanniques, en revanche il peut transmettre plus rapidement et plus à l'avance à Londres celles qui viennent par la péninsule Ibérique ou le golfe de Gascogne. D'après M. Mascart, les avertissements maritimes, ayant pour objet principal la direction et la force du vent, réussissent en moyenne 83 fois sur 100. Quant aux probabilités de pluie, d'orages, de beau temps, que réclament surtout les stations agricoles, leur succès est un peu moindre, 78 sur 100. Voici, d'après M. Scott, la proportion pour 100 des avertissements justifiés ou non par le temps réel, pendant les années 1873 et 1874, et expédiés, par le *Meteorological Office* de Londres, aux ports du Royaume-Uni :

	AVERTISSEMENTS JUSTIFIÉS		Total.	Avertissements tardivement ou non justifiés.
	Tempêtes ou forts coups de vent.	Coups de vent modérés.		
1873.....	45,2	34,0	79,2	20,8
1874.....	45,4	32,8	78,2	21,8

On voit par ces chiffres que, malgré la position défavorable des deux grands centres météorologiques, le nombre des prévisions exactes est relativement considérable et justifie bien les sacrifices faits pour le développement de ces importants services.

Nous avons vu plus haut que les bourrasques et cyclones traversent le continent de l'Amérique du Nord de l'ouest à l'est, ayant ainsi parcouru une grande étendue de pays quand ces perturbations

atteignent les ports de l'Atlantique sur la côte orientale. Aussi le service des avertissements météorologiques, si admirablement organisé par le général A. Myer, et dont le bureau central siège à Washington sous le nom de *Signal Office*, fonctionne-t-il aux États-Unis avec une régularité et un succès qui dépassent ce qui a pu être fait dans l'Europe occidentale, enregistrant chaque jour, dans le Bulletin servant à la construction des cartes synoptiques, les observations simultanées de près de 400 stations¹ réparties sur toute l'étendue de ce vaste territoire. Outre l'avantage de la situation géographique du Bureau central, le service météorologique américain bénéficie encore de la plus grande régularité qui caractérise les mouvements des bourrasques sur la portion du continent qu'il dessert.

Pour donner une idée de l'utilité pratique des prévisions de ce genre et des services qu'elles rendent journellement aux États-Unis, nous allons citer, d'après le rapport d'un officier chargé de

1. 140 stations météorologiques relevant directement de l'Office central et 240 appartenant à des observateurs volontaires échangeaient, en 1878, trois dépêches quotidiennes avec Washington pour la pression atmosphérique. Les observations rigoureusement simultanées sont faites chaque jour à 7 h. 35 m. du matin, à 4 h. 35 m. et à 11 h. du soir (temps moyen de Washington). Aussitôt reçues, elles sont transcrites sur des cartes synoptiques où l'on trace les isobares, et discutées de façon à permettre d'expédier télégraphiquement le temps probable du lendemain à 20 stations principales. Chaque station, à son tour, fait imprimer rapidement les prévisions, en tenant compte des circonstances locales. Expédiés dès le premier courrier du matin, les bulletins sont affichés dans 10 000 bureaux de poste. Un budget de 1 750 000 francs pourvoit aux dépenses de cette magnifique organisation.

l'inspection annuelle des stations météorologiques du *Signal Office*, quelques faits caractéristiques. Nous les empruntons à une notice publiée à ce sujet par M. Angot ¹.

A New-Haven (Connecticut), les habitants ont exigé que le bureau télégraphique restât ouvert toute la nuit, afin de recevoir assez tôt les probabilités du temps pour qu'elles soient publiées dans les journaux du matin. A Cape-May (New-Jersey), l'enquête constate que les prédictions de pluie et de mauvais temps permettent d'éviter chaque année, dans la construction des maisons, la perte d'une énorme quantité de travail et de matériaux. Le secrétaire de la chambre de commerce de Nashville (Tennessee) vient déclarer qu'avant d'expédier des marchandises par les rivières, les commerçants vont tout d'abord au bureau du *Signal Service* s'informer de la hauteur de l'eau et des chances de crue ou de baisse, afin de savoir si un transbordement sera nécessaire, ce qui augmenterait beaucoup les risques et le taux des assurances. La même personne, qui possède une grande exploitation rurale, ne fait faucher le foin, moissonner le blé, etc., que lorsque les indications du temps sont favorables. A Lynchburn (Virginie), l'un des grands centres pour la culture et la préparation du tabac, les manufacturiers considèrent les *probabilités* du temps fournies par le *Signal Office* comme de véritables *certitudes*. « Aussi, dit le rapport, se règlent-ils complètement sur elles pour exposer les feuilles de tabac à l'air ou

1. *Le service météorologique des États-Unis* (Revue scientifique, 1876, I).

les rentrer. Il sont unanimes à déclarer qu'ils peuvent ainsi prévenir maintenant des pertes énormes de marchandises et de main-d'œuvre. » A Memphis (Tennessee), les compagnies de chemins de fer et de transport consultent les bulletins du temps pour la direction des marchandises susceptibles d'être avariées par la pluie et les changements brusques de température. Un briquetier assure qu'en tenant compte des probabilités du temps il a quelquefois, en un seul jour, évité des pertes de 1000 à 1500 francs. Les personnes engagées dans l'industrie du coton accourent sans cesse au Bureau chercher des renseignements sur la température, la quantité de pluie tombée dans les districts cotonniers. Les habitants des bords du Mississipi, grâce aux avertissements du *Signal Service*, peuvent éviter en partie, non seulement les pertes matérielles que causent les inondations, mais aussi celles que ni l'argent ni la charité ne permettent de réparer : celles de vies humaines.

Chez un peuple aussi éminemment pratique que les Américains des États-Unis, il n'est pas étonnant que l'usage de consulter les dépêches météorologiques quotidiennes se soit si rapidement universalisé. Les moindres cités s'en servent, et l'on a calculé, dit M. Angot, qu'il suffirait de faire payer à chacune d'elles la somme de 1 fr. 50 pour prix du bulletin qui est affiché chaque jour au bureau de poste. Cette modique rémunération suffirait, et au delà, pour couvrir les dépenses du service. Nous avons vu plus haut que ces dépenses s'élèvent à 1 750 000 fr. par an. Nous n'en sommes pas là encore en Europe. Néanmoins les services rendus par les bulletins du temps,

les cartes météorologiques et surtout les avertissements des tempêtes télégraphiés aux ports maritimes sont considérables et dépassent de beaucoup, pécuniairement parlant, les sommes dépensées pour organiser et faire fonctionner le système. Au point de vue scientifique, et en vue des prévisions futures, son utilité n'est pas moindre.

Voyons maintenant si l'on peut espérer d'étendre la prévision du temps au delà d'un ou deux jours, et disons un mot des tentatives faites pour les avertissements à plus longue échéance.

IV

La prévision du temps à longue échéance.

Le système des avertissements du temps ou des prévisions à courte échéance, tel qu'il est pratiqué en Europe et en Amérique, est tout entier fondé, on vient de le voir, sur l'usage de la télégraphie électrique, employée, d'une part, à recueillir le plus grand nombre possible d'observations simultanées et à s'en servir pour construire des cartes synoptiques du temps; d'autre part, à réexpédier aux stations des télégrammes de prévision rédigés d'après la discussion des cartes. Cette discussion est elle-même basée sur le fait que, dans notre hémisphère nord, soit en Amérique, soit en Europe, les bourrasques se meuvent généralement de l'ouest à l'est, et que les vents s'y succèdent d'après la loi de rotation de Buys-Ballot. La vitesse de transmission télégraphique étant infiniment plus grande que celle du

mouvement de translation des perturbations, les prévisions peuvent devancer leur arrivée en une station donnée de tout le temps qui marque la différence de ces vitesses, c'est-à-dire d'un à deux jours. C'est la prévision à courte échéance. Peut-on obtenir davantage? Voici en fait la réponse à cette question, telle que la formulait, il y a quelques années, M. Scott : « Il n'y a pas longtemps, dit-il, qu'une personne me demanda de vouloir bien préparer, pour un journal récemment fondé, la prévision du temps pour une semaine à l'avance. Sur mon refus, elle me fit remarquer que l'amiral Fitz-Roy avait donné des prévisions pour trois jours à l'avance, et qu'actuellement nous devons être capables de doubler cette période. Mais cette personne ignorait que les prévisions de l'amiral n'obtinrent pas un succès suffisant, et que, par suite, elles durent être interrompues ¹. »

On a vu plus haut la raison de cette réserve : les réseaux météorologiques de la région ouest de l'Europe ne savent rien ou presque rien de la situation du temps sur l'océan Atlantique. Il faudrait qu'ils pussent s'étendre au large de cet océan, tout au moins qu'ils fussent en communication directe au sud-ouest avec les îles Açores, au nord avec les Farøer, l'Islande, le Groenland, à l'ouest même avec les Bermudes et Terre-Neuve. Des tentatives ont été faites dans ce sens à Terre-Neuve et aux Açores, mais sans être couronnées de succès. Depuis quelques années, un journal américain, le *New-York Herald*, envoie à ses correspondants de Paris et de

1. *Cartes du temps et avertissements de tempêtes.*

Londres des télégrammes ayant pour objet de signaler les tempêtes et bourrasques qui franchissent le littoral oriental de l'Amérique du Nord et paraissent devoir atteindre, au bout de quelques jours, le rivage opposé, c'est-à-dire les côtes européennes occidentales. Les annonces de ce genre sont à coup sûr précieuses, et l'on ne saurait trop féliciter le généreux et intelligent directeur de l'*Herald*, M. J. G. Bennett, de son initiative. Mais dans quelle mesure est-il permis de compter sur l'exactitude de ces prévisions à échéance déjà notablement longue? En nous basant sur les recherches faites à ce sujet par M. E. Loomis d'un côté, et de l'autre par le savant directeur de l'Institut danois, M. Hoffmeyer, voici la réponse qu'on peut faire à cette intéressante question. D'après le météorologiste américain, « quand les tempêtes de l'Amérique du Nord passent sur l'océan Atlantique, elles subissent généralement d'importants changements dans un petit nombre de jours, et sont fréquemment comme absorbées par d'autres tempêtes qui paraissent naître sur l'Océan, de sorte qu'on peut rarement suivre une tempête dans le cours de son passage sur l'Atlantique ¹ ». D'après M. Loomis, quand une dépression quitte les États-Unis, la probabilité qu'elle atteindra l'Angleterre est seulement de 1 contre 9 ; qu'elle produise une tempête sur les côtes des Iles Britanniques, de 1 contre 6, une fraîche brise de 1 contre 2.

Pour se rendre compte de l'importance des prévisions de provenance américaine, M. Hoffmeyer a étudié l'ensemble des dépressions observées pendant

1. *American Journal of Sciences and Arts.*

21 mois (septembre à novembre 1873, et décembre 1874 à mars 1876). Les 285 dépressions qui, pendant cette période, ont traversé la région comprise entre le 10° degré de longitude est et le 60° degré de longitude ouest (méridien de Greenwich), se subdivisent de la façon suivante :

- 23, soit 8 pour 100, proviennent des régions arctiques (baies de Baffin, détroit de Davis).
- 125, soit 44 pour 100, proviennent de l'Amérique du Nord et du Canada.
- 26, soit 9 pour 100, proviennent des régions tropicales (Açores jusqu'à Terre-Neuve).
- 106, soit 37 pour 100, proviennent du large de l'Atlantique, par segmentation.
- 5, soit 2 pour 100, se sont formées au large.

En résumé, 61 pour 100 des bourrasques provenaient du continent américain, et 39 pour 100 s'étaient formées en mer.

Sur les 285 perturbations, 145, soit environ la moitié, dépassaient le méridien de 10° O., c'est-à-dire avaient atteint l'Europe. Mais, sur ce dernier nombre, moins de la moitié (47 pour 100) avaient pu être observées en Amérique. Ainsi donc les avertissements de New-York ne peuvent annoncer qu'un peu moins de la moitié des tempêtes qui abordent les côtes européennes. En ce qui regarde la direction des trajectoires et les lieux menacés, la probabilité qu'une perturbation quittant les États-Unis se fera sentir sur l'Europe est de 1 contre 3 pour la Norvège, de 1 contre 4 pour les Iles Britanniques, de 1 contre 7 pour la France, de 1 contre 11 pour le Portugal.

Ce qui contribue grandement à la difficulté, c'est

la manière différente dont se comportent les dépressions dans leur parcours sur le continent américain, sur l'Océan et sur le continent européen. Dans la première partie de leur trajet, les aires de haute pression qui les précèdent ou les suivent communément, ainsi qu'on l'a vu, se déplacent aisément vers l'est, de sorte qu'en Amérique les anticyclones ne gênent point la marche des bourrasques. L'observation a montré qu'il n'en est pas de même sur l'Atlantique et en Europe; là les aires de haute pression ont une tendance marquée à se maintenir stationnaires, et il en résulte qu'elles arrêtent et refoulent les dépressions dans leur marche, les forçant soit à se segmenter en dépressions secondaires, soit à faire un détour plus ou moins long pour continuer leur route vers l'est. C'est l'incertitude de ces modifications qui ôte en grande partie aux prévisions américaines leur probabilité. Pour remédier à ces difficultés, M. Hoffmeyer pense qu'il faudrait étendre le réseau américain jusqu'aux Bermudes et relier au réseau européen, d'un côté les Açores, de l'autre les îles Farøer, l'Islande et la pointe méridionale du Groenland. Selon lui, la presque totalité des tempêtes passent assez près de l'une ou de l'autre de ces stations extrêmes pour révéler l'existence et l'intensité de la dépression. En joignant leurs indications sur les cartes quotidiennes du temps, on aurait la situation météorologique générale sur toute la surface de l'Atlantique nord, et le service américain pourrait formuler ses prévisions en vue de l'Europe avec une grande probabilité. Le jour où les communications télégraphiques demandées par le savant danois fonctionneront régulièrement, un grand pas

sera fait dans la voie de la prédiction du temps à longue échéance. Les dépenses que s'imposeraient les nations civilisées pour établir ces communications seraient sans doute largement compensées par les services qu'en tireraient le commerce et la navigation.

Si l'Amérique est mieux partagée que l'Europe occidentale au point de vue des prévisions que peut faire le *Signal Service* de Washington, ce sont surtout les États de l'Est et les ports de l'Atlantique qui profitent de cette situation privilégiée; au contraire, les États de l'Ouest et les ports du Pacifique éprouvent comme nous l'inconvénient de n'être pas avertis des bourrasques qui viennent toutes formées du large de cet océan. Il faudrait donc aussi, pour compléter le réseau des États-Unis, posséder sur le Pacifique nord un certain nombre de stations météorologiques reliées télégraphiquement aux côtes de Californie et du Mexique, par exemple. En attendant que ce desideratum soit réalisé, le *Signal Office* des États-Unis a pris l'initiative, grâce au zèle de son directeur, M. Albert Myer, de la publication quotidienne d'observations simultanées embrassant tout l'hémisphère nord de la terre. 500 stations environ, assez inégalement réparties sur cette vaste surface, échangent chaque jour une dépêche avec Washington; les observations sont faites au même instant physique, à l'heure qui correspond à 7 h. 35 m. du matin en temps moyen de l'observatoire de cette cité, par exemple, à midi 43 m. à Londres, à midi 53 m. à Paris, à 1 h. 33 m. à Rome, à 1 h. 49 m. à Vienne, à 2 h. 44 m. à Pétersbourg, à 6 h. 36 m. à Calcutta, à 10 h. 2 m. à Yedo. De cette façon, les cartes synop-

tiques, représentant l'hémisphère nord projeté sur l'équateur, sont bien des cartes simultanées; elles donnent à la fois les isobares, les courbes de la température de l'air, la force et la direction du vent, de sorte que d'un coup d'œil le météorologiste embrasse l'état réel de ces divers éléments, ou la véritable situation atmosphérique d'une moitié de la terre. Bien des lacunes sans doute existent encore dans ces précieux documents; mais on peut prévoir le moment où aucune contrée un peu importante, non seulement de l'hémisphère nord, mais du globe entier, ne restera en dehors de cet échange d'observations. Alors le but pratique de l'organisation de cet immense réseau, à savoir la prévision du temps, sera de plus en plus près d'être atteint. Pour qu'il en soit ainsi, il est vrai, il faudra que, portant leurs vues plus haut et plus loin que l'utilité immédiate, et profitant de cette abondance ininterrompue d'informations, les savants se préoccupent surtout d'en déduire les lois des mouvements de l'atmosphère. D'après le résumé, incomplet il est vrai, que nous avons présenté plus haut, des recherches déjà faites dans cet ordre d'idées, on entrevoit la possibilité de découvrir, parmi les phénomènes complexes qui ont leur siège dans l'enveloppe fluide de la planète, un certain ordre de succession dans l'espace et dans le temps.

Si cet espoir se réalise, ce ne sera plus seulement la prévision à quelques jours d'échéance, résultant uniquement de l'énorme supériorité de la vitesse de l'électricité sur celle des météores aériens, ce sera une prévision qui pourra embrasser toute une année peut-être, sinon jour par jour, du moins saison par

saison. On pourra dire alors, comme nous posions la question au début de ce chapitre, que dans telle région de la terre l'été de la prochaine année sera sec ou pluvieux, l'hiver rigoureux ou tempéré. En y joignant les prévisions déduites des échanges télégraphiques quotidiens, perfectionnées par la connaissance de plus en plus positive des lois de translation des aires de basse ou de haute pression, on aura alors un système complet d'avertissements du temps, susceptible de rendre à la civilisation les plus grands services.

Ce qui légitime *à priori* la possibilité d'un tel progrès de la météorologie, c'est la conviction que les phénomènes naturels, à la surface d'un corps soumis comme la terre à des lois astronomiques qu'on peut considérer comme constantes, et ne subissant dans sa constitution intime que des changements d'une grande lenteur, sont eux-mêmes assujettis à des lois et passent, à des intervalles plus ou moins longs, par des phases, sinon identiques, du moins ayant entre elles de grandes analogies. L'atmosphère oscille sans cesse, et sa mobilité rend bien difficile à saisir le caractère de ces oscillations. Mais il tend aussi sans cesse à reprendre son état d'équilibre, et il n'est pas interdit de penser qu'en étudiant de longues séries d'observations embrassant toute la surface du globe, on arrivera à reconnaître les maxima et les minima de ses oscillations, ainsi que leur périodicité. Au reste, à l'appui de cette opinion, que le lecteur sera tenté de trouver trop optimiste, nous citerons la conclusion suivante d'une conférence faite, il y a quelques années, par M. Mascart, sur la prévision du temps : « Il faut con-

sidérer, disait-il, l'atmosphère comme un *ensemble* dont les diverses parties sont dans un état de dépendance réciproque. Il ne semble pas que l'état moyen du globe ait changé d'une manière sensible depuis les temps historiques, de sorte que les phénomènes doivent se reproduire suivant certaines périodes et alterner d'une région à l'autre sur un même hémisphère et d'un hémisphère à l'autre. Ce sont les lois de ces oscillations qu'il faudrait connaître. Pour atteindre un but aussi élevé et donner à l'homme des moyens de se prémunir contre les redoutables effets des forces naturelles, ce n'est pas trop de la collaboration effective de toutes les nations civilisées, de toutes les marines du monde. »

FIN



TABLE DES FIGURES

Fig. 1. — Thermomètres centigrades avec leurs échelles graduées..	27
Fig. 2. — Échelles thermométriques.....	30
Fig. 3. — Thermomètres à maxima ou à minima de Rutherford...	31
Fig. 4. — Thermomètre à maxima de Negretti et Zambra.....	31
Fig. 5. — Thermomètre métallique de Regnier.....	33
Fig. 6. — Thermomètre métallique à cadran.....	33
Fig. 7. — Abri des thermomètres à l'observatoire de Montsouris...	35
Fig. 8. — Enregistreur thermométrique de Montsouris.....	30
Fig. 9. — Variation moyenne diurne de la température à Paris, d'après les observations de Bouvard, de 1816 à 1832...	41
Fig. 10. — Moyennes variations diurnes de la température en janvier à Leith, Padoue, Bruxelles, Göttingue, Halle et Chris- tiania.....	42
Fig. 11. — Moyennes variations diurnes de la température en juillet; zone boréale tempérée.....	43
Fig. 12. — Épaisseurs relatives des couches d'air traversées par les rayons solaires.....	45
Fig. 13. — Affaiblissement de l'intensité d'un faisceau solaire avec l'obliquité.....	46
Fig. 14. — Températures moyennes mensuelles dans les moyennes latitudes.....	51
Fig. 15. — Moyennes températures mensuelles dans les régions de la zone tropicale.....	51
Fig. 16. — Moyennes températures mensuelles dans les hautes lati- tudes.....	53
Fig. 17. — Rose thermométrique des vents pour Paris.....	61
Fig. 18. — Cuvette du baromètre Fortin.....	67
Fig. 19. — Échelle du tube barométrique; vernier.....	68
Fig. 20. — Installation du baromètre pour une observation en voyage.....	69
Fig. 21. — Baromètre à large cuvette.....	71
Fig. 22. — Baromètre à mercure pour la marine.....	71
Fig. 23. — Baromètre holostérique ou anéroïde, de Vidie.....	75
Fig. 24. — Baromètre enregistreur Salleron.....	77

Fig. 25. — Les variations barométriques diurnes, dans l'intervalle d'une semaine, d'après le tracé du baromètre enregistreur.....	81
Fig. 26. — Hauteurs moyennes mensuelles du baromètre. Latitudes moyennes.....	84
Fig. 27. — Hauteurs moyennes mensuelles du baromètre, dans les basses latitudes.....	85
Fig. 28. — Marches comparées de la température et de la pression barométrique observées à Boulogne-sur-Mer par Gambart, pendant la tempête du 24 au 25 décembre 1821..	90
Fig. 29. — Marches simultanées du baromètre et du thermomètre à Paris pendant les ouragans du mois de janvier 1843..	91
Fig. 30. — Évaporomètre Piche.....	97
Fig. 31. — Évaporomètre Delahaye de l'observatoire de Montsouris.	99
Fig. 32. — Psychromètre.....	103
Fig. 33. — Hygromètre à cheveu de Saussure.....	106
Fig. 34. — Hygromètre à cheveu de Monnier.....	107
Fig. 35. — Variations diurnes de la tension de la vapeur d'eau et de l'état hygrométrique, à Halle, en janvier.....	109
Fig. 36. — Variations diurnes de la tension de la vapeur d'eau et de l'état hygrométrique à Halle en juillet.....	110
Fig. 37. — Cristaux de givre.....	123
Fig. 38. — Cristallisations arborescentes des vitres à l'intérieur des appartements.....	124
Fig. 39. — <i>Cirrus</i> de Howard (<i>queues de chat</i> des marins).....	133
Fig. 40. — <i>Cumulus</i> de Howard (<i>balles de coton</i> des marins).....	134
Fig. 41. — <i>Stratus</i> de Howard.....	134
Fig. 42. — <i>Cumulo-cirro-stratus</i> de Howard, ou <i>Nimbus</i>	135
Fig. 43. — Ciel pommelé ou agglomération de <i>cirro-cumulus</i>	137
Fig. 44. — <i>Cirrus</i>	141
Fig. 45. — Formes cristallines de la neige, d'après Scoresby.....	150
Fig. 46. — Pluviomètre; vue extérieure.....	152
Fig. 47. — Pluviomètre; coupe.....	152
Fig. 48. — Pluviomètre décupleur de Tonnelot.....	153
Fig. 49. — Pluviomètre totalisateur d'Hervé-Mangon.....	154
Fig. 50. — Formation des courants aériens par l'inégalité de température des couches d'air.....	160
Fig. 51. — Rose des vents. Les trente-deux rumbs usités dans la navigation et la météorologie.....	162
Fig. 52. — Installation d'une girouette.....	167
Fig. 53. — Girouette de l'anémomètre Hervé-Mangon, enregistreur de la direction du vent.....	170
Fig. 54. — Anémomètre Salleron.....	171
Fig. 55. — Anémomètre à moulinet de Robinson.....	172
Fig. 56. — Diagrammes de l'anémomètre donnant la direction du vent et sa vitesse.....	173
Fig. 57. — Plate-forme du mât des anémomètres, à l'observatoire de Montsouris.....	174
Fig. 58. — Observatoire météorologique de Montsouris.....	177
Fig. 59. — Rose de la direction et de la fréquence relative des vents à Montsouris. — Année 1878-1879.....	178
Fig. 60. — Année moyenne.....	178

Fig. 61. — Ouragan de sable.....	199
Fig. 62. — Le tebbad dans les déserts de sable de l'Asie centrale..	203
Fig. 63. — Cyclone du 10 octobre 1780 aux Antilles.....	211
Fig. 64. — Cyclone des Antilles.....	215
Fig. 65. — Typhon à Hong-Kong.....	217
Fig. 66. — Ouragan du 11 janvier 1865 à Cherbourg.....	221
Fig. 67. — Marche du baromètre à l'intérieur des cyclones.....	225
Fig. 68. — Mouvements de rotation et de translation d'un cyclone sur chaque hémisphère.....	220
Fig. 69. — Trajectoires des cyclones, dans l'océan Atlantique nord et la mer des Antilles.....	230
Fig. 70. — Direction et intensité des vents à l'intérieur d'un cyclone.	235
Fig. 71. — Succession des vents pendant le passage d'un cyclone...	237
Fig. 72. — Un tornado au Sénégal.....	241
Fig. 73. — Carte des orages du 9 mai 1865, d'après M. Marié-Davy.	245
Fig. 74. — Isobares et vents à la surface de l'Europe, le 9 octobre 1878. Dépression au nord-ouest de l'Irlande.....	261
Fig. 75. — Trajet d'une bourrasque sur le nord de l'Europe. Iso- bares et vents, le 10 octobre 1878.....	261
Fig. 76. — Trajet d'une bourrasque sur le nord de l'Europe. Iso- bares et vents, le 11 octobre 1878.....	262
Fig. 77. — Isobares et vents, le 12 octobre 1878. Trajectoire de la bourrasque du 9 au 13 octobre.....	262

..... 101

..... 102

..... 103

..... 104

..... 105

..... 106

..... 107

..... 108

..... 109

..... 110

..... 111

..... 112

..... 113

..... 114

..... 115

..... 116

..... 117

..... 118

..... 119

..... 120

..... 121

..... 122

..... 123

..... 124

..... 125

..... 126

..... 127

..... 128

..... 129

..... 130

..... 131

..... 132

..... 133

..... 134

..... 135

..... 136

..... 137

..... 138

..... 139

..... 140

..... 141

..... 142

..... 143

..... 144

..... 145

..... 146

..... 147

..... 148

..... 149

..... 150

..... 151

..... 152

..... 153

..... 154

..... 155

..... 156

..... 157

..... 158

..... 159

..... 160

..... 161

..... 162

..... 163

..... 164

..... 165

..... 166

..... 167

..... 168

..... 169

..... 170

..... 171

..... 172

..... 173

..... 174

..... 175

..... 176

..... 177

..... 178

..... 179

..... 180

..... 181

..... 182

..... 183

..... 184

..... 185

..... 186

..... 187

..... 188

..... 189

..... 190

..... 191

..... 192

..... 193

..... 194

..... 195

..... 196

..... 197

..... 198

..... 199

..... 200

TABLE DES MATIÈRES

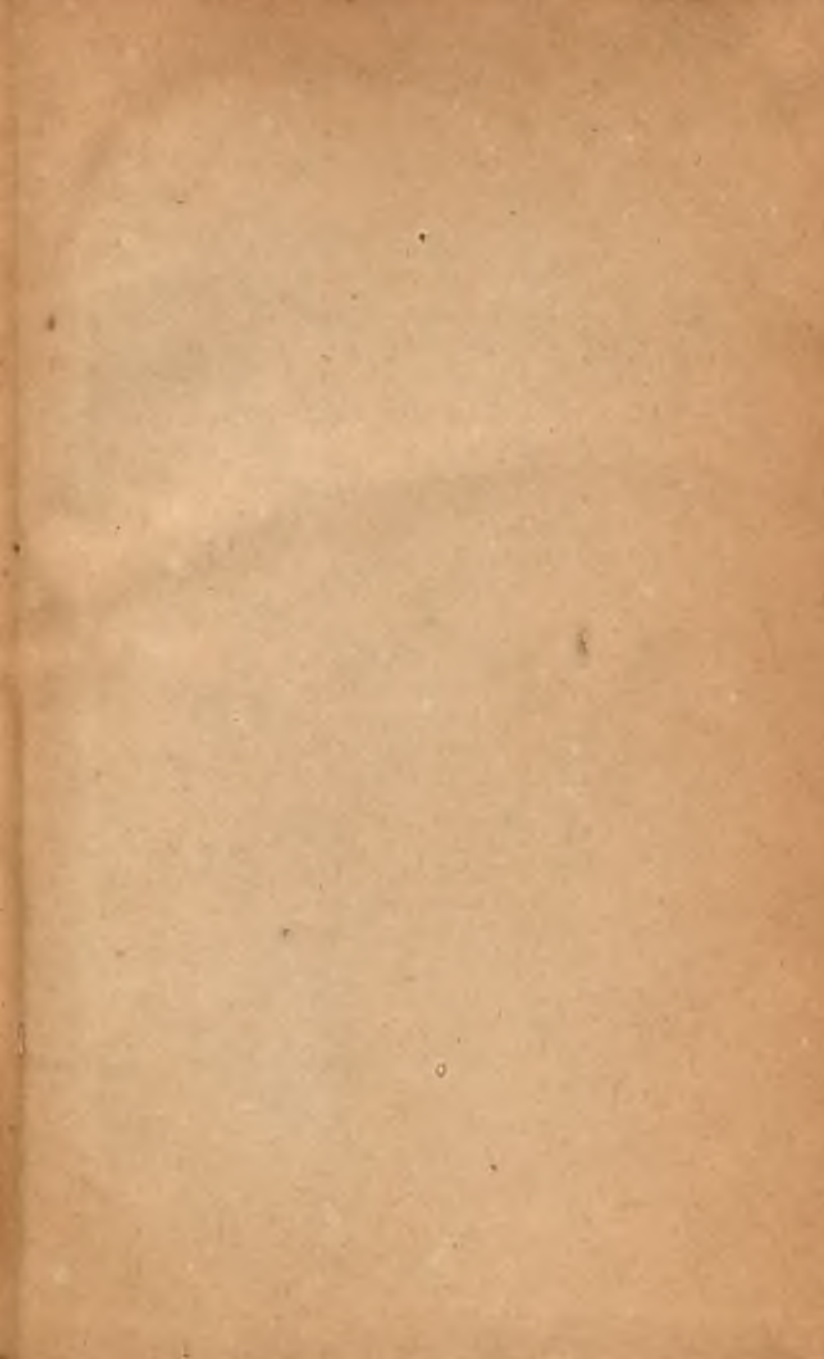
INTRODUCTION.....	v
CHAPITRE PREMIER. — SIGNES OU PRONOSTICS DU TEMPS.	1
I. — Les signes du temps d'après les anciens.....	1
II. — Signes et pronostics du temps tirés de l'aspect du ciel.....	11
III. — Pronostics du temps tirés des animaux et des plantes.....	18
CHAPITRE II. — LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LA TEMPÉRATURE.	21
I. — Les éléments du temps.....	21
II. — Origine de la chaleur atmosphérique. La radiation solaire.....	23
III. — Le thermomètre.....	26
IV. — Variations diurnes de la température de l'air.	39
V. — Température moyenne du jour, du mois, de l'année dans un lieu donné : ses variations.	49
VI. — Température des couches élevées de l'atmosphère.....	55
VII. — La température et les vents.....	59
CHAPITRE III. — LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.....	64
I. — Le baromètre; son emploi en météorologie..	64
II. — Variations diurnes, mensuelles, annuelles de la pression barométrique.....	78
III. — Variations irrégulières du baromètre.....	85
CHAPITRE IV. — LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : L'HUMIDITÉ DE L'AIR.....	93
I. — La vapeur d'eau dans l'air. — Évaporation...	93
II. — La vapeur d'eau dans l'air. — Hygrométrie.	101
III. — Variations hygrométriques diurnes, mensuelles, annuelles.....	108

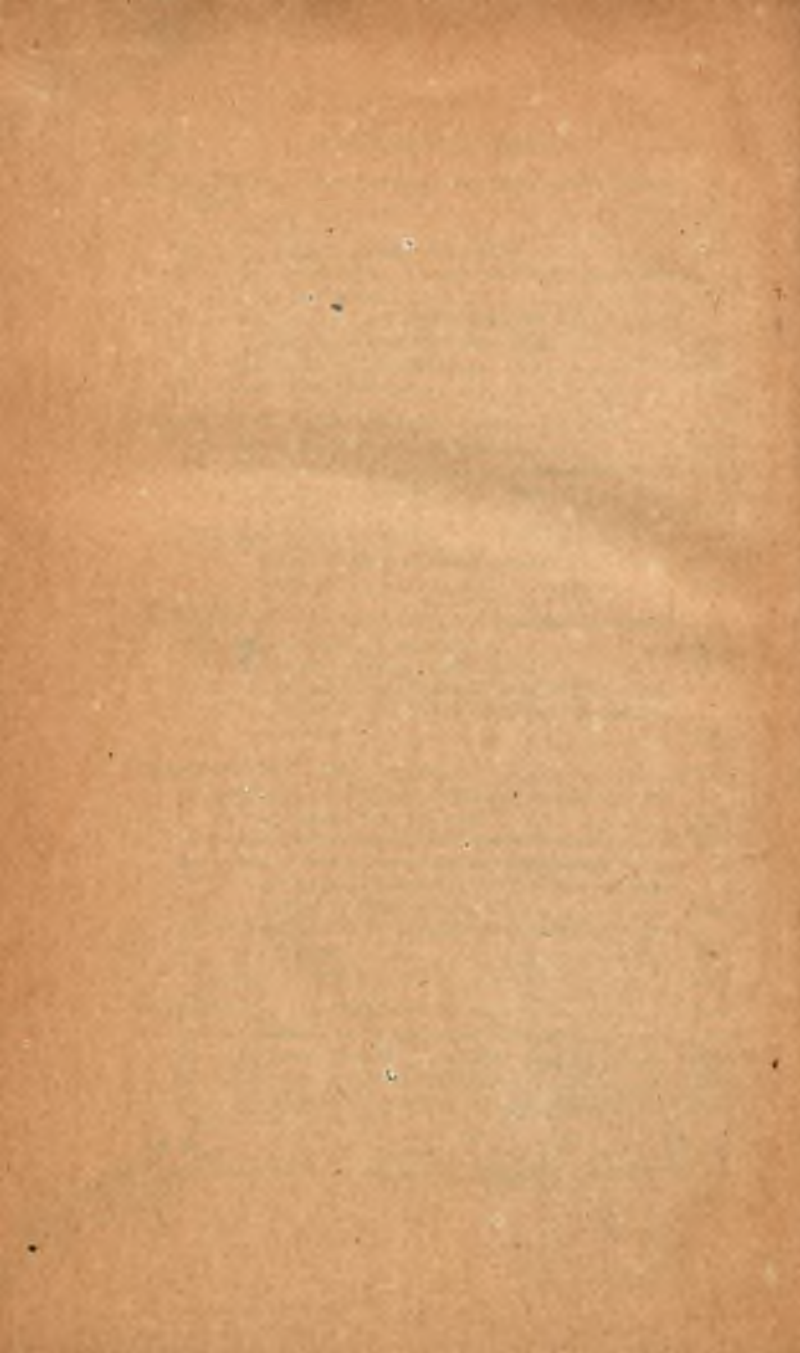
CHAPITRE V. — LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LES HYDROMÉTÉORES.....	115
I. — La rosée.....	115
II. — La gelée blanche. — Le givre.....	122
III. — Les brouillards. — Formation des brouillards et des nuages.....	125
IV. — Les nuages. — Classification des nuages selon leurs formes et leur structure.....	130
V. — La pluie. — La neige.....	143
VI. — Les pluviomètres.....	151
CHAPITRE VI. — LES ÉLÉMENTS DU TEMPS : LE VENT.....	157
I. — Direction et force du vent.....	157
II. — Girouettes, anémoscopes et anémomètres.....	164
III. — Variations périodiques du vent, diurnes, annuelles.....	175
IV. — Les brises de mer et les vents de terre. — Brises diurnes et nocturnes des pays alpestres.....	180
CHAPITRE VII. — LA CIRCULATION ATMOSPHÉRIQUE : LES VENTS PÉRIODIQUES, ALIZÉS ET MOUSSONS.....	183
I. — Vents périodiques et réguliers.....	183
II. — Vents singuliers et locaux : le mistral ; le föhn et le sirocco. — Vents du désert : le simoun ; le tebbad.....	196
CHAPITRE VIII. — LES TEMPÊTES.....	206
I. — Mouvements de translation et de rotation des tempêtes. Les cyclones.....	206
II. — Des cyclones dans les régions tropicales.....	210
III. — Les cyclones : symptômes précurseurs. — La pression à l'intérieur d'un cyclone. — Calme central et rotation des vents.....	222
IV. — Mouvements de translation et de rotation des cyclones.....	228
V. — Les tornados.....	239
CHAPITRE IX. — LA PRÉVISION DU TEMPS.....	248
I. — Problème de la prévision du temps.....	248
II. — Le baromètre et la prévision du temps.....	256
III. — Les cartes météorologiques.....	256
IV. — La prévision du temps à longue échéance.....	272



#18175

#18230





Biblioteka im. Hieronima
Łopacińskiego w Lublinie

324 105

1000072807

