

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES.

LA

MÉTÉOROLOGIE NOUVELLE

ET LA

PRÉVISION DU TEMPS.

PAR

M. R. RADAU.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE,
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESSION DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55

1883

LA
MÉTÉOROLOGIE NOUVELLE.
ET LA
PRÉVISION DU TEMPS.

OUVRAGES DE M. R. RADAU.

- Progrès récents de l'Astronomie stellaire.** In-18 jésus;
1876 1 fr. 50 c.
- Les Observatoires de montagne (avec figures dans le texte).**
In-18 jésus; 1876. 1 fr. 50 c.
- La Lumière et les climats.** In-18 jésus; 1877. 1 fr. 75 c.
- Les Radiations chimiques du Soleil.** In-18 jésus; 1877.
. 1 fr. 50 c.
- L'Actinométrie.** In-18 jésus; 1877. 2 fr.
- La Photographie et ses applications scientifiques.** In-18 jésus;
1878 1 fr. 75 c.
- Constitution intérieure de la Terre.** In-18 jésus; 1880.
. 1 fr. 50 c.
- Le rôle des vents dans les climats chauds; la pression barométrique et les climats des hautes régions.** In-18 jésus;
1880 1 fr. 50 c.
- Tables barométriques et hypsométriques pour le calcul des hauteurs, précédées d'une *Instruction*.** Nouveau tirage;
1881 1 fr. 25 c.
- La Météorologie nouvelle et la Prévision du temps.** In-18 jésus;
1883 1 fr. 75 c.
- Les Vêtements et les Habitations dans leurs rapports avec l'atmosphère.** In-18 jésus; 1883. 1 fr. 75 c.
-
- Étude sur les formules d'approximation qui servent à calculer la valeur numérique d'une intégrale définie.** In 4°;
1881. 3 fr.
- Travaux concernant le problème des trois corps et la théorie des perturbations.** Grand in-8°; 1881. 1 fr. 50 c.
- Recherches sur la Théorie des Réfractions astronomiques.**
In-4°; 1882. 5 fr.

ACTUALITÉS SCIENTIFIQUES

LA

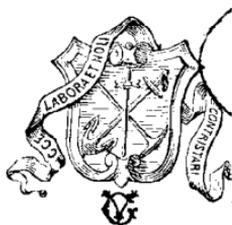
MÉTÉOROLOGIE NOUVELLE

ET LA

PRÉVISION DU TEMPS,

PAR

M. R. RADAU.



PARIS,

GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR LIBRAIRE

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,

Quai des Augustins, 55.

1883

(Tous droits réservés.)

LA
MÉTÉOROLOGIE NOUVELLE
ET LA
PRÉVISION DU TEMPS

De même que les villes se transforment avec les années et deviennent plus commodes et plus sûres à la fois, en faisant rayonner du centre aux extrémités ces admirables services qu'un ingénieux écrivain a nommés les organes des cités ; de même nous voyons le globe, notre commune demeure, devenir peu à peu plus habitable, à mesure que se nouent les vastes réseaux qui facilitent les transports, le commerce incessant des esprits et la transmission instantanée des volontés. La prédiction du temps, l'annonce des tempêtes, constitue un service international de cet ordre : le télégraphe devance l'orage qui traverse les mers et engage les navires à chercher un abri. Cette organisation ne date que d'hier, et elle est encore trop incomplète, parce que les hommes se décident difficilement à faire la dépense des semailles et du labour quand la moisson est à longue échéance.

En effet, il s'agit ici d'une de ces grandes choses qui demandent un long temps d'incubation et beau-

coup de sacrifices avant de donner les résultats dont elles sont capables. La Météorologie est restée pendant des siècles une Science sans application pratique, parce que le problème des mouvements de l'atmosphère est un des plus complexes qu'il y ait et l'un de ceux qui exigent le concours d'une armée de collaborateurs. La persévérance des observateurs s'est souvent lassée autrefois parce qu'elle n'était soutenue par l'espoir d'aucune découverte. On avait d'abord cru qu'en accumulant les observations journalières dans un même lieu, on finirait par y démêler des périodes assez régulières pour qu'il devînt possible de fixer le retour de tel phénomène à une date éloignée. Mais, en constatant que ces entassements de chiffres restaient stériles, que les moyennes seules revenaient avec régularité, et que les perturbations ne paraissaient obéir à aucune loi, on s'est découragé et le travail a été arrêté.

Il y a seulement vingt-cinq ans que l'illustre Biot, dans une mémorable séance de l'Académie des Sciences, crut pouvoir prononcer une condamnation formelle des établissements météorologiques en affirmant que, « par le manque d'un but spécial et par la nature de leur organisation, ils ne pouvaient rien produire, sinon des masses de faits disjoints, matériellement accumulés, sans aucune destination d'utilité prévue, soit pour la théorie, soit pour les applications. » Or, déjà le jour était proche où la Météorologie, changeant tout à coup de méthode et de procédés, devait prendre rang

parmi les Sciences appliquées, auxquelles est réservée la sollicitude des hommes d'État.

Cette évolution ne s'est pas, toutefois, accomplie sans quelque lenteur ni sans lutte. C'est que, même après avoir entrevu la possibilité de la prédiction du temps, on se rendait difficilement compte de toute la portée d'une pareille innovation. On n'a pas toujours présente à l'esprit toute l'étendue de l'action destructive des météores, et l'on ne se dit pas que la grandeur des pertes pourrait justifier de fortes dépenses pour les études qui nous fourniront le moyen de lutter contre les fléaux. Quand les journaux annoncent un désastre, — incendie, inondation, naufrage, — tout de suite il y a un magnifique élan de la charité publique, l'argent afflue de tous côtés. Mais, dans ces cas, l'imagination est frappée, elle vous représente vivement les souffrances qu'il s'agit de soulager, et l'urgence des secours ne laisse pas le temps à la réflexion de contrecarrer le premier, le bon mouvement. Au contraire, lorsqu'il s'agit de dangers lointains, l'appel ne s'adresse plus au sentiment, mais à la froide raison ; la lutte contre un péril abstrait n'a rien qui passionne, et l'incertitude du succès refroidit le zèle de ceux qui disposent des destinées de la Science.

Pour la France seulement, les pertes causées chaque année à la fortune publique par le feu, la grêle, la gelée, les orages et les inondations, les épizooties, varient de 200 à 400 millions de francs. Les pertes résultant de la mortalité du bétail et

celles qui sont occasionnées par les incendies se reproduisent avec une certaine régularité ; on les évalue, en moyenne, à environ 30 millions et 40 millions par an. Au contraire, l'action destructive des météores se manifeste d'une manière assez capricieuse : de 1873 à 1877, le chiffre des pertes attribuées à la grêle varie de 47 à 152 millions ; la part de la gelée varie de 15 à 247 millions ; celle des inondations, de 6 à 150 millions. Ces chiffres donneront au moins une idée de l'importance relative des fléaux (1). Pour la même période, le chiffre moyen des naufrages et accidents de mer est de 280 par an, et, une fois sur deux, il s'agit de navires perdus ; je pense qu'on ne sera pas loin de la vérité en évaluant le dommage matériel à 20 ou 30 millions. Pour l'ensemble de toutes les marines, le chiffre des pertes est environ dix fois plus fort, et l'on peut dire qu'en moyenne il se perd, chaque année, 1 ou 2 navires sur 100.

En méditant ces chiffres, on comprendra sans peine que les avertissements météorologiques destinés aux ports et à l'agriculture, s'ils contribuent tant soit peu à diminuer le nombre des sinistres, constituent assurément un service des plus importants.

(1) *Annuaire statistique de la France*, 1880.

I

Les premières tentatives. — Borda. — Le Verrier.

Les affaires humaines sont tellement subordonnées aux caprices du temps, que l'idée de demander à la Science le moyen de les prévoir a dû se présenter de bonne heure aux esprits pratiques. Et, de fait, les notes laissées par Lavoisier, et qui ont été récemment publiées, prouvent que ce grand esprit, aux vues lointaines, s'était déjà sérieusement préoccupé de l'organisation d'un système d'observations simultanées qui devaient conduire à la solution du problème (1).

Lavoisier commence par rappeler une tentative qui avait été faite par Borda et qui constitue le premier essai de *Météorologie comparée* : il avait fait observer, pendant quinze jours, aux mêmes heures, des baromètres placés aux extrémités de la France, et la discussion des observations l'avait amené à soupçonner l'existence d'une corrélation entre la force, la direction des vents et les variations du baromètre notées dans un grand nombre de lieux éloignés les uns des autres. Frappé de l'importance des résultats qu'on pourrait obtenir en suivant le même plan, Borda proposa à quelques membres de l'Académie d'entreprendre en commun un travail

(1) *Œuvres* de Lavoisier, T. III, p. 759-771.

plus étendu sur le même objet. Le premier point était d'établir, en un grand nombre de stations du globe, des baromètres exacts et comparables entre eux; il y eut à ce sujet plusieurs conférences auxquelles assistèrent, avec Lavoisier, le chevalier d'Arcy, Vandermonde, Laplace, Montigny et d'autres académiciens (1). Un certain nombre de baromètres furent même distribués, et, « quand on en a lu la description, dit M. Dumas, l'éditeur des *Œuvres* de Lavoisier, il n'est pas difficile de s'assurer que quelques châteaux possédaient encore, il y a peu d'années, des instruments donnés par lui à cette occasion ».

Une autre note, où il est question de « règles pour prédire le changement de temps d'après les variations du baromètre », se termine par les réflexions suivantes : « La prédiction des changements qui doivent arriver au temps est un art qui a ses principes et ses règles... Les données nécessaires pour cet art sont : l'observation habituelle et journalière des variations du mercure dans le baromètre, la force et la direction des vents à différentes élévations, l'état hygrométrique de l'air. Avec toutes ces données, il est presque toujours possible de prévoir, un ou deux jours à l'avance, avec une assez grande probabilité, le temps qu'il doit faire; on pense même qu'il ne

(1) Le chevalier d'Arcy étant mort en 1779, la tentative de Borda doit être antérieure à la campagne entreprise de 1781 à 1792 par la Société météorologique palatine.

serait pas impossible de publier, tous les matins, un journal de prédictions qui serait d'une grande utilité pour la société. »

En 1852, les fondateurs de la Société météorologique de France disaient, dans la circulaire qu'ils adressaient aux physiciens : « Avant peu, l'Europe entière sera sillonnée de fils métalliques qui feront disparaître les distances et permettront de signaler, à mesure qu'ils se produiront, les phénomènes atmosphériques et d'en prévoir les conséquences les plus éloignées. » Cinq ans auparavant, dans un Mémoire inséré au *Journal américain des Sciences et des Arts*, Redfield avait proposé l'application du télégraphe électrique à l'étude de la propagation des tempêtes; il paraît même qu'à partir de 1850, des essais pratiques ont été faits aux États-Unis dans cette direction; la guerre de sécession, par malheur, arrêta ces tentatives. On voit que l'idée de cette nouvelle application du télégraphe était dans l'air; mais il fallut un gros événement pour qu'elle devînt 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 proche en proche sur une vaste étendue. Invité par le maréchal Vaillant à faire une enquête sur les

circonstances du phénomène, M. Le Verrier adressa une circulaire aux météorologistes de tous les pays, les priant de lui transmettre tous les renseignements qu'ils auraient pu recueillir sur l'état de l'atmosphère pendant les journées du 12 au 16 novembre. En réponse à cette circulaire, on reçut plus de deux cent cinquante documents, dont la discussion montra 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 16 février 1855, M. Le Verrier soumit à l'empereur le projet d'un vaste réseau météorologique qui devait fournir les éléments d'un service régulier d'avertissements maritimes, et trois jours après, le 19, il put déjà présenter à l'Académie des Sciences une carte de l'état atmosphérique de la France d'après les observations reçues le même jour, à 10^h du matin (1). L'organisation du réseau français était à peu près terminée en 1856; treize stations adressaient chaque jour un télégramme météorologique à l'Observatoire de Paris, onze autres expédiaient leurs observations par la poste. Bientôt aussi les pays voisins commencèrent à contribuer à ces envois réguliers. Vers la fin de l'année 1857, on décida d'insérer ces documents dans le *Bulletin interna-*

(1) Cette carte avait été dressée par M. E. Liais, alors chef des travaux météorologiques à l'Observatoire de Paris.

tional, publication qui devint quotidienne à partir du 1^{er} janvier 1858, et qui paraît régulièrement depuis cette époque.

Ces trois années marqueront dans l'histoire de la Météorologie. Quelles qu'aient été les premières origines et la filiation des idées qui ont pris corps à cette époque, il faut convenir que c'est Le Verrier qui a vraiment fondé la Météorologie télégraphique. Il a fallu sa rare énergie et l'indiscutable autorité de sa parole pour vaincre les préjugés, l'indifférence, l'inertie, tous ces obstacles sans nombre que toute innovation rencontre sur son chemin. Il a retracé lui-même l'histoire de ses efforts et de ses luttes dans un écrit qui n'a reçu qu'une publicité très restreinte (1), mais dont nous trouvons de nombreux extraits dans une intéressante étude de M. Brault, intitulée : *Le Verrier, météorologiste* (2). On l'y voit, au milieu d'entraves et d'ennuis de toute sorte, avançant à pas lents. « Je n'avais songé, dit-il, qu'aux difficultés inhérentes à la question scientifique, sans prévoir les embarras de toute nature et les obstacles qu'on nous a sans cesse opposés et contre lesquels, aujourd'hui encore, il nous faut lutter chaque jour. » Et il ajoute « qu'en disant ces choses, son but est de faire comprendre, à ceux qui ne s'en doutent guère et qui ne voient

(1) *Historique des entreprises météorologiques de l'Observatoire*, in-4°.

(2) *Annales du Bureau central météorologique de France*, année 1879, T. I.

que les résultats d'une organisation, de combien d'entraves les ennemis de tout progrès ont toujours soin de l'entourer et à quel prix on peut espérer en triompher. » Peut-être bien que l'humeur acariâtre et les façons impérieuses de l'illustre astronome n'ont pas toujours été étrangères aux complications où il se débattait; cependant, les résistances passives qui usent les forces des inventeurs sont un phénomène trop ordinaire pour qu'il y ait lieu de s'étonner de ses plaintes.

Le Verrier affirme que, dès l'année 1857, il avait proposé au ministre de la marine de se servir du réseau météorologique établi pour suivre les tempêtes à la surface de l'Europe et prévenir les ports de l'approche du fléau; diverses causes, et surtout les hésitations qu'il rencontra au sein d'une Commission nommée pour s'occuper de cette affaire, retardèrent, nous dit-il, la mise à exécution de son projet.

Les premiers essais d'avertissement des ports eurent lieu en 1860. Dans une lettre, adressée à l'astronome royal sir George Airy, Le Verrier expose ses vues sur cet objet et demande la coopération de l'Angleterre: « Signaler un ouragan dès qu'il apparaîtra en un point de l'Europe, le suivre dans sa marche au moyen du télégraphe et informer en temps utile les côtes qu'il pourra visiter, tel devra être le dernier résultat de l'organisation que nous poursuivons. Pour atteindre ce but, il sera nécessaire d'employer toutes les ressources du réseau

européen et de faire converger les informations vers un centre principal d'où l'on puisse avertir les points menacés par la progression de la tempête. » En 1857, les stations étrangères qui envoyaient des informations à l'Observatoire de Paris n'étaient encore qu'au nombre de cinq (Bruxelles, Genève, Madrid, Rome, Turin); mais le réseau dont elles formaient les premières mailles s'étendit rapidement et couvrit bientôt toute l'Europe. Les documents qui s'accumulaient ainsi étaient soumis à une discussion de plus en plus approfondie, surtout depuis que le service météorologique avait été confié à M. Marié-Davy, et, dans le *Bulletin* du 23 novembre 1863, on trouva, pour la première fois, une carte synoptique de l'état de l'atmosphère à la surface de l'Europe.

Les « cartes du temps » sont aujourd'hui familières à tout le monde, beaucoup de journaux ayant pris l'habitude de les reproduire. Ce qui s'y voit de plus caractéristique, ce sont les courbes appelées *isobares* ou lignes d'égale pression : elles réunissent les points où le baromètre atteint le même niveau. Des flèches empennées y indiquent la direction et la force des vents; on y inscrit aussi la température, et des signes de convention représentent l'état du ciel aux diverses stations. C'est par l'étude de ces cartes qu'on arrive, ainsi que nous l'expliquerons, à prévoir les perturbations qui menacent nos côtes.

II

La Météorologie pratique en Angleterre et en Amérique.

En Angleterre, les premiers essais d'avertissement ont été faits en 1861. Déjà, à la réunion de l'*Association britannique pour l'avancement des Sciences* à Aberdeen, en 1859, une résolution avait été adoptée en faveur de l'organisation d'un service de cette nature. Un mois plus tard, la perte du *Royal Charter*, sur la côte d'Anglesey, vint fournir un puissant argument aux partisans du service projeté. Au commencement de l'année 1862, le système des avertissements, tel qu'il avait été conçu par l'amiral Fitzroy, se trouvait définitivement établi.

Le succès ne répondit pas d'abord à l'attente du public ; c'est que les avis étaient formulés d'une manière trop vague. L'amiral, lorsqu'il signalait une tempête, entendait qu'elle pouvait arriver pendant les soixante-douze heures suivantes ; les signaux, arborés le matin, étaient amenés le soir, mais l'avertissement devait compter pour trois jours, et si, dans l'intervalle, la situation s'améliorait, il n'y avait pas moyen d'annoncer ce revirement aux marins qui avaient été inquiétés par une fausse alerte. Après la mort de l'amiral Fitzroy, survenue en 1865, son successeur, M. Robert H. Scott, a réorganisé le service météorologique sur un plan

plus rationnel. On n'annonce plus que les tempêtes complètement déclarées, et les signaux ne sont amenés que lorsque tout danger a disparu. Aussi le succès des avertissements est-il devenu plus satisfaisant.

Comme les bourrasques se transportent en général de l'Ouest à l'Est, il est clair que les pays qui forment la rive orientale de l'Atlantique, — les îles Britanniques, la France, le Portugal, — sont beaucoup plus exposés que le reste de l'Europe à être surpris par les gros temps. Une des conséquences de cette situation, c'est que les avertissements que le *Meteorological Office* de Londres peut envoyer à Hambourg, par exemple, sont en général plus sûrs que ceux qu'il expédie aux côtes anglaises. Au contraire, la côte atlantique des États-Unis est admirablement située pour être avertie à temps de l'approche d'un danger qui vient de l'Ouest, car les dépêches que reçoit le Bureau central de Washington permettent souvent de suivre un tourbillon, pour ainsi dire, d'étape en étape, pendant sept ou huit jours avant le moment où la côte peut être menacée. Aussi n'a-t-on pas hésité, aux États-Unis, à donner à la télégraphie météorologique un développement en rapport avec les services qu'elle est appelée à rendre. La subvention que le gouvernement accorde au *Signal Service* s'élève à 1 250 000^{fr} par an (et ce budget ne comprend pas la solde des employés), tandis que les fonds dont dispose le *Meteorological Office* de Londres ne

dépassent pas (ou du moins ne dépassaient pas, il y a quelques années) 250 000^{fr.}.

Le terrain était d'ailleurs admirablement préparé, aux États-Unis, par le vaste réseau d'observations que l'Institution smithsonienne y avait organisé depuis 1849, en vue d'une étude systématique du climat de l'Amérique du Nord, étude dont les résultats généraux ont été résumés, sous forme graphique, dans un atlas publié par l'Institution. Elle continue aujourd'hui de soumettre à une discussion approfondie les données qui lui sont fournies par le service des signaux.

Ce fut au mois de février 1870 qu'un acte du Congrès chargea du soin des observations météorologiques et de l'annonce des orages le corps des télégraphistes militaires (*Signal Service U. S. Army*). L'organisation du service fut aussitôt commencée par le général Albert J. Myer, qui l'a dirigé jusqu'à sa mort (août 1880), et qui en a fait le service le plus parfait de ce genre qui existe actuellement (1). On en trouvera la description détaillée dans l'intéressant ouvrage que MM. André et Angot ont consacré aux Observatoires de l'Europe et de l'Amérique (2); je me bornerai ici à en indiquer les points principaux.

Tout le personnel du *Signal Service* appartient

(1) Le chef actuel est le général Hazen.

(2) *L'Astronomie pratique et les Observatoires en Europe et en Amérique*, par C. André et A. Angot. IV^e partie.

à l'armée. Les chefs des différentes sections du bureau central à Washington sont des officiers de grades divers; dans les autres stations, le chef est un sergent, qui a sous ses ordres des *assistants* simples soldats. Ce sont ou des soldats sortis des rangs, ou des civils qui ont signé un engagement de cinq ans; les uns et les autres, avant d'être admis dans le *Signal Service*, passent un examen préliminaire, à la suite duquel ils sont envoyés à l'École de télégraphie militaire du Fort Whipple. En sortant de l'École, ils sont dirigés comme assistants sur les stations; puis, après un certain temps de service, ils peuvent être admis à suivre des cours plus élevés qui les mettent à même de gagner le grade de sergent. Grâce à ce mode de recrutement, la régularité du service est assurée, et l'on a trouvé le moyen d'utiliser, d'une manière plus fructueuse, le corps des télégraphistes militaires, qui existait depuis longtemps.

Le nombre des stations disséminées sur le vaste territoire de l'Union est de plus de cent, auxquelles s'ajoutent douze stations au Canada, et une vingtaine de « stations de rivière », confiées à de simples particuliers, qui se chargent de noter la hauteur de l'eau et l'état du ciel. Toutes ces stations, dont le nombre va sans cesse en augmentant, sont reliées par le télégraphe au bureau central de Washington. En outre, on reçoit par la poste les observations d'un certain nombre de stations de l'Amérique anglaise et des Antilles. Quelques-unes de ces sta-

tions météorologiques sont établies à des niveaux très élevés (¹), comme celle du Mont Washington (1916^m), celle de Santa-Fé (2090^m) et celle de Pike's-Peak, dans le Colorado (4330^m).

Les observations qui incombent à chaque station sont de deux sortes. Les unes, dites observations télégraphiques, doivent être faites trois fois par jour et partout au même instant (7^h 35^m du matin, 4^h 35^m et 11^h du soir, temps moyen de Washington); elles sont transmises par le télégraphe à Washington, pour servir de base à la prévision du temps. Les autres, dites observations régulières, doivent être faites quatre fois par jour (à 7^h du matin, à midi, à 2^h et à 9^h du soir, temps moyen du lieu); elles sont relevées, avec les observations télégraphiques, à la fin de chaque semaine, et expédiées par la poste au bureau central, qui se charge de les publier. A la fin de chaque mois, on fait le relevé général et la moyenne du mois, et l'on trace les courbes de toutes les observations.

Les observations télégraphiques sont envoyées,

(¹) En Italie, il existe cinq observatoires de montagne, établis à des niveaux compris entre 2000^m et 2600^m : ce sont les observatoires du Simplon, du petit Saint-Bernard, du grand Saint-Bernard, du Stelvio, du col de Valdobbia. En France, nous aurons bientôt, en dehors des observatoires du Puy-de-Dôme et du Pic du Midi, ceux du Semnoz (près d'Annecy), du Ballon de Servance (Vosges), du mont Ventoux (Vaucluse), de l'Aigoual (Cévennes), du mont Mézenc (entre la Haute-Loire et l'Ardèche).

non pas directement à Washington, mais à d'autres stations qui les centralisent et les expédient dans plusieurs directions. De plus, les stations qui se trouvent sur le parcours des dépêches, doivent les saisir au passage sans les arrêter (en écoutant le bruit de l'armature d'un électro-aimant placé dans le circuit). Grâce à ces dispositions ingénieusement combinées, il ne faut qu'un peu plus d'une heure pour mettre le bureau central, ainsi que les autres stations, en possession des éléments qui serviront à la rédaction du bulletin général et d'une carte du temps. Les cartes et les bulletins sont multipliés par décalque ou par une presse à imprimer, puis transmis aux journaux ou affichés dans des endroits fréquentés. Il reste alors à mettre au courant la grande carte du temps qui demeure affichée dans le vestibule du bureau. Cela se fait en orientant une petite flèche que porte une épingle enfoncée à la place de chaque station, et en accrochant à la même épingle un disque en carton qui indique l'état du ciel, et une bande de papier-porcelaine où sont inscrits quatre nombres (vitesse du vent, pression, température, humidité). Les *synopsis* (résumés de la situation) et les *probabilités*, établies par le bureau central à l'aide de l'ensemble des observations et transmises aux stations par le télégraphe, sont ensuite portées à la connaissance du public comme les cartes et les bulletins rédigés par les stations elles-mêmes. — Dans les stations situées au bord de la mer ou des grands lacs, des signaux d'alarme

sont arborés, en cas de temps dangereux, sur un ordre émané de Washington.

La carte des observations du matin, dressée par les officiers du bureau central, et imprimée aussitôt, est expédiée par le train qui part à midi de Washington; les cartes des deux autres observations ne s'impriment que le lendemain matin. En même temps que les cartes, on imprime les synopses et les probabilités qui s'en déduisent. Le public se trouve ainsi peu à peu initié à l'esprit de la méthode; il s'intéresse à ces travaux qui se font pour ainsi dire sous ses yeux, et l'on forme des adeptes.

Tous les mois, le *Signal Service* publie un atlas où sont réunis tous ces documents; mais les prévisions y sont accompagnées de l'exposé des faits qui les ont suivies. Chaque prévision étant représentée par un nombre qui en indique le degré d'exactitude, la moyenne de ces nombres, qui exprime la proportion des pronostics vérifiés, atteint quelquefois 80 pour 100.

Afin de répandre plus vite encore les renseignements utiles dans toute l'étendue de l'Union, des bulletins du temps et des avertissements sont maintenant distribués et affichés, chaque matin, dans plus de 6000 bureaux de poste. Pour cela, on a organisé un certain nombre de stations centrales, munies d'une presse à imprimer, qui reçoivent de Washington les pronostics déduits de l'observation de 11^h du soir, en même temps

qu'un bulletin spécial, rédigé en vue des besoins de la population à laquelle il s'adresse, — *Bulletin des fermiers* pour les stations agricoles de l'intérieur, *Bulletin maritime* pour les côtes. Depuis 1874, le *Signal Service* publie aussi un bulletin international quotidien, qui fait connaître l'état de l'atmosphère dans tout l'hémisphère nord, d'après les observations simultanées effectuées à 7^h 35^m du matin, temps moyen de Washington, (12^h 53^m, temps de Paris) dans trois cent dix-sept stations en dehors de toutes celles des États-Unis (1).

En Amérique, on le voit, la Météorologie est entrée dans une voie tout à fait pratique. Les observations sont peut-être plus nombreuses que précises; mais, comme l'a fait remarquer Le Verrier, les grands édifices se bâtissent avec des pierres, non avec des diamants. Le public se passionne de plus en plus pour ces travaux, dont il peut comprendre la portée. Les Compagnies des chemins de fer s'y associent dans une certaine mesure. Les rapports annuels du chef du *Signal Service* prouvent que l'utilité pratique des pronostics est universellement appréciée. A Cape-May (New-Jersey), où toutes les maisons sont en bois, une quantité considérable de travail et de matériaux, et

(1) En comptant les envois des trois cent dix-sept stations étrangères, ceux des observateurs volontaires, des médecins militaires de la marine, etc., le nombre des envois d'observations reçus chaque jour par le Bureau central de Washington s'élevait, en 1877, à 1351.

surtout de peinture, est épargnée chaque année, grâce à l'annonce du mauvais temps. Les propriétaires de navires d'Oswego (port du lac Ontario) déclarent que les capitaines qui ont profité des avertissements ont pu faire un ou deux voyages de plus que ceux qui n'en tenaient pas compte, et qu'ils ont économisé une partie des frais d'assurances. A leur tour, les Compagnies d'assurances ont pu se servir des renseignements authentiques publiés par le *Signal Service* pour réduire à néant les allégations d'un armateur malhonnête qui attribuait à un orage imaginaire la perte d'un bateau qu'il avait assuré au-dessus de sa valeur et qu'il avait fait sombrer exprès. — Beaucoup de fermiers règlent maintenant leurs cultures d'après les bulletins du service des signaux. En Virginie, les manufacturiers attendent ces bulletins pour savoir s'ils peuvent exposer les feuilles de tabac en plein air, et ils évitent ainsi de grandes pertes; les Compagnies de transports les attendent pour expédier des marchandises susceptibles d'être avariées par la pluie ou les brusques changements de température. Enfin, les riverains du Mississipi et des autres grands fleuves sont heureux d'être au moins avertis d'avance des crues et des menaces d'inondations.

Pendant que la télégraphie météorologique se développait ainsi aux États-Unis, elle ne restait point stationnaire dans les autres pays. En Hollande, M. Buys-Ballot organisait un réseau ayant Utrecht

pour centre. En Allemagne, l'Observatoire maritime (*Seewart*) de Hambourg se chargeait de centraliser le service des avertissements. Il n'est pas jusqu'à l'Australie qui n'ait voulu avoir son réseau de stations, communiquant entre elles par le télégraphe, et fournissant les éléments d'une carte quotidienne du temps (ce service a été inauguré en 1877). La France ne pouvait pas rester en arrière de ce mouvement, après en avoir donné l'impulsion.

III

Le réseau français. — Le Bureau central météorologique de France.

En effet, Le Verrier avait compris de bonne heure l'utilité des dépêches quotidiennes, au double point de vue de la sécurité des marins et de l'étude suivie des phénomènes.

« Si un service de cette nature était intermittent, dit-il dans une réponse à certaines critiques formulées par M. Matteucci, il ne serait pas viable... Si l'on ne prévient les ports que de l'arrivée des vents forts, l'absence de dépêche indiquera vent faible ou modéré ; mais, outre que l'absence de dépêche peut aussi provenir d'une interruption momentanée dans la transmission, en quoi l'annonce effective, et non pas sous-entendue, d'un vent faible ou modéré accroîtra-t-elle les chances d'erreur ? L'arrivée quotidienne des dépêches aux ports offre, au contraire,

de grands avantages : leur expédition quotidienne par l'Observatoire en offre de plus grands encore... Il faut étudier sans cesse les variations incessantes de l'atmosphère et se bien garder de négliger les plus faibles mouvements, car ils enseignent à reconnaître l'approche du mauvais temps. L'envoi quotidien des probabilités est une garantie que cette partie du travail n'est pas négligée... »

Peu de temps après qu'il eut repris la direction de l'Observatoire, dont il était resté éloigné pendant quelques années, Le Verrier obtint que la dépêche détaillée de midi fût complétée par une seconde dépêche expédiée vers 7^h du soir, qui devait être particulièrement utile aux bateaux pêcheurs. On sait que les sémaphores dont nos côtes sont garnies ont des signaux qu'ils doivent hisser à leurs mâts suivant la teneur des dépêches. Un cylindre noir, qui reste en vue pendant vingt-quatre heures, avertit les marins de l'approche d'une tempête. Un temps douteux au large est indiqué par un pavillon ; le mauvais temps, la mer grosse et une baisse marquée du baromètre, par un guidon ; une flamme annonce que le temps s'améliore. En outre, on affiche dans les ports la carte synoptique du *Bulletin international*.

C'est en 1876 qu'une nouvelle extension fut donnée au service météorologique en vue de son application aux besoins de l'agriculture. On conçoit que les avertissements destinés à nos campagnes diffèrent beaucoup de ceux que réclament les popu-

lations maritimes. Tandis que les marins ont surtout besoin de connaître la force et la direction du vent, les agriculteurs ont intérêt à être prévenus de l'arrivée des orages et de la chute des pluies. « Le service agricole, disait une circulaire de Le Verrier, ne peut pas consister en des avis absolus envoyés par l'Observatoire de Paris ; il est indispensable que les avertissements généraux qui sont expédiés aux chefs-lieux des départements y soient commentés par les commissions météorologiques, en tenant compte des circonstances locales et d'une étude attentive, particulière aux différentes contrées. » Cette étude doit porter plus spécialement sur la marche des orages, la fréquence des grêles, les gelées tardives du printemps, les inondations, etc. Les premiers avertissements agricoles furent transmis, en 1876, à titre d'essai, dans trois départements seulement : le Puy-de-Dôme, l'Allier et la Vienne (1). Les résultats obtenus dans cette pre-

(1) Un premier essai de ce genre avait été fait par l'Observatoire, en 1863, à la demande d'une association de grands propriétaires du Mecklembourg ; du 1^{er} août au 15 septembre, une dépêche fut expédiée chaque jour au président de l'association. En 1865, M. Poincarré, ingénieur du service des inondations dans le département de la Meuse, entreprit à son tour de formuler des avis agricoles à l'aide du *Bulletin international* et des dépêches spéciales qui lui furent adressées par l'Observatoire de Paris.

La *Nature*, revue des Sciences rédigée par M. Gaston Tissandier, a donné, en 1876, des détails très complets sur l'organisation des avertissements agricoles aux États-Unis et en France.

mière campagne furent assez encourageants pour qu'on s'empressât de généraliser la mesure, et, à l'heure qu'il est, le service fonctionne dans tous les départements.

La centralisation, à l'Observatoire de Paris, du service qui prenait peu à peu d'aussi vastes proportions avait cependant ses inconvénients, qui frappaient tous les yeux, et se conciliait mal avec les devoirs multiples imposés aux fonctionnaires de cet établissement. C'est sans doute cette considération qui a motivé, en 1871, la création d'un observatoire météorologique indépendant à Montsouris, dont la direction fut d'abord confiée à une commission présidée par M. Charles Sainte-Claire-Deville. Au mois de juin 1872, l'établissement de Montsouris fut rattaché à l'Observatoire de Paris et chargé, pendant quelques mois, du service international des avis météorologiques, qui ne tarda pas à faire retour à l'Observatoire national, aussitôt que Le Verrier en eut repris la direction (février 1873). Après sa mort (1877), la nécessité de détacher le service météorologique de l'Observatoire de Paris fut comprise par tous les hommes au courant de ces questions, et le décret du 14 mai 1878 donna satisfaction à un vœu souvent formulé, en créant le « Bureau central météorologique. » Placé sous la direction de M. E. Mascart, le Bureau central n'a pas tardé à imprimer à la *Météorologie pratique* une vigoureuse impulsion. Il reçoit chaque jour les observations de cent cin-

quante stations disséminées à la surface de l'Europe et de l'Afrique, depuis Bodo, au Nord de la Norwége, jusqu'à Laghouat, au Sud de l'Algérie, et depuis Moscou jusqu'à la Corogne; le câble qui relie le Brésil à l'Europe a permis d'étendre le réseau jusqu'à l'île Madère.

Les dépêches comprennent les observations faites le matin à 7^h et la veille à 6^h du soir, concernant la pression atmosphérique, la température, l'humidité, la direction et la force du vent, l'état du ciel, les températures minimum du matin et maximum de la veille, ainsi que la quantité d'eau tombée, et, pour les stations maritimes, l'état de la mer. L'ensemble de ces observations est publié chaque jour dans le *Bulletin international du Bureau central météorologique de France*, sous forme de tableaux numériques et de cartes où sont figurées :

1^o Les *isobares*, ou courbes d'égale pression, échelonnées de 0^m,005 en 0^m,005;

2^o Les courbes qui réunissent les points où la variation de pression depuis la veille est la même;

3^o Les *isothermes*, ou courbes d'égale température, tracées de 5^o en 5^o.

Des flèches pennées et d'autres signes particuliers indiquent sur ces cartes l'état du ciel, la direction et la force du vent, l'état d'agitation de la mer, les pluies, les chutes de neige, les orages. C'est par l'interprétation de ces hiéroglyphes qu'on parvient à formuler les prévisions que le Bureau

central adresse chaque jour, à midi, à tous les ports français, au nombre de quatre-vingt-cinq. En même temps, d'autres avertissements concernant les probabilités de pluie, de neige, d'orages, de gelées blanches, etc., sont expédiés aux communes qui ont souscrit un abonnement annuel, et pendant les six mois d'été à celles qui se contentent d'un abonnement semi-annuel.

La discussion d'une seconde série de télégrammes que les stations françaises transmettent au Bureau central à 2^h du soir et auxquels s'ajoutent deux dépêches d'Irlande, permet de vérifier et de rectifier au besoin l'avertissement du matin expédié aux ports. Le *Bulletin* est distribué le soir même aux abonnés de Paris et expédié dans les départements par les courriers du soir.

Depuis un certain nombre d'années, des journaux politiques (le *Temps*, le *Moniteur universel*) ont pris l'habitude de donner à leurs lecteurs une réduction des cartes du Bulletin international, accompagnée d'un commentaire où sont discutées les probabilités du lendemain. Parmi les journaux de Londres, le *Times*, le *Daily News*, le *Daily Telegraph*, publient également soit une carte des isobares, soit un diagramme des variations du baromètre. Ce sont là de bonnes habitudes qui familiarisent le grand public avec le mécanisme des prévisions méthodiques et le mettent à même de se rendre compte des progrès réalisés lentement, mais sûrement.

Le Bureau central météorologique a dans ses attributions l'étude des grands mouvements de l'atmosphère, les avertissements aux ports et à l'agriculture, l'organisation des observatoires météorologiques et des commissions régionales ou départementales, la publication de leurs travaux et l'ensemble des recherches de climatologie. Il est assisté d'un conseil composé de représentants des divers ministères et de l'Académie des Sciences, et qui doit se réunir une fois par trimestre pour donner son avis sur les dépenses projetées et sur les études à poursuivre dans les établissements qui ressortissent au Bureau central. Le concours pressé qu'il rencontre auprès des hommes de bonne volonté, dont les commissions départementales ont pour but de grouper les efforts, devient de jour en jour plus précieux. Leurs travaux concernent la marche des orages, de la grêle, la distribution des pluies; les cartes partielles d'orages et de pluies qu'ils adressent au Bureau central sont utilisées pour la construction des cartes générales.

Une circulaire du Ministre de l'Instruction publique recommande encore à leur attention diverses questions qui touchent à l'agriculture et à l'hygiène : le régime des cours d'eau, le développement des productions du sol, l'apparition des feuilles et des fleurs et la maturation des fruits sur les arbres des forêts et sur les espèces les plus communes, l'arrivée et le départ des oiseaux de

passage, le développement des insectes nuisibles, les gelées de printemps, les endémies, etc.

M. Mascart s'est ensuite attaché à réorganiser les observations dans les Écoles normales et à compléter leur matériel. Enfin le concours de la marine a été assuré au Bureau central par un arrêté qui rend réglementaires, à bord des navires de l'État, deux observations simultanées, c'est-à-dire correspondant partout au même instant physique, dont la première doit être faite à midi 53^m du temps moyen de Paris, et la seconde six heures plus tard. La plupart des Compagnies de paquebots ont recommandé les mêmes observations aux capitaines de leurs navires, et un grand nombre de stations continentales font également au moins l'une de ces observations simultanées.

Pour se mettre en rapport direct avec les capitaines, le Bureau central a commencé à organiser, dans nos ports, des bureaux maritimes spéciaux, chargés de distribuer et de recueillir les journaux de bord, de comparer les instruments qui doivent servir aux observations et d'en prêter, s'il y a lieu, aux capitaines. Déjà des services de ce genre sont installés au Havre, à Marseille, à Saint-Nazaire, à Bordeaux, et en 1881 le nombre des journaux de bord transmis au Bureau central s'est élevé à 409. La même année, l'Association Scientifique a décerné douze médailles aux capitaines qui avaient tenu leurs livres de bord avec le plus de soin.

Les publications du Bureau central météorolo-

gique, en dehors du *Bulletin* quotidien, forment déjà une imposante collection de volumes qui renferment des mémoires, des tableaux numériques, et de nombreuses planches. Elles continuent les belles publications que l'Observatoire de Paris avait entreprises avec le concours de l'Association Scientifique de France.

Désireux d'agrandir le champ de ses informations, Le Verrier avait demandé que les registres météorologiques tenus en mer, conformément aux conclusions de la conférence internationale de Bruxelles, fussent envoyés à l'Observatoire de Paris pour servir de base à une étude plus approfondie des tempêtes qui traversent l'Atlantique. Les documents affluèrent, et bientôt M. Marié-Davy put commencer, avec M. Sonrel, la construction d'une série de cartes synoptiques allant des côtes de l'Amérique à l'Europe et jusqu'aux monts Oural. Ce grand travail, continué pendant quelque temps par M. Baille, a fourni les éléments de l'*Atlas des mouvements généraux de l'atmosphère*, qui comprend six mois de l'année 1864 et toute l'année 1865. Abandonnée en France, cette publication a été d'abord reprise partiellement par M. Mohn, à Christiania, puis, sur une échelle plus restreinte, par le capitaine Hoffmeyer, directeur de l'Observatoire météorologique de Copenhague.

Les documents recueillis et discutés par les administrations départementales ont permis de pu-

blier ensuite l'*Atlas des orages de l'année 1865*, et une série d'*Atlas météorologiques*, comprenant une période de dix années (1866-1876).

Les *Annales du Bureau central météorologique de France*, qui forment la suite de ces publications, renferment l'ensemble des observations françaises, des rapports détaillés sur les orages de chaque année, des Revues climatologiques mensuelles et des mémoires concernant diverses questions spéciales, dus aux chefs de service (MM. Fron, Angot, L. Teisserenc de Bort) et à d'autres collaborateurs autorisés.

Le Mémoire de M. le lieutenant de vaisseau Brault, sur le régime des vents dans l'Atlantique Nord, qui renouvelle et complète les travaux de Maury, en considérant à la fois la direction et l'intensité des vents, remplit seul le grand Atlas qui forme le Tome IV de l'année 1880. — En parcourant ces splendides publications, on peut se convaincre que les bases sur lesquelles repose la prévision du temps deviennent chaque jour plus larges et plus solides.

IV.

Les vents réguliers.

Si l'on songe à toutes les causes qui troublent sans cesse l'équilibre de l'atmosphère, on ne pourra s'étonner de l'inconstance de ses mouvements, et

l'on sera tenté de se demander si ce n'est pas poursuivre une chimère que de chercher à en découvrir les lois. Et pourtant, au milieu de cette apparente complication, un certain nombre de faits connus et bien constatés se présentent comme des repères où pourront s'appuyer les recherches, et nous prouvent que la règle n'est pas absente de ces luttes confuses des éléments.

Les vents alizés, ces vents d'Est dont le souffle persistant causa tant d'effroi aux compagnons de Christophe Colomb, inquiets de leur retour, voilà déjà un de ces phénomènes où se trahit le jeu régulier d'un enchaînement de causes et d'effets abordable au calcul. Ajoutons-y les contre-alizés, qui soufflent en sens contraire dans les hautes régions de l'atmosphère, comme le prouve le mouvement des nuages et comme l'ont constaté directement les voyageurs qui ont fait l'ascension du pic de Ténériffe, — et nous ne pourrons plus douter de l'existence d'une circulation des vents, assujettie à des lois simples que nous finirons sans doute par connaître un jour complètement.

Il y a deux siècles que Halley a indiqué les causes générales de cette circulation atmosphérique : d'une part, l'action de la chaleur solaire qui, en dilatant l'air des tropiques, provoque un échange continu entre l'équateur et les pôles ; de l'autre, la rotation de la Terre, qui fait dériver vers l'Ouest les courants qui vont des pôles à l'équateur et vers l'Est les courants de retour. Cette déviation des vents, que l'on

peut considérer comme une preuve tangible de la rotation de la Terre, est la conséquence de l'inégalité des vitesses absolues des différents parallèles : un point situé sous l'équateur est emporté dans la direction de l'Est avec une vitesse de 1660^{km} à l'heure, tandis qu'à la latitude de 60° (latitude de Saint-Pétersbourg) la vitesse de rotation n'est que de 830^{km} , et il en résulte que l'air qui arrive des hautes latitudes, animé d'une vitesse de rotation relativement faible, reste en arrière et dérive vers l'Ouest, tandis que celui qui reflue de l'équateur vers les cercles polaires est toujours en avance sur les parallèles qu'il traverse, et dérive vers l'Est.

C'est ainsi que naissent les alizés, vents de Nord-Est pour notre hémisphère et vents de Sud-Est pour l'hémisphère opposé, et souvent même vents d'Est dans le voisinage de la zone des calmes qui les sépare. C'est encore ainsi que s'expliquent les contre-alizés, — vents de Sud-Ouest et de Nord-Ouest, — qui, descendus des hautes régions de l'atmosphère, soufflent à la surface du sol dans les latitudes tempérées.

Mais comment se forment, sous l'influence du soleil tropical, ces deux systèmes de courants superposés? La théorie qui a cours depuis Halley veut que la zone équatoriale, chauffée par les rayons solaires, joue le rôle d'un vaste foyer d'appel où s'élèvent incessamment des colonnes d'air raréfié qui se déverse ensuite au Sud et au Nord. C'est ainsi que le tirage qui s'établit dans une cheminée

entraîne de bas en haut les masses d'air qui viennent s'y engouffrer. On sait aussi qu'en ouvrant une porte qui sépare une chambre chauffée d'une chambre froide, on détermine deux courants opposés, car, en bas, la flamme d'une bougie est entraînée vers la pièce chaude, et en haut vers la pièce froide. On peut donc faire tous les jours une expérience qui réalise en petit le phénomène des courants contraires, et les physiciens s'en sont tenus à cette démonstration, qui semble sans réplique; mais pourquoi n'a-t-on jamais constaté sous les tropiques ce mouvement ascensionnel de l'air dont on parle toujours comme d'un fait avéré?

Un météorologiste distingué, M. Tarry, a proposé d'étudier les courants ascendants à l'aide de girouettes d'une forme spéciale, semblables aux banderoles qui sont placées au haut des mâts; M. Faye a fait observer à ce propos que les flammes d'ordre ou d'armement de nos navires auraient déjà fait reconnaître cent fois de tels courants s'ils existaient. Il est vrai (comme l'a remarqué M. Duponchel) que les courants ascendants pourraient avoir une vitesse très faible, leur section étant beaucoup plus large que celle des courants horizontaux; et l'on sait qu'un mouvement de l'air dont la vitesse ne dépasse pas 0^m,50 n'est plus perçu par nos organes.

Il y a là toutefois une difficulté à laquelle se heurte la théorie du tirage équatorial, et, en attendant que l'existence des courants ascendants soit

démontrée par l'observation, il me paraît plus rationnel d'admettre avec M. Faye que les vents permanents sont dus au soulèvement des couches supérieures, qui est la conséquence immédiate de la dilatation des couches voisines du sol, gonflées par la chaleur. L'équilibre, troublé par cet exhaussement local des couches de niveau, tend à se rétablir par l'écoulement de l'air vers les régions plus froides; mais, ces régions ayant reçu en surcharge la masse d'air dont la région centrale se trouve allégée, leurs couches inférieures tendront à prendre un mouvement inverse, et il en résultera des courants dirigés vers l'équateur.

C'est pour la même raison, comme l'a fait remarquer M. L. Teisserenc de Bort, que souvent le baromètre tombe en même temps que la température s'élève, et alors le vent marche du lieu le plus froid vers le lieu le plus chaud. Ce phénomène est très apparent dans le régime des vents particulier à l'Espagne.

Quoi qu'il en soit d'ailleurs de ces explications théoriques, les courants permanents qui forment les alizés et les contre-alizés existent. Ils ne sont pas tout à fait aussi réguliers que le veut la théorie un peu sommaire que nous venons de rappeler : leurs allures sont modifiées par des circonstances locales, surtout dans le voisinage des côtes, et la zone des calmes équatoriaux qui les sépare se déplace et oscille avec les saisons.

Enfin il est clair qu'on ne peut concevoir un

échange régulier d'air entre l'immense région intertropicale et les parallèles de plus en plus rétrécis des hautes latitudes ; les deux circuits principaux doivent être renfermés dans une zone limitée par des latitudes moyennes où les courants supérieurs, les contre-alizés, se rapprochent du sol. Il est difficile de se faire une idée nette de la manière dont s'opère cette inversion, cette descente des courants supérieurs de retour, qui sont pour nous des vents de Sud-Ouest, et les traités de Météorologie ne donnent à ce sujet que des explications embarrassées et confuses. Une complication nouvelle naît du renversement périodique des vents réguliers qui constitue les *moussons* de l'Océan indien et de quelques autres régions du globe.

V.

Une nouvelle théorie de la circulation atmosphérique.

Ne serait-il pas possible de mieux coordonner tant de faits épars et d'en tirer une théorie générale des grands mouvements de l'atmosphère, qui, du même coup, fit entrevoir l'explication de ces accidents que nous appelons tempêtes ? C'est le problème qu'a tenté de résoudre M. de Tastes dans une remarquable étude sur la *Théorie de la circulation atmosphérique*, que l'on trouve dans le Tome IV des *Annales du Bureau central météorologique* (année 1879).

Pour M. de Tastes, les mouvements verticaux qui ont lieu dans la mince enveloppe aérienne du globe peuvent être négligés, et il suffit de considérer les mouvements tangentiels à la surface, qui n'ont d'autre cause que l'inégale densité de l'air froid du pôle et de l'air chaud des tropiques, d'où résulte une tendance au mélange. Si la surface terrestre était homogène, il n'y aurait aucune raison pour que les courants par lesquels s'accomplirait le mélange s'établissent suivant des méridiens déterminés : ils s'entrecroiseraient dans une extrême confusion, comme nous voyons les filets ascendants et les filets descendants se croiser dans un liquide chauffé par le bas. Mais la nature particulière des surfaces que ces courants effleurent détermine des lignes d'élection que les courants directs et les courants de retour sont forcés de suivre, et il se forme ainsi un certain nombre de circuits fermés, analogues aux courants marins, avec lesquels ils coïncident en partie. C'est la distribution des terres et des mers qui règle cette circulation complexe des eaux et des vents.

Quelle que soit la cause qui, à l'origine, ait fait naître le *gulf-stream*, ce fleuve aux rives liquides existe, et la configuration même du bassin de l'Atlantique lui trace le lit où il coule aujourd'hui. L'air qui repose sur ces eaux tièdes, échauffé par leur contact, forme une longue traînée de gaz chauds et dilatés qui, pour ainsi dire, sert d'amorce au mouvement de translation de l'air dilaté des tro-

piques vers les régions polaires, et constitue un véritable *gulf-stream* aérien. « Or, celui-ci n'étant pas arrêté, dit M. de Tastes, comme son congénère liquide, par la barrière des continents, après avoir abordé nos côtes occidentales, continue sa marche vers l'Est à travers le Nord de l'Europe, où il condense sous forme de pluie ou de neige les vapeurs dont il est saturé et qui sont comme son certificat d'origine, entretient l'abondance des eaux dans les innombrables lacs de la Suède, de la Finlande et de la Russie septentrionale, et amorce à son tour le courant de retour des régions polaires vers l'équateur; il revient vers le Sud, à travers l'Europe orientale, sous la forme d'un vent sec et froid, qui imprime à ces régions leurs caractères météorologiques dominants. » A mesure qu'il se rapproche de l'équateur, il se réchauffe, et, devenu vent de Nord-Est dans l'Afrique tropicale, il contribue à la stérilité des déserts qu'il traverse. Il reparaît enfin sur la côte occidentale de l'Afrique et complète ainsi un vaste circuit, délimitant une aire centrale où règne un calme relatif et qui n'est pas sans analogie avec la « mer de Sargasses » de l'Atlantique.

Cette conception d'un fleuve aérien presque circulaire qui suit en partie le cours du *gulf-stream*, s'accorde assez bien avec ce que nous savons du régime des vents dans notre hémisphère. Elle semble également propre à expliquer toutes les allures des bourrasques qui nous atteignent. En

effet, sur la rive gauche de ce fleuve, qui est la rive concave, où le courant a le plus de vitesse, il doit se produire des tourbillons analogues à ceux que nous observons dans les eaux courantes, quand la nature des terrains les force à décrire une courbe. Dans ces tourbillons, l'eau tourne avec rapidité comme tournerait une roue horizontale assujettie à rouler sur la rive dans la direction du courant; pour la rive gauche de notre fleuve aérien, le sens de cette rotation serait inverse de celui des aiguilles d'une montre, et c'est là précisément le sens de la rotation des tempêtes qui traversent l'Atlantique ou notre continent en suivant des routes dirigées d'un point compris entre le Sud-Ouest et le Nord-Ouest vers un point compris entre le Nord-Est et le Sud-Est. Le fleuve circulaire de M. de Tastes, cet anneau formé par l'alizé et le contre-alizé de l'hémisphère nord, peut donc aussi rendre compte de l'origine des bourrasques et des ouragans. Toutes les vicissitudes de nos climats dépendent des oscillations qui déplacent le lit de ce fleuve, et c'est par l'observation attentive de ces fluctuations que l'on parviendra sans doute à prévoir le caractère des saisons.

Le bassin du Pacifique nord renferme un circuit analogue, mais plus vaste et moins bien dessiné que celui de l'Atlantique. Amorcé par le *kouro-siwo* (courant noir) des côtes du Japon, le fleuve aérien suit la courbe formée par les Kouriles, les Aléoutiennes et la presqu'île d'Alaska, côtoie l'Orégon

et la Californie, alimente de ses vapeurs condensées les grands lacs de l'Amérique du Nord, redescend à travers la vallée du Mississipi vers le golfe du Mexique, où il produit ces *norte* si connus des marins, et, reparaissant sur le Pacifique, sous le nom d'alizé, va rejoindre le courant équatorial qui complète le circuit. En suivant ce tracé sur une carte, on remarquera que la branche descendante du circuit du Pacifique est assez voisine de la branche montante du circuit atlantique; elles sont exposées, dans leurs fluctuations, à se mettre en contact et à réaliser les circonstances favorables à la formation des tornades et des cyclones, si fréquents dans ces parages. Là évidemment est la source des tempêtes qui désolent les régions tempérées.

Dans l'hémisphère austral, M. de Tastes retrouve deux circuits analogues, qui sont comme les contreparties des deux grands circuits de l'hémisphère boréal, mais dont les contours ont moins d'ampleur.

Remarquons maintenant que, dans les branches équatoriales de tous ces circuits, le courant marche toujours de l'Est à l'Ouest, pour se diriger ensuite vers les pôles; il s'ensuit que la circulation générale a lieu en sens inverse dans les deux hémisphères. On s'explique ainsi pourquoi le sens du mouvement giratoire des tourbillons qui parcourent ces fleuves aériens, invariable pour chaque hémisphère, n'est pas le même au Nord et au Sud de l'équateur. Sur l'hémisphère sud, les cyclones

tournent toujours de gauche à droite, comme les aiguilles d'une montre, et sur l'hémisphère nord de droite à gauche. C'est bien le sens que la théorie assigne à la rotation de tourbillons qui se forment dans les conditions indiquées.

Dans la partie sud de la mer des Indes, on constate encore des traces de courants analogues; mais la configuration de l'hémisphère austral, où domine l'élément liquide, empêche les circuits de s'accuser aussi nettement que sur l'hémisphère boréal. Il semble que des dérivations issues de ces circuits se confondent sur la mer libre qui fait le tour du continent antarctique et y produisent un courant continu dans le sens même de la rotation du globe.

Pour compléter cette esquisse, il nous reste à parler de l'Asie; cet immense continent est soumis à un régime tout spécial : au Sud, les moussons; au Nord, le type achevé du climat excessif, presque entièrement soustrait à l'action modératrice des vents marins. Enfin le pôle nord est le centre d'une région à part où l'air n'est animé d'aucun mouvement de sens constant, sorte de banquise aérienne, incessamment entamée par les assauts que lui livrent les ondes des deux grands circuits qui la côtoient. Ces deux courants se bifurquent assez fréquemment devant les promontoires formés par les aires de hautes pressions de l'Asie et de l'Amérique septentrionale, et que les branches dérivées qui atteignent les côtes sibériennes et le Haut-

Canada constituent un courant continu marchant de l'Ouest à l'Est, comme celui des mers australes.

Cette nouvelle théorie de la circulation atmosphérique semble s'adapter mieux qu'aucune autre aux faits observés. Comme le fait remarquer M. de Tastes lui-même, elle laisse entièrement de côté les mouvements secondaires dus à des circonstances locales, comme les brises de terre et de mer qui règnent dans le voisinage des côtes, les vents particuliers aux pays de montagnes, etc. Elle ne tient nul compte non plus des courants ascendants ou descendants, qui jouent un si grand rôle dans la théorie ordinaire fondée sur l'hypothèse des centres d'aspiration. Mais il ne serait probablement pas très difficile de la compléter de manière à y faire rentrer tous les faits provisoirement laissés en dehors de son canevas. Il importerait de la mettre d'accord avec les résultats du beau travail de M. Brault sur le régime des vents à la surface des Océans, travail fondé sur le dépouillement de six ou sept cent mille observations, et d'où résulte l'existence d'un immense tourbillon autour des Açores. Il faudrait aussi la concilier avec l'existence indubitable des courants supérieurs, qui ont, en général, plus de vitesse et de violence que les vents de surface, comme le prouvent les observations faites au sommet du pic de Teyde, dans l'île de Ténériffe, et celles qui se font journellement au sommet du Pike's Peak, à une altitude de 4300^m. Il y a là évidemment des lacunes à combler.

Rien n'empêche, au demeurant, d'admettre, avec la plupart des météorologistes, que les vents supérieurs se rapprochent souvent du sol : ils peuvent ainsi constituer régulièrement l'une des branches d'un courant circulaire de surface, et, de plus, lorsqu'ils s'abattent sur le domaine d'un courant polaire de direction opposée, faire naître ces troubles que nous appelons tornades, cyclones ou bourrasques. C'est évidemment ce qui arrive souvent dans la vallée du Mississipi. -

VI.

Travaux de M. Loomis. — Cyclones et anticyclones.

En attendant que les courants des hautes régions nous soient mieux connus, — et l'étude attentive du mouvement des nuages finira par nous les faire connaître, — il est temps de coordonner les riches matériaux qui ont été recueillis depuis vingt ans, pour établir, par une discussion méthodique, le régime des courants inférieurs. Ce sera un travail long et pénible ; mais, tant qu'il n'aura pas été fait, la théorie des grands mouvements de l'atmosphère ne pourra s'appuyer que sur des bases plus ou moins hypothétiques.

Parmi ceux qui ont entrepris cette discussion préliminaire et indispensable des matériaux d'observation accumulés, il faut citer M. Elias Loomis,

en Amérique, qui a publié un grand nombre de mémoires où les faits recueillis par le corps des signaux depuis 1872 sont examinés, confrontés, pesés et classés avec une sagacité qui laisse rarement prise à la critique (1). Il serait à souhaiter que la même méthode fût appliquée aux observations fournies par les stations de l'ancien continent, car on raisonne trop souvent sur des faits isolés, que l'on se hâte de généraliser en laissant dans l'ombre tout ce qui ne veut pas cadrer avec la thèse à soutenir.

M. Loomis s'est appliqué à mettre en lumière toutes les circonstances qui accompagnent la formation et la marche des centres de basse pression, autour desquels soufflent les tempêtes, — tornades ou cyclones, — et des aires de haute pression que l'on désigne par le mot d'*anticyclones*, parce que les isobares, tout en formant des courbes fermées comme dans le cas des cyclones, se succèdent ici dans l'ordre inverse.

Les anticyclones sont des montagnes d'air, tandis que les cyclones sont des entonnoirs. Mais les isobares, autour des anticyclones, sont plus espacées et les vents y sont plus faibles; leur direction est l'inverse de celle qu'ils affecteraient dans un cyclone. En Amérique, on a constaté que ces aires

(1) *Mémoires de Météorologie dynamique*. Résultats de la discussion des cartes du temps des États-Unis, par M. E. Loomis, traduits par M. H. Brocart. Paris, 1880; Gauthier-Villars.

de haute pression accompagnent souvent les cyclones, dans leur marche à travers le continent; chez nous, au contraire, leur caractère principal est la stabilité. En tout cas, l'étude de leurs propriétés sera peut-être d'un grand secours pour la prévision du temps à long terme.

Les anticyclones accompagnent les périodes de beau temps; en hiver, ils sont l'indice d'un froid persistant. M. Lespiault a fait remarquer une coïncidence de ce genre à propos du caractère exceptionnel de l'hiver de 1879-1880 (1). On n'a pas oublié les traits généraux de l'hiver en question : sécheresse à peu près absolue se prolongeant pendant deux ou trois mois, ciel habituellement sans nuages, brouillards fréquents, température excessivement basse (2), plusieurs dégels sans pluie suivis d'une reprise de froid. Or, si l'on examine les cartes du temps publiées pendant cette période par le Bureau météorologique, on constate que les isobares forment, pendant plus de deux mois, sur l'Europe entière, un puissant anticyclone d'une hauteur et d'une stabilité extraordinaires. Dès le milieu du mois de novembre, les hautes pressions tendent à s'établir sur l'Ouest et le centre de l'Eu-

(1) Association française pour l'avancement des Sciences. Session de Reims, 1880.

(2) Le 11 décembre, à 1^h du matin, le thermomètre du parc de Saint-Maur accusait 25°,6 au-dessous de zéro; c'est la température la plus basse qui ait été mesurée à Paris. Dans les Ardennes, le froid a dépassé 30°.

rope; après quelques fluctuations, l'anticyclone est complètement constitué le 9 décembre, et il se maintient presque invariable jusqu'au 26 avec un maximum de pression de 785^{mm} au sommet. Il s'allonge alors un peu vers le Nord; le 28, il est assailli par une forte bourrasque arrivant de l'Ouest, et on dirait qu'il va être coupé en deux; mais il résiste, il est seulement aplati et refoulé vers le Sud. C'est à ce moment qu'a lieu un premier dégel, suivi bientôt d'une reprise du froid; l'anticyclone a repris sa position et la garde jusqu'au 7 février, jour où une violente bourrasque le rejette sur l'Asie. Pendant toute cette période, la carte des températures est pour ainsi dire le décalque de la carte des pressions, à cela près qu'il n'y a qu'un maximum de pression errant sur l'Europe centrale, tandis qu'on remarque souvent deux centres distincts de froid. La température se relève sur le pourtour de l'anticyclone, pendant que dans l'intérieur règne un froid très vif (— 20° à Paris, + 11° en Norvège). Enfin, au haut du Puy-de-Dôme, le thermomètre marque douze ou quatorze degrés de plus qu'à Clermont, et le vent souffle de l'Ouest, tandis que le vent de plaine vient de l'Est ou du Nord. Il y a là toute une série de phénomènes nettement caractérisés, qui pourront être considérés comme des présages certains d'une période de temps très beau et très sec.

Pour M. de Tastes, les anticyclones ou aires de haute pression ne sont autre chose que les espaces

circonscrits par les courants généraux : c'est ce qui nous explique leur stabilité. Mais le flot du courant général peut se frayer un chemin à travers le massif des hautes pressions et en détacher des îlots, tout comme les fleuves qui coulent dans une vaste plaine se divisent en plusieurs bras et forment des îles aux dépens de leurs rives. C'est par l'étude attentive de ces îlots de haute pression que la Météorologie pratique peut espérer d'étendre beaucoup son domaine. Pour nos climats, il importe surtout de surveiller les fluctuations lentes des aires de haute pression de l'Atlantique et de l'Asie, dont les bords sont toujours visibles dans les limites de la carte de l'Europe. En effet, du courant aérien qui circule entre ces deux régions semblent dépendre les modifications du temps et les caractères des saisons.

VII

La loi des tempêtes.

Jusqu'à présent, les efforts des météorologistes se sont portés de préférence vers l'étude de ces perturbations accidentelles que l'on appelle bourrasques ou cyclones, de ces mouvements tournants parfois si dangereux, dont les propriétés, désormais suffisamment connues, servent de base aux prédic-

tions du temps à courte échéance. D'après une récente communication de M. Chevreul à la Société nationale d'Agriculture, ce serait Joseph Hubert, le continuateur de l'œuvre de Pierre Poivre à l'île de la Réunion, qui aurait le premier, vers 1788, reconnu et signalé le caractère giratoire des cyclones. Ce n'est que beaucoup plus tard que les mêmes idées se font jour en Angleterre : on les trouve indiquées dans un écrit du colonel Capper (*Observations on winds and monsoons*, Londres, 1801). En 1818, Hubert était en possession de la formule complète du mouvement de rotation et de translation des cyclones. Dix ans plus tard, Dove publie sa carte de la tempête du 25 décembre 1821, qui a traversé le Nord de l'Europe dans la direction du Sud-Ouest au Nord-Est, et dont il signale le caractère cyclonique. Puis viennent les travaux de W.-C. Redfield (1831), de sir William Reid, d'Henri Piddington, sur les ouragans des Antilles et de la mer des Indes.

Les lois des ouragans, telles qu'elles se dégagent de ces recherches, sont d'une remarquable simplicité. Les ouragans (cyclones, typhons, etc.) sont des tourbillons dans lesquels la violence du vent augmente de la circonférence jusqu'à une certaine distance du centre, où la fureur de la tempête s'éteint subitement ; sur les deux bords du calme central soufflent des vents de directions diamétralement opposées.

Le sens de la rotation de ces tourbillons est

constant pour chaque hémisphère : sur l'hémisphère nord, le mouvement de l'air a lieu de droite à gauche (en sens inverse de celui des aiguilles d'une montre), et de gauche à droite (dans le sens des aiguilles) sur l'hémisphère sud. De là, pour notre hémisphère, la règle de Buys-Ballot : « Tournez le dos au vent, étendez le bras gauche, le centre est dans cette direction. » Ce serait le bras droit pour l'hémisphère opposé.

Mais ces tourbillons ne tournent pas sur place : ceux qui naissent dans les régions tropicales parcourent des trajectoires paraboliques qui s'infléchissent d'abord vers l'Ouest, puis montent vers les pôles pour revenir ensuite vers l'Est. Ces paraboles ne sont peut-être que des portions d'un circuit fermé, légèrement elliptique, où les tourbillons flottent, ainsi que des bouées entraînées par un cours d'eau. Les tornades de l'Amérique du Nord suivent d'autres routes; mais, pour chaque région du globe, l'itinéraire de ces redoutables visiteurs varie assez peu. La vitesse de leur mouvement de translation est en moyenne de 30^{km} ou 40^{km}, mais elle peut être beaucoup plus grande (1). Une conséquence de ce déplacement rapide des tourbillons, c'est que les vents sont plus forts

(1) D'après le rapport du sergent Finley (1882), où sont discutées les observations de 600 tornades enregistrées depuis le commencement du siècle, la vitesse de translation moyenne de ces météores serait de 60^{km} par heure; leur vitesse de rotation moyenne serait dix fois plus grande.

dans le demi-cercle où la vitesse de rotation s'ajoute à la vitesse de translation, que dans le demi-cercle opposé, où les deux vitesses sont de sens contraires : le tourbillon a un *bord maniable* et un *bord dangereux* (pour notre hémisphère, c'est le demi-cercle situé à droite de la trajectoire). Les manœuvres recommandées aux navires qui se trouvent sur la route d'un cyclone ont pour but d'éviter le passage du centre et de fuir le bord dangereux.

Quant à la distance à laquelle on se trouve du centre, il faut tâcher de la conclure de la marche du baromètre, qui baisse d'une manière continue depuis la circonférence jusqu'au centre, où s'observe le minimum. Dans certains cas, la dépression barométrique a dépassé 0^m,050.

« Il faudra connaître les runes de la tempête, dit la *Volsunga-Saga*, si tu veux garder saufs, dans la baie, tes coursiers à voiles ; il faut les graver sur la carène et le gouvernail. » L'homme de mer les connaît désormais suffisamment pour ne plus se trouver désarmé en face des redoutables météores qui le guettent sur sa route ; avec un peu d'expérience, il est en état de juger la distance et la direction de son ennemi et parvient à lui échapper. Le capitaine Bridet termine ainsi la préface de sa célèbre *Étude sur les ouragans de l'hémisphère austral*, destinée aux marins : « Je n'ai plus qu'à leur recommander vigilance et foi aveugle, ils se riront de la fureur des vents qu'ils auront appris

à maîtriser, et ils affronteront sans crainte les tempêtes qui leur étaient si funestes auparavant. »

Il est certain que les cyclones sont déjà moins redoutés des marins ; quelques-uns se sont enhardis jusqu'à s'en jouer, à les « enfourcher » pour abrégé certaines traversées. Cela s'appelle *taking a ride upon a cyclone*. Le 24 octobre 1842, le navire marchand *Lady Clifford*, capitaine Miller, est allé ainsi très vite de Nagore à Madras, à la faveur d'un cyclone dont le centre passait sur Pondichéry. Au mois de juillet 1848, le capitaine Erskine a pu abrégé de la même façon la traversée du cap de Bonne-Espérance à Sidney ; le Chapitre V du livre de M. Bridet a pour titre : *Manière d'utiliser les cyclones pour se rendre à sa destination*.

Il faut convenir toutefois que les lois qui viennent d'être exposées ne sont pas absolues. En traçant sur une carte les cercles concentriques qui représentent les circonvolutions d'un cyclone et en figurant par des flèches la direction des vents observés en divers points, on constate le plus souvent que ces flèches, loin d'être tangentes aux circonférences, les coupent sous un angle aigu : preuve évidente que l'air qui circule dans le tourbillon afflue du dehors en dedans.

D'après Redfield, l'obliquité des flèches est d'environ 5° ou 10° pour les grands cyclones qu'il a étudiés, et il pense qu'elle ne dépasse jamais 2 quarts ($22^{\circ} \frac{1}{2}$). Piddington admet qu'elle peut atteindre

2 quarts et même 3 quarts et produire une assez forte attraction vers le centre. Il cite, à l'appui de cette opinion, l'histoire du *Charles-Heddle*, qui, surpris par un cyclone dans la mer des Indes, le 22 février 1845, et ayant perdu toutes ses voiles, fut forcé de tourner autour du centre « ainsi qu'une phalène autour d'une chandelle » et de faire, du 22 au 27, cinq tours entiers, en décrivant des spires de plus en plus resserrées. Pour les bourrasques ou tempêtes ordinaires qui traversent nos continents, l'obliquité des vents par rapport aux isobares circulaires est parfois encore plus sensible, car M. Loomis déduit d'un grand nombre d'observations une inclinaison moyenne de 45°.

S'appuyant sur ces faits, des météorologistes distingués, comme M. Mohn, M. Wilson, M. Meldrum, rejettent maintenant les diagrammes circulaires des tourbillons et les remplacent par des spirales. M. Meldrum a développé ses idées dans un mémoire qui a été traduit en français et forme le n° 530 des *Instructions* à l'usage de nos marins. On y trouve une critique assez vive des manœuvres faites par divers navires aux prises avec le désastreux cyclone de février 1860, et qui ont eu le tort de se fier à la « loi des tempêtes (1). » M. Bridet a réfuté ces critiques dans la dernière édition

(1) M. le capitaine Ansart, un de ceux qui ont eu le bonheur d'échapper au cyclone, se range au même avis dans sa *Théorie rationnelle des ouragans*. Paris, 1875; Berger-Levrault.

de son livre, mais le mouvement centripète de l'air dans les tourbillons est un fait trop manifeste pour être nié. « Tous les navigateurs qui ont traversé des cyclones, dit l'amiral Mouchez (1), sont unanimes à reconnaître qu'il faut lutter énergiquement, quand on y pénètre trop avant, pour réussir à s'écarter du centre : c'est là une preuve évidente d'abord que le vent tourne en se rapprochant du centre, c'est-à-dire en spirale, et ensuite qu'au centre du cyclone le mouvement de l'air a lieu de bas en haut; car, s'il avait lieu en sens contraire, il produirait à la surface de la mer un vent centrifuge qui écarterait les navires de la zone dangereuse, ce qui malheureusement ne s'est jamais vu. »

M. Knipping (2), dans ses intéressantes études sur les typhons du mois de septembre 1878 et 1879, arrive à cette conclusion que l'obliquité des vents, variable selon les circonstances, peut dépasser 60°; les routes des molécules d'air qui affluent vers le centre s'infléchissent d'abord en spirales et deviennent, plus près du centre, presque circulaires. La trajectoire d'un typhon, déterminée d'après ces principes, peut être très différente de ce qu'elle serait si on l'établissait suivant l'ancienne méthode par des relèvements du centre perpendiculaires à la direction des vents.

(1) *Mission de Saint-Paul* (Recueil de mémoires, rapports et documents relatifs au passage de Vénus).

(2) *Annalen der Hydrographie und maritimen Meteorologie*. Berlin, 1880.

Il est clair que la question reste ouverte et qu'il se passera sans doute encore bien des années avant que les météorologistes s'accordent sur la véritable nature de ces mouvements tournants. En attendant, toutes ces discussions ont un peu ébranlé la confiance des marins dans les règles pratiques qu'on leur recommande comme infail-
libles. M. Faye a pris à tâche de la raffermir en réfutant toutes les objections dans un éloquent plaidoyer, qu'il a intitulé : *Défense de la loi des tempêtes* (1), et dans de nombreuses communications à l'Académie des Sciences. Il fait remarquer avec raison que l'indétermination des routes spirales que l'on assigne aux molécules d'air entraî-
nées dans le tourbillon ne permet pas d'établir des règles de manœuvre simples et précises, de sorte que, privés de tout fil conducteur, les marins n'au-
ront plus qu'à se fier à leur inspiration. L'histoire des navires tels que le *Charles Hedde* ou l'*Earl of Dalhousie*, qui, enveloppés par un cyclone, en ont fait le tour malgré eux quatre ou cinq fois dans l'espace de quelques jours, prouve assez que l'er-
reur qui peut résulter de l'hypothèse circulaire n'est pas aussi grande qu'on veut bien le dire, et, en attendant mieux, on fera sagement de ne pas y renoncer.

(1) *Annuaire du Bureau des longitudes*, 1875.

VIII.

Théorie des tourbillons. — Courants ascendants.

La discussion sur la vraie forme des tourbillons se complique d'ailleurs d'une question de théorie que nous devons nous borner à effleurer ici. Le fait de l'obliquité des vents est l'argument principal des nombreux partisans de l'hypothèse de l'aspiration, qui cherchent l'origine de tous les mouvements tourbillonnaires dans des courants ascendants causés par l'échauffement du sol. Après les travaux du météorologiste américain Espy, cette hypothèse a trouvé d'habiles défenseurs dans M. Th. Reye (1) et M. Peslin (2), qui ont fait intervenir dans la question la théorie mécanique de la chaleur.

On suppose qu'une nappe d'air, surchauffée au contact du sol sous l'influence d'un soleil ardent, finit par se trouver dans un état d'équilibre instable : il suffit dès lors d'un trouble accidentel pour rompre le charme, et des courants d'air chaud qui affluent de tous les côtés s'engouffrent dans la trouée pour monter à des hauteurs vertigineuses.

(1) *Die Wirbelstürme, Tornados und Wettersäulen*, von Th. Reye, 2^e édition. Hanovre, 1880.

(2) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*. 1875.

L'ascension des colonnes d'air léger est singulièrement facilitée par la présence de la vapeur d'eau, qui, en se condensant dans les régions supérieures plus froides, dégage de la chaleur, qui entretient, pour ainsi dire, la dilatation de l'air et la poussée verticale qui en résulte. Mais les différences de température qui peuvent exister dans l'atmosphère sont-elles comparables à celles que produit un feu allumé dans un foyer, et la gaine d'air froid qui entoure une colonne ascendante peut-elle jouer le rôle d'une cheminée qui active le tirage? M. Reye a calculé la vitesse que doit prendre, dans certaines conditions, un courant ascendant d'air chaud saturé de vapeur d'eau, et il a trouvé ainsi des vitesses considérables; mais il a complètement oublié de tenir compte, dans ses calculs, de la résistance du milieu ambiant, qui est ici du même ordre que la force impulsive.

Pour rendre compte du mouvement giratoire des vents d'aspiration, on a recours à la rotation de la Terre, qui fait dévier en sens contraires les courants attirés du Nord et du Sud, et leur imprime des obliquités analogues à celles des alizés et des contre-alizés; l'effet doit augmenter avec le diamètre du tourbillon, qui, parfois, dépasse 2000^{km} et même 3000^{km}.

Quant au mouvement de progression du centre, l'explication la plus acceptable était encore celle qui avait été proposée par M. Mohn. D'après cet auteur, les grandes pluies qui accompagnent un

cyclone dans sa marche se produisent à l'avant ; à l'arrière, le ciel est moins chargé de nuages, il ne pleut pas ; dès lors, le mouvement de translation du centre pourrait avoir pour cause la différence de pression entre l'arrière et l'avant, due à la condensation des vapeurs. Mais l'on voit des dépressions barométriques, et même des tornades, marcher sans qu'il tombe une goutte de pluie, et M. Loomis, après avoir discuté un grand nombre de cas de ce genre, conclut que « la pluie n'est point essentielle à la formation des aires de basse pression et n'est pas la cause principale de leur mouvement de progression. »

Comme s'ils sentaient eux-mêmes la faiblesse de leurs raisonnements théoriques, les partisans de l'aspiration cherchent à les étayer d'analogies plus ou moins forcées. M. Reye reproduit une quantité de récits concernant des trombes de fumée observées au-dessus d'une forêt ou de vastes amas de broussailles auxquels on avait mis le feu, au-dessus du volcan de Santorin, etc. Il cite les témoignages que M. Espy a recueillis et qui se rapportent à des orages de pluie provoqués par des incendies ; parmi les plus curieux, il faut noter celui de M. G. Mackay, qui se vante d'avoir réussi plus d'une fois à « faire la pluie » en allumant les hautes herbes d'une prairie par un ciel parfaitement serein.

Chargé, au printemps de 1845, de diriger des opérations géodésiques en Floride, il avait été un jour obligé, pour se frayer un chemin, de mettre le

feu à un vaste champ de carex en partie desséchés, et, presque immédiatement après, il s'était élevé une brise agréable accompagnée d'une petite pluie. Quelques jours plus tard, se voyant de nouveau arrêté par les herbes, M. Mackay résolut de recourir au même expédient, et son frère, le capitaine Alexandre Mackay, qui connaissait la théorie de M. Espy et se croyait sûr du résultat, proposa de profiter de l'occasion pour s'égayer aux dépens des nègres en leur annonçant qu'il avait le pouvoir d'assembler les nuages et de faire tomber la pluie à son gré. La chaleur était accablante, l'air lourd et d'un calme absolu, tout le monde soupirait après une goutte de pluie. « Taillez-moi une route à travers ces herbes, s'écria le capitaine, et je me charge de vous procurer une averse. Quand vous aurez fini, je vous promets, pour vous laver, un bain qui viendra du ciel. » Les nègres levèrent les yeux, et, ne voyant pas un seul nuage au-dessus de leurs têtes, se mirent à rire : « Ho ! ho ! ha ! ha ! le capitaine faire des nuages avec rien ! hi ! hi ! » Pour toute réponse, M. Mackay fit mettre le feu aux herbes sèches ; la flamme s'élança par dessus les arbres les plus hauts, une colonne de fumée s'éleva en spirales, et, lorsqu'elle se fut dissipée, un nuage commença à se former. Le capitaine traça un cercle autour de lui sur le sable et prononça des paroles cabalistiques ; tous les yeux étaient fixés sur lui. Soudain, un coup de tonnerre éloigné annonça l'orage qui se préparait ; le nuage s'étendait à vue

d'œil, et bientôt la pluie tombait à torrents, accompagnée de tonnerre et d'éclairs. Les nègres, à genoux, dirigeaient sur le capitaine des regards de terreur pendant qu'il continuait ses conjurations, et ils n'ont jamais oublié cette scène de sorcellerie.

M. Faye, qui cite la lettre de M. Mackay, ne cache pas sa conviction que l'orage que le capitaine croyait avoir fait était un orage ordinaire et que le feu mis aux herbes de la prairie n'y était pour rien. C'est là, en effet, la première impression que produit la lecture du récit. Mais M. Mackay ajoute que, dans la suite, il a souvent renouvelé l'expérience et qu'il était toujours sûr d'obtenir une pluie légère quand l'air était calme. Il affirme encore que diverses personnes ont plus tard répété cette expérience avec le même succès. Dobrizhoffer rapporte aussi que les Indiens mettent le feu aux prairies pour faire tomber la pluie.

Il y aurait sans doute intérêt à instituer des expériences de ce genre sur une grande échelle et dans des conditions nettement déterminées. Jusqu'à ce jour, on a trop négligé les ressources que l'expérimentation directe peut offrir toutes les fois qu'il s'agit de vérifier les conséquences d'une théorie; il y a lieu de le regretter d'autant plus que l'Hydrodynamique, la Science du mouvement des fluides, est à peine née et se trouve impuissante à résoudre la plupart des problèmes que lui pose la pratique : elle se borne à les « mettre en équation, » et ce n'est qu'à coups d'hypothèses et

de restrictions qu'on arrive parfois à établir un résultat qui ressemble à une loi.

On ne cite guère, pour appuyer la théorie de l'aspiration, que des expériences sur le tirage des hautes cheminées, une expérience de cabinet, due à M. Espy, qui consiste à produire une trombe d'eau dans un tube de verre placé sous une machine soufflante, etc., et il est à peine besoin de faire remarquer combien, par la nature des appareils employés, on s'éloigne ici des conditions dans lesquelles s'accomplissent les phénomènes météorologiques.

Lorsqu'il s'agit de la théorie des mouvements giratoires des vents, on se contente le plus souvent d'invoquer l'analogie des tourbillons qui se forment dans les rivières, ou les résultats de quelques expériences déjà anciennes qui se rapportent à des tourbillons provoqués artificiellement dans un liquide. Telles sont les expériences de Saulmon, de l'ancienne Académie des Sciences, ou celle du comte X. de Maistre, qui excite le tourbillon par la rotation d'un volant à quatre ailes, placé au centre; il trouve qu'une couche d'huile, déposée sur l'eau dans l'entonnoir qui se forme, est d'abord entraînée vers le bas, puis, arrivée au contact de l'obstacle du fond, remonte en gouttelettes tout autour du tourbillon qu'elle a quitté. Il y a donc ici un mouvement descendant suivant les spires d'une hélice conique, et un mouvement ascendant tumultueux en dehors du cône. C'est bien ce qui s'ob-

serve dans les tourbillons des cours d'eau, qui engloutissent les nageurs imprudents et même des barques légères, les entraînant jusqu'au fond et les laissant remonter à la surface un peu plus loin. Comme l'a dit le général Morin, les bateliers des grands fleuves connaissent ce danger et savent que le seul moyen d'échapper à sa perte, quand on est saisi par le tourbillon, est de se laisser couler vers le fond, où son action cesse à peu près de se faire sentir, puis de chercher à regagner, le plus loin possible, la surface de l'eau, en nageant horizontalement pour s'en écarter. Des expériences du même genre ont été encore entreprises par OErstedt, et plus récemment par M. Lalluyeaux d'Ormay, par M. Hirn (¹), par le docteur Andries ; quelques-uns de ces expérimentateurs ont constaté que, lorsque le fluide était mis en giration par le haut, le courant dans le tourbillon était ascendant.

Jusqu'à ce jour, ni l'expérience ni l'observation directe n'ont pu trancher la question de savoir si, à l'intérieur des trombes, tornades, cyclones et autres tourbillons semblables, le courant va de bas en haut ou de haut en bas. M. Faye soutient, contre les partisans de l'aspiration, que le mouvement est toujours descendant, même dans les trombes, et il attribue à une illusion d'optique, à un préjugé invétéré, l'opinion qui veut que les trombes marines pompent l'eau.

(¹) *Étude sur une classe particulière de tourbillons.*
Paris, 1878, Gauthier-Villars.

Il semble assez difficile de concilier l'hypothèse d'un courant descendant avec les nombreuses relations qui prouvent que les trombes terrestres soulèvent et transportent à de grandes distances des corps très lourds : partout, ce sont des arbres arrachés avec leurs racines, des meules de foin emportées jusqu'aux nues, des hommes et des animaux enlevés, des débris de toute sorte semés à des distances de plusieurs lieues. La trombe de Hallsberg (1875) jette une machine à battre le blé par-dessus les ruines d'une grange ; celle de Moncetz (1874) soulève plusieurs personnes à deux mètres du sol ; un scieur de long voit sa voiture à bras, laissée à quelques pas de lui, disparaître dans l'air par une ascension presque verticale.

Il serait fastidieux d'énumérer tous les faits du même genre qu'on peut relever dans les ouvrages spéciaux ; citons cependant une observation très curieuse qui est due à un météorologiste distingué. « Nous traversions à cheval, dit M. Liais, une plaine très étendue, couverte d'arbustes rabougris et espacés, comme on en rencontre souvent dans la région des campos. Tout à coup j'entendis un bruit de feuilles sèches fortement remuées, et, en dirigeant le regard de ce côté, je vis une colonne de poussière animée d'un mouvement giratoire à une cinquantaine de mètres à gauche du sentier que nous suivions. Cette colonne se dirigeait vers le chemin, qu'elle allait traverser un peu en avant de moi. Je pressai alors ma monture pour me trouver

à la rencontre du tourbillon, et je parvins à le traverser. Je tenais à la main un petit parasol blanc. Dès que je me trouvai sur la limite de la colonne, je sentis ce parasol fortement entraîné vers l'axe du météore et soulevé avec violence. En voulant le retenir, je faillis être renversé de cheval, et je ne le retirai que déchiré. En même temps, je perçus nettement l'odeur sulfureuse de l'ozone. Après que le tourbillon eut passé sur moi, je le vis encore augmenter de hauteur et disparaître bientôt à une petite distance. » M. Liais ajoute qu'on distingue nettement, dans les trombes d'air, les spirales ascendantes décrites par les feuilles sèches soulevées du sol avec la poussière.

Il semble bien que deux mouvements de sens contraire puissent coexister dans les tourbillons. « Dans le cratère de Saint-Paul, dit l'amiral Mouchez, où ce remarquable phénomène se reproduisait si fréquemment sous l'influence des rafales tombant du haut des montagnes et réfléchies sur les parois opposées, on voyait toujours des colonnes d'eau et de vapeur s'élever à dix ou trente mètres de hauteur et dessiner nettement l'axe de ces tourbillons, bien que la composante verticale eût évidemment une direction de haut en bas. »

Quelques météorologistes ont essayé de concilier les opinions contraires, en admettant que l'air pénètre dans les cyclones à la fois par la base et par le sommet et qu'il est expulsé latéralement; d'autres soutiennent qu'il afflue en bas et déborde

en haut, ce qui s'accorde avec l'existence des aires de haute pression à côté des dépressions qui marquent les centres des bourrasques. Cette opinion trouve un appui dans les résultats auxquels M. Clément Ley, M. Hildebrand Hildebrandsson, M. Loomis, ont été conduits par l'étude de longues séries d'observations des cirrus recueillies en Angleterre, en Suède, en Danemark et en d'autres parties de l'Europe, ainsi qu'aux États-Unis. D'après ces météorologistes, les mouvements des nuages prouveraient que, dans les hautes régions de l'atmosphère, l'air s'éloigne des minima de pression et afflue vers les maxima, tandis que l'inverse a lieu près de la surface terrestre.

IX

La Théorie des Tourbillons.

Dans l'état actuel de la Science, la théorie mathématique de ces phénomènes est à peine abordable, et peu de géomètres s'y sont risqués. Il y a quelques pages consacrées aux tourbillons dans les savants mémoires de M. Boussinesq ; on trouve aussi dans les traités de Mécanique la démonstration d'une loi déjà indiquée par Léonard de Vinci, d'après laquelle la vitesse angulaire des molécules croît en raison inverse du carré du rayon. Mais

cette loi est en défaut près du centre, où nous savons que la vitesse s'annule.

M. A. Colding est parvenu à établir des formules qui répondent mieux à la réalité des choses, car elles font prévoir l'existence d'un calme central ('). En les appliquant aux ouragans du 2 août 1837 et du 21 août 1871, observés l'un et l'autre à Saint-Thomas, M. Colding fait voir qu'elles représentent très bien la marche du baromètre telle que la donnent les observations. Il conclut de sa théorie que des courants qui rasant le sol pénètrent dans les cyclones toutes les fois qu'un obstacle ralentit la vitesse de rotation ; ces courants s'y élèvent, et, parvenus au sommet, sont refoulés vers la circonférence. Enfin M. Colding démontre que les bords des fleuves aériens qui circulent côte à côte entre les pôles et l'équateur présentent les conditions voulues pour la production des mouvements tournants, mais avec cette différence que, sur la rive gauche, il peut facilement naître des tourbillons violents qui, tous, tournent contre le soleil, tandis que les mouvements tournants qui se produisent à droite et qui nécessairement tournent avec le soleil, ne peuvent jamais devenir des ouragans ni même des bourrasques. Il s'agit ici de l'hémisphère nord ; sur l'hémisphère sud, c'est la rive droite qui fournit les tourbillons.

(') *Nogle Bemærkninger om Luftens Strømningsforhold*. Copenhague, 1871. — *Om Hvirvelstormen paa Saint-Thomas*. Copenhague, 1872. (Voir aussi l'*Appendice*).

La théorie mécanique de la chaleur, à laquelle on n'a pas manqué de faire appel en dernier ressort, a répondu, comme l'oracle, à chacun selon ses désirs. Au premier qui l'a consultée, elle a répondu que l'air, s'il était entraîné de haut en bas, s'échaufferait par compression, que dès lors il ne pourrait y avoir de pluie dans un tourbillon descendant. A l'autre elle a dit que la chaleur de compression serait absorbée par la vaporisation des lambeaux de nuages, formés d'eau et d'aiguilles de glace, qu'entraînerait avec lui le courant descendant, qui arriverait au sol, saturé de vapeur et très froid. Il faut, on le voit, renoncer à cet argument à deux tranchants.

On s'est encore demandé si la Thermodynamique pouvait indiquer la source de l'énorme force vive que possède un ouragan, et qui doit être incessamment renouvelée à mesure qu'elle s'use par le frottement, par la résistance du milieu ambiant et par les ravages qu'elle exerce. Le terrible cyclone du 10 octobre 1780, qui s'étendit sur toutes les Antilles et jusque dans le Nord de l'Atlantique, fit sombrer une centaine de navires, arracha des bancs de corail du fond de la mer, renversa les plus solides édifices, et, sur quelques îles, ne laissa rien debout, ni arbres ni demeures : à Sainte-Lucie, six mille personnes furent ensevelies sous les décombres ; à la Martinique, le nombre des victimes dépassa neuf mille. L'ouragan de 1844, qu'on appelle « l'ouragan de Cuba », fit sombrer ou démâta soixante-dix

navires, et produisit à la Havane seulement, dans l'espace de quelques heures, des ravages estimés à plus de vingt millions de francs.

Or ces effets destructeurs, qui frappent l'imagination, sont bien peu de chose auprès du travail mécanique total accompli par le vent qui alimente le cyclone, en ne tenant même pas compte de la force incessamment dépensée à soulever les flots. D'après Redfield, le cyclone de Cuba couvrait un espace de 500 milles ; en ne considérant qu'un cylindre de 320^{km} de diamètre et d'une hauteur de 100^m, et en supposant que le vent s'écartait d'environ six degrés de la direction tangentielle lorsqu'il s'engouffrait dans le cyclone avec une vitesse de 40^m par seconde (144^{km} par heure), M. Reye a calculé qu'au bout de cinq heures, la masse d'air contenue dans cet immense cylindre se trouvait déjà complètement renouvelée. Les cinq cents millions de kilogrammes d'air que les poumons de la tempête aspirent chaque seconde représentent quarante milliards de kilogrammètres, soit au bas mot une force de cinq cents millions de chevaux-vapeur, mise en œuvre durant trois jours ; c'est, dit l'auteur, au moins quinze fois ce que peuvent fournir, dans le même temps, tous les moulins à vent, roues hydrauliques, machines à vapeur, locomotives, hommes et animaux du monde entier.

Où faut-il chercher la source de ce prodigieux travail moteur ? M. Reye la trouve dans les pluies qui accompagnent les cyclones. En prenant la

moyenne des données qu'on possède pour quelques-uns des ouragans les mieux étudiés, il admet que, dans un rayon de 250^{km} , il tombe deux cents millions de kilogrammes d'eau par seconde. Avec une hauteur de chute de 300^{m} , cela donnerait un travail moteur de huit cents millions de chevaux, fourni par la pesanteur ; mais la condensation de la vapeur d'eau qui produit ces averses dégage cent vingt milliards de calories par seconde, dont l'équivalent mécanique ne représente pas moins de six cent soixante milliards de chevaux ! C'est plus de mille fois la quantité de travail qu'exige la respiration du cyclone. Le poids de la vapeur entraînée par l'air qui entre dans le cyclone, et qui se refroidit en s'élevant, ne dépassera pas six ou sept millions de kilogrammes ; cependant sa chaleur de condensation représente encore au moins quarante fois le travail exigé.

On voit par ces chiffres que le réservoir de force vive capable d'alimenter l'ouragan ne fait pas défaut ; mais ce que la théorie de l'aspiration laisse dans l'ombre, c'est la manière dont cette riche provision de chaleur est convertie en travail mécanique et employée à produire le mouvement de rotation et de translation.

Dans les tornades notamment, la vitesse de rotation peut atteindre 100^{m} par seconde, et la vitesse de progression est parfois celle d'un train express ; pour expliquer ces mouvements violents, il faut toujours revenir aux grands courants atmo-

sphériques, dont la vitesse, dans les régions supérieures, paraît être toujours considérable.

Par l'observation des cirrus, on a trouvé assez souvent des vitesses de 150^{km} à l'heure, et parfois 200^{km} ou 250^{km}. On sait aussi que M. Rollier, parti en ballon de Paris, le 24 novembre 1870, fut forcé de descendre, quatorze heures après, dans les montagnes de la Norvège, et qu'à un certain moment, à l'altitude de 4000^m, la vitesse du ballon était de 30 lieues à l'heure.

Quand ces courants descendent à la surface et qu'ils y rencontrent des courants dirigés en sens contraire, on conçoit sans peine qu'ils donnent naissance à des tourbillons d'une violence extraordinaire. C'est l'impulsion d'un irrésistible flot d'air concentrée subitement sur un seul point. « La trombe, dit à ce propos M. Faye, est un simple organe de transmission de la force; c'est un outil gigantesque qui recueille en haut la force vive dans son vaste entonnoir et qui l'amène en bas en la concentrant sur un petit espace pour la dépenser contre l'obstacle du sol. » (1) Que les courants à l'intérieur du tourbillon soient d'ailleurs ascendants ou descendants, c'est une question qu'il sera permis de réserver.

Il en est de même du rôle qu'il convient d'attribuer à l'électricité dans la production de ces phé-

(1) *Comptes-rendus de l'Académie des Sciences*, 14 août 1882.

nomènes, et qui pourrait bien être, pour les trombes en particulier, le rôle principal. Malheureusement l'origine de l'électricité atmosphérique, dont la tension paraît augmenter avec l'altitude, et la manière dont elle intervient dans la plupart des grandes crises de la nature, sont encore mal connues (1).

Pour les orages, on sait au moins qu'ils marchent comme les bourrasques ordinaires, ce qui permet d'en signaler l'approche aux régions menacées. Longtemps on avait admis comme un axiome que les orages se formaient sur place. Pour un simple spectateur, un orage est un accident local, une sorte de drame isolé qui éclate à l'improviste, au milieu du calme trompeur des éléments ; un drame avec l'unité de temps et de lieu. Et pourtant, à plusieurs reprises, des enquêtes conduites avec un grand soin (comme celle de l'Académie des Sciences sur le terrible orage à grêle du 13 juillet 1788) avaient révélé que ces météores nous viennent de la mer et parcourent nos pays dans la direction du Sud-Ouest au Nord-Est. En dépit de ces constatations réitérées, il a fallu que la télégraphie météorologique fût née pour qu'on se décidât à renoncer à un vieux préjugé.

(1) Voir, à ce sujet, l'intéressante conférence de M. Spring, publiée dans la *Revue Scientifique* du 12 août 1882.

X

Les bases de la prévision du temps.

La prévision du temps à courte échéance, dans l'état actuel de la Météorologie, est fondée sur l'interprétation des signes précurseurs des bourrasques : c'est essentiellement une affaire d'expérience personnelle, pour ne pas dire un *art*, car on n'a, pour se guider, que des règles empiriques.

C'est toujours le baromètre, — le même instrument qui, en 1660, permit à Otto de Guericke d'annoncer à ses amis l'approche d'un ouragan⁽¹⁾, — c'est toujours le baromètre qui est notre principale source d'information ; seulement le télégraphe en a centuplé la valeur. Nous sommes loin du temps, pourtant si près de nous, où l'on se contentait de lire : *beau fixe, variable, pluie, tempête* sur

(1) « En 1660, dit-il dans les *Mirabilia Magdeburgica*, en parlant d'un baromètre à eau de son invention, en 1660 l'air devint si extraordinairement léger que le doigt de la petite figure indiquait un point au-dessous de la marque la plus basse sur le tube de verre. Lorsque je m'en aperçus, je dis aux personnes présentes que, sans nul doute, un ouragan violent soufflait quelque part. Deux heures s'étaient à peine écoulées qu'il éclatait sur l'Allemagne, quoique cependant avec moins de force que sur l'Océan. »

l'échelle de son baromètre, tout en riant des déceptions qu'il vous causait.

Aujourd'hui nous demandons le secret du lendemain à la disposition des isobares, qui sont comme un dossier d'enquête contenant les dépositions d'une centaine de témoins. Lorsqu'elles s'arrondissent et se ferment autour d'une dépression, c'est une bourrasque qui nous arrive de la mer avec son cortège de pluie et de vents. Toutes choses égales d'ailleurs, nous savons que la menace est plus grave quand les isobares se montrent serrées autour de la tempête qui approche que lorsqu'elles s'écartent et se détendent alentour. En d'autres termes, la violence des vents est en raison de la pente atmosphérique, du *gradient*, comme on dit habituellement, car les isobares, qui sont des courbes de niveau, se rapprochent d'autant plus que cette pente est plus prononcée. La forme et la disposition de ces courbes peut donc faire reconnaître l'existence d'une perturbation, et sa marche à travers l'Europe se devine d'après ses premiers pas.

Quand la bourrasque est sur nous, en un même point, le vent tourne assez vite et, sous nos climats, le plus souvent *avec le soleil* (de l'Est au Sud), comme le veut la loi de Dove. Cette loi n'est, au fond, qu'une conséquence particulière de la loi des tempêtes : la rotation de la girouette correspond au passage d'un tourbillon dont la trajectoire passe au nord de la station considérée.

Aux indications des isobares il faut joindre celles

que fournit la marche du thermomètre; d'autres pronostics se tirent de *l'état du ciel* (1). Ces fins nuages, formés d'aiguille de glace, qu'on nomme des *cirrus* et qui flottent en longues bandes à des hauteurs prodigieuses, sont les premiers avant-coureurs du mauvais temps; puis apparaissent des nuages plus épais, plus lourds et plus foncés, dont les aspects variés et caractéristiques sont des symptômes qu'il ne faut point négliger.

En somme, nous dit M. Mascart dans une récente conférence (2), d'après les vérifications que le Bureau central demande régulièrement à ses correspondants les plus autorisés, les avertissements maritimes, portant principalement sur la probabilité de la direction et de la force du vent, réussissent 83 fois sur 100; les avertissements agricoles, qui concernent les probabilités de pluie, de beau temps, etc., se confirment seulement 78 fois sur 100. Mais la valeur de ces résultats, déjà considérables, s'accroît chaque année, et les services rendus ne peuvent être contestés.

Malgré les conditions, à beaucoup d'égards défavorables, où se trouve encore placé le *Meteorological Office* de Londres, le succès des avertisse-

(1) *Comment on observe les nuages pour prévoir le temps*, par M. André Poey. Paris, 1879. Gauthier-Villars.

(2) *La Météorologie appliquée à la prévision du temps*. Leçon faite par M. Mascart à l'École supérieure de Télégraphie, recueillie par M. Th. Nouveaux. Paris, 1881. Gauthier-Villars.

ments qu'il expédie aux ports du Royaume-Uni est également satisfaisant, comme le prouve le résumé des résultats de l'année 1874 présenté au parlement anglais. Sur un nombre total de 317 avis expédiés en 1874, 144 (soit 45 pour 100) ont été justifiés par des coups de vents forts ou des tempêtes, 104 (33 pour 100) par des coups de vent modérés; 52 (16 pour 100) n'ont pas été justifiés, et dans 17 cas seulement (5 fois sur 100) l'avis a été reçu trop tard. Ce qui reste à faire se trouve nettement indiqué dans l'intéressant petit livre qu'a publié récemment le secrétaire du Bureau météorologique et qui a été traduit en français par MM. Zurcher et Margollé (1).

M. Scott se plaint de l'absence de stations convenablement distribuées sur les côtes Ouest de l'Irlande et de l'Écosse, régions d'où il importerait d'avoir de bonne heure l'annonce des changements de temps. Mais, d'une part, les communications télégraphiques sont peu développées dans ces régions presque désertes, et, de l'autre, les endroits habités se trouvent dans des baies abritées où la vraie force du vent est difficilement connue, d'où l'on ne peut, par conséquent, obtenir des renseignements très exacts. C'est ce qui arrive, par exemple, pour les stations de Valentia et de Greencastle. Il serait aussi fort utile d'avoir des postes avancés à Saint-Kilda,

(1) *Cartes du temps et avertissements de tempêtes*, par Robert-H. Scott. Paris, 1879; Gauthier-Villars.

la plus occidentale des Hébrides, et aux îles Feroë, situées au Nord de l'Écosse, car un grand nombre de tempêtes, et des plus désastreuses, arrivent de la partie nord de l'Atlantique en passant sur ces îles; mais l'importance commerciale d'une communication télégraphique avec ces rochers étant à peu près nulle, il n'est guère probable qu'on se décide à l'établir dans un intérêt scientifique.

Et pourtant les avis que pourraient envoyer ces stations avancées seraient plus précieux, à en croire M. Scott, que ceux que procurerait une communication télégraphique avec les Açores, plus précieux même que les télégrammes reçus des États-Unis. Les avis que le Bureau météorologique de Londres a reçus, pendant assez longtemps, de la station de Heart's-Content (Terre-Neuve) n'ont pu être utilisés pour deux raisons : d'abord parce que cette station est trop abritée des vents du large; ensuite, parce que les tempêtes qui traversent quelquefois l'Atlantique d'une rive à l'autre changent de caractère en route, se transforment et même se perdent complètement. « Quand les tempêtes du continent américain passent sur l'Atlantique, dit M. Loomis, elles subissent généralement d'importants changements dans l'espace de quelques jours et sont souvent comme absorbées par d'autres tempêtes qui paraissent naître sur l'Océan, de sorte qu'on peut rarement les suivre dans tout leur trajet. » M. Scott cite, à ce propos, le coup de vent qui, le 30 novembre 1874, fit sombrer le bateau à

vapeur *la Plata* près des îles de la Manche ; cette tempête, que l'on n'a pas oubliée, s'éteignit ensuite complètement et disparut avant d'avoir traversé la mer du Nord.

Nous savons que le plus souvent les bourrasques suivent le fil du grand courant que M. de Tastes appelle le *gulf-stream* aérien, courant dont le lit éprouve une lente oscillation qui tantôt le rapproche de nous en le ramenant au Sud, tantôt le relève vers les hautes latitudes ; il semble aussi qu'une branche dérivée va rejoindre un large courant circumpolaire. On a eu la pensée d'utiliser cette disposition des courants aériens pour des prévisions à huit ou dix jours d'intervalle. Depuis quelques années, l'administration du *New-York Herald* expédie à Londres et à Paris des avis annonçant l'arrivée de tempêtes. Ces avis ne se justifient qu'aux époques où le régime des basses pressions est établi dans nos régions ; quand ce sont les hautes pressions qui dominent, les perturbations venues d'Amérique sont refoulées vers le Nord et n'atteignent pas nos côtes.

En étudiant l'*Atlas* de l'Observatoire de Paris et les cartes plus récentes de M. Hoffmeyer, M. Loomis est arrivé à cette conclusion, que, lorsqu'une dépression quitte les États-Unis, la probabilité qu'elle atteindra l'Angleterre quelque part est seulement de 1:9 ; la probabilité pour qu'elle produise une tempête au voisinage d'une côte anglaise est de 1:6 et la probabilité d'une fraîche brise est de 1:2. Nous sommes loin, on le voit, de l'as-

sersion, souvent citée, de M. Daniel Draper, qui veut avoir constaté que, sur quatre-vingt-six tempêtes parties de New-York, et dont il a suivi la marche, trois seulement ne sont pas arrivées, soit à Valentia, soit à Falmouth.

M. Hoffmeyer a examiné, de son côté, la marche des perturbations de l'Atlantique pour deux périodes comprenant ensemble vingt et un mois ; il a trouvé que 19 sur 34, c'est-à-dire 56 pour 100, ont atteint l'Europe, et, sur ce nombre, 10 seulement, soit en tout 29 pour 100, ont amené des tempêtes. Quant aux lieux menacés, la probabilité qu'une dépression partie des États-Unis amènera la tempête en Europe est de 1:3 pour la Norvège, 1:4 pour les Iles-Britanniques, 1:7 pour la France, et 1:11 pour le Portugal. Ajoutons que les tempêtes qui atteignent l'Europe occidentale ne viennent pas toutes de l'Amérique : sur 100 dépressions qui abordent nos côtes, 12 viennent des régions arctiques de l'Amérique, 47 de l'Amérique du Nord et du Canada, 5 des régions tropicales ; 33 sont des minima partiels ou secondaires formés en plein Océan par segmentation des perturbations principales ; 3 naissent spontanément sur l'Océan. Il s'ensuit que les avertissements venus de l'Amérique seule ne se vérifient en moyenne qu'une fois sur deux, et qu'en tous cas la moitié seulement des tempêtes d'Europe peut être annoncée par cette voie.

Mais M. Hoffmeyer estime que les prévisions deviendraient tout à fait sûres, si l'on avait en même

temps les renseignements des îles Feroë, de l'Islande, du Groenland et des Açores. Le Verrier espérait beaucoup d'une communication télégraphique avec les Açores (1). Pour l'Angleterre, M. Scott est d'avis qu'elle n'est guère intéressée à l'établissement de cette communication, car, en rapprochant les observations simultanées faites pendant deux ans et demi aux Açores et à Valentia (Irlande), on n'a remarqué aucun rapport entre les phénomènes observés aux deux stations.

XI

Les desiderata.

Ce qui manque pour compléter nos informations peut paraître, à première vue, hors d'atteinte : ce serait un réseau de stations semées à la surface

(1) Peut-être aussi trouverons-nous dans la boussole un auxiliaire inespéré. Dans un travail communiqué, en 1860, à l'Académie des Nuovi Lincei, le P. Secchi avait signalé l'existence de rapports étroits entre les perturbations magnétiques et les changements du temps, rapports qui, selon lui, devaient un jour servir à la prévision des bourrasques. Ces idées furent confirmées, quelques années plus tard, par les recherches de M. Marié-Davy, et plus récemment M. Descroix a constaté que les troubles atmosphériques étaient annoncés, plusieurs jours à l'avance, par l'affolement des boussoles. Le service magnétique qui vient d'être établi au parc de Saint-Maur, et qui est confié à M. Mourcaux, sous la direction de M. Renou, ne tardera pas sans doute à nous éclairer sur la valeur des présages magnétiques.

même de l'Atlantique jusqu'à une distance d'environ 1000^{km} de nos côtes. Elles serviraient à signaler les bâtiments en détresse ou retenus par des vents contraires, en même temps qu'à nous renseigner sur les conditions météorologiques du large. Mais le problème des stations télégraphiques flottantes n'a pas encore été résolu d'une manière vraiment pratique.

On a proposé d'ancrer des navires par de grandes profondeurs et de les mettre en relation avec la côte par un câble sous-marin ; mais, en supposant qu'on réussît à vaincre les difficultés du mouillage à la profondeur de 1000^m ou 2000^m, serait encore malaisé de maintenir le câble électrique en bon état. On a pu s'en convaincre en 1869 : l'amirauté anglaise avait permis de mouiller le navire de l'état *le Brisk*, à titre d'essai, vers l'entrée de la Manche ; l'expérience dut être abandonnée au bout de six semaines, et elle coûta à ses promoteurs, nous dit M. Scott, « autant de mille livres sterling que *le Brisk* passa de jours à la mer. »

Pour diminuer les frais et les risques de ces entreprises, quelques savants, comme M. Morse, ont proposé que ces stations flottantes ne fussent pas pourvues d'équipages, mais seulement d'appareils enregistreurs en communication électrique avec une station du littoral. Enfin, tout récemment, on a mis en avant un autre projet qui ne laisse pas d'être séduisant : c'est le système de « télégraphie superocéanique » imaginé par M. Ernest Menusier.

L'inventeur propose de jeter un câble entre Saint-Nazaire, Bordeaux et New-York, avec embranchement, au milieu de l'océan, sur Panama; de 60 lieues en 60 lieues, il greffe sur ce câble principal un câble vertical soutenu par une bouée et deux branches en croix de 10 à 20 lieues, terminées aussi par des câbles verticaux suspendus à des bouées. Ces bouées, qui portent des numéros d'ordre, forment ainsi trois lignes parallèles sur la route des paquebots transatlantiques; on peut admettre qu'en moyenne chaque navire en rencontrera une par jour. L'extrémité libre des câbles verticaux est disposée de manière à pouvoir être facilement mise en communication avec les fils de l'appareil télégraphique installé à bord des navires, et l'on conçoit que, par ce moyen, un échange de dépêches puisse s'établir entre les navires en route et les ports de départ ou d'arrivée. Des postes centraux échelonnés, en manière de relais, sur des îles ou sur des navires solidement amarrés, faciliteraient l'organisation de ce réseau télégraphique et postal à la surface de l'océan. Les difficultés pratiques qui semblent, à première vue, s'opposer à l'exécution de cette conception hardie ne resteront pas toujours invincibles au génie de nos savants.

Entre temps, il faut souhaiter qu'on se décide à poser entre l'île Maurice et la Réunion le câble électrique que M. Bridet ne cesse de réclamer: il permettrait à l'observatoire de Port-Louis d'avertir notre colonie, dix-huit ou vingt-quatre heures

d'avance, de l'arrivée d'un cyclone et de lui épargner ainsi beaucoup de désastres.

L'île Maurice est située à environ deux cents kilomètres dans l'Est-Nord-Est de la Réunion. Le mouvement de translation des cyclones étant assez lent, les premières rafales d'un ouragan qui voyage dans la direction des deux îles se font toujours sentir à Maurice la veille du jour où le météore atteindra la Réunion. « C'est ce qui est arrivé, dit M. Bridet dans une lettre écrite au mois de juin 1881, pour le cyclone qui a passé sur la Réunion le 21 janvier dernier. L'observatoire de Port-Louis savait le 20, à 6^h du soir, que le centre du cyclone passait à 50 ou 60 milles dans le Nord, et que, sa course étant du Nord-Est au Sud-Ouest à raison de 7 milles par heure, la Réunion se trouvait juste sur le passage de ce centre, et qu'elle en serait atteinte le lendemain vers midi; tous les journaux enregistrèrent cette prévision, qui ne devait que trop malheureusement se réaliser. Pendant que l'observatoire de Port-Louis était si bien renseigné sur le danger qui nous menaçait, nous en étions, à Saint-Denis, à nous demander si le cyclone passerait au Nord ou au Sud, et à quelle distance; la direction du port de Saint-Denis faisait appareiller les navires et signalait que le cyclone passerait probablement au Nord de l'île. Les navires appareillés ne s'éloignaient pas de terre, dans la crainte d'aller se jeter au milieu de l'ouragan, et, par le fait, ils en subirent toutes les fureurs, puisque le centre du cyclone a

passé sur Saint-Denis. » S'il y avait eu un télégraphe, les navires, avertis à temps, eussent pu éviter le météore en fuyant dans le Nord.

En attendant la pose d'un câble, un habitant de la Réunion, M. L. Adam, a formé le projet de mettre les deux îles en communication régulière au moyen des signaux optiques, déjà employés avec succès entre le Maroc et la côte espagnole. Les deux stations seront établies sur des plateaux très élevés, et munies d'appareils télescopiques à miroirs de 0^m,60 de diamètre de l'invention du colonel Mangin; ces appareils sont disposés de manière à procurer l'expédition automatique des dépêches et leur réception mécanique. Les expériences qui ont été faites à Paris par M. Adam et le colonel Mangin permettent de considérer le problème comme résolu.

Quand le réseau d'observations, dont les mailles se complètent et se resserrent chaque jour, embrassera toute l'étendue de notre hémisphère, on pourra sans doute aborder avec succès les prévisions à long terme, qui seraient si importantes pour l'agriculture, et déterminer plusieurs mois d'avance le caractère dominant des saisons.

La possibilité d'une pareille entreprise résulte de la lenteur des oscillations par lesquelles se déplace le lit des fleuves aériens qui sont les grandes routes des météores. Il suffirait d'en connaître les périodes ou d'en découvrir les signes précurseurs, qui sans aucun doute existent. C'est en se fondant

sur des considérations de cette nature que M. de Tastes a réussi à prévoir la sécheresse du printemps de 1870 et l'hiver rigoureux que l'on sait.

Il ne semble pas que l'état moyen du globe ait sensiblement changé depuis les temps historiques ; les cycles se suivent, ramenant les mêmes vicissitudes, et le passé contient le secret de l'avenir. Nous voyons pourtant se produire dans les climats des modifications locales ; l'action de l'homme peut se faire sentir à la longue et dans un sens qui n'est pas toujours heureux. On sait quelle influence les déboisements exercent sur le régime des pluies et des inondations. Faut-il attribuer à des causes du même ordre la fréquence de plus en plus inquiétante des tornades et des trombes sur le territoire des États-Unis, qui fait que, dans le Far-West, on choisit, pour bâtir les fermes, des sites abrités du côté du Sud et de l'Ouest, et qu'à défaut d'un abri naturel on construit des souterrains à l'épreuve des tourmentes ? On a consulté les chroniques pour savoir si ces phénomènes étaient moins fréquents autrefois ; mais la rareté des récits peut s'expliquer, dans ces contrées, par la rareté des témoins. Il existe d'ailleurs, dans les vieilles forêts de la Pensylvanie, des bandes d'arbres d'une venue plus récente et qui semblent avoir comblé des rues ouvertes par le passage d'une trombe.

M. Blavier a signalé des changements sensibles qui se seraient opérés dans le régime météorologique des côtes de l'océan Atlantique en France,

depuis l'hiver rigoureux de 1879-1880, et qui auraient coïncidé avec la disparition des sardines de nos côtes ; il attribue ces phénomènes à un déplacement de la branche du *Gulf-Stream* qui baignait les côtes Ouest de l'Europe. Mais M. Broch a rappelé, à ce propos, des variations analogues observées dans la pêche du hareng sur les côtes de la Norvège, variations qui n'ont eu qu'une durée limitée, et pendant lesquelles le *Gulf-Stream* n'a point cessé de suivre son cours habituel. — Enfin, le professeur Shaler attribue le refroidissement progressif de l'Amérique septentrionale à un exhaussement du détroit de Behring, qui aurait eu pour effet de fermer l'accès de cette région au courant d'eaux chaudes du Japon, et il pense qu'en faisant sauter trois petites îles qui obstruent le détroit, il serait possible d'y ramener le courant en question et de tempérer par son influence les rigueurs du climat boréal. De pareilles entreprises nous semblent aujourd'hui fantastiques ; mais qui peut dire où s'arrêtera le génie de l'homme ?

Sauf les cas bien rares de changements dus à des causes locales, tout porte à croire que les années, les saisons, les jours, en se succédant, ne font que parcourir une série plus ou moins longue, mais limitée, d'*aspects* caractéristiques, d'aspects bénins ou mauvais, dont il suffirait de fixer les images pour les reconnaître plus tard de fort loin. Pour M. Robert Scott, en fait de signaux, l'idéal serait un recueil de cartes typiques du temps que l'on distribuerait

aux marins : on se contenterait ensuite de hisser chaque fois le numéro de la carte à laquelle ils auraient à se reporter. De même, les années de sécheresse ou de pluie, les étés chauds et les étés tempérés, les hivers doux et les hivers rigoureux, se dessinent probablement, longtemps à l'avance, dans les méandres des isobares ; il nous faudra l'expérience de quelques dizaines d'années pour en établir le pronostic à coup sûr. Et quand nous serons parvenus à ce résultat, quels qu'aient été les efforts dépensés, nous reconnaitrons sans doute que nous ne l'aurons pas payé trop cher.



APPENDICE

M. Colding, dans son Mémoire de 1871 (*Nogle Bemærkninger*, etc.), considère un courant circulaire d'épaisseur H , mesurée entre la surface cylindrique intérieure (surface libre) et la surface extérieure (formée par le milieu ambiant). En désignant par V la vitesse de rotation de la surface libre, la vitesse v d'un élément du courant, à la distance h de la surface libre, est donnée par la formule

$$\frac{v}{V} = 1 - 0,433 \left(\frac{h}{H} \right)^{\frac{3}{2}}$$

que M. Colding a établie dans un travail antérieur. Entre les deux surfaces cylindriques du courant, il existe une infinité de surfaces de niveau, en forme d'entonnoir, où la pression est constante, d'où il suit que, sur une section horizontale, la pression diminue en allant du contour extérieur au contour intérieur. Ces surfaces de niveau (isobares) sont déterminées par l'équation différentielle

$$gdz = \frac{v^2}{r} dr,$$

qu'on obtient en faisant $dp = 0$; g est la constante de la gravité, z l'ordonnée verticale, r la distance à l'axe central. Soit encore α la distance de la surface libre à l'axe central, on aura $r = \alpha + h$, et en mettant pour v son expression en fonction de h , on pourra intégrer l'équation ci-dessus et obtenir l'équation des surfaces isobares sous forme finie. Il ne reste plus alors qu'à déterminer la distribution des pressions sur une section horizontale du tourbillon. Soit p_0 la pression qui règne sur le bord intérieur, à la distance α de l'axe (et qui, dans les tourbillons atmosphériques, paraît être constante sur une aire centrale de diamètre 2α); on aura la pression p à la distance r , en ajoutant à p_0 le poids d'une colonne du fluide de hauteur $z = f(r)$.

Cette théorie, établie pour un courant circulaire liquide, semble pouvoir s'appliquer également aux tourbillons atmosphériques. En tout cas, M. Colding a montré qu'elle se vérifie pour les ouragans observés à Saint-Thomas le 2 août 1837 et le 21 août 1871. En adoptant, pour le premier, $\alpha = 2,4$; $H = 24$ milles (ce qui donne, en nombre rond, 400^{km} pour le diamètre du cyclone), avec une vitesse de translation de 6 milles par heure, M. Colding trouve en effet :

Excès de pression

h	calculé	observé
0,0	0,00	0,0
2,4	6,34	6,3
4,8	10,35	10,4
7,2	12,98	13,2
9,6	14,74	15,0
12,0	16,01	16,1
18,0	17,86	17,5
24,0	18,64	18,3

Les pressions barométriques sont ici exprimées en lignes.
On trouve encore

$$\frac{1}{g}V^2 = 9,76 \text{ lignes de mercure} = 710 \text{ pieds d'air,}$$

d'où

$$V = 149 \text{ pieds;}$$

et, pour $h = H$,

$$v = 0,567. \quad V = 84,5 \text{ pieds.}$$

Il s'ensuit que la vitesse de rotation a été d'environ 175^{km} par heure sur le bord intérieur et de près de 100^{km} sur le bord extérieur du tourbillon, tandis que sa vitesse de translation était de 45^{km}, à peu près la moitié de la vitesse de rotation extérieure. M. Golding a constaté un rapport analogue dans les tourbillons qui se forment lorsqu'un courant rapide côtoie une masse d'eau immobile en aval d'un pont. Ces tourbillons roulent sur la rive liquide, et leur vitesse de translation est environ la moitié de leur vitesse de rotation extérieure, qui est à peu près égale à la vitesse du courant.

Un raisonnement très simple fait voir ensuite comment l'air extérieur doit pénétrer dans le tourbillon, toutes les fois que les obstacles du sol diminuent la vitesse de rotation et, par suite, la force centrifuge; les masses d'air qui s'introduisent ainsi dans la partie centrale s'écoulent le long des surfaces de niveau et sont rejetées par l'orifice supérieur. Cet écoulement se fait à peu près comme celui d'un courant liquide se déversant sur une nappe d'eau horizontale.

On peut admettre que les tourbillons naissent sur les deux rives des courants de sens contraires qui se côtoient lorsque les courants équatoriaux (chez nous vents de S.-O.) descendent des hautes régions de l'atmosphère et se mêlent aux courants polaires (vents de N.-E.). Mais les tourbillons nés sur la rive gauche d'un courant, qui par conséquent tournent toujours *contre* le soleil, se

trouvent seuls dans les conditions voulues pour fournir de véritables cyclones; ceux qui se forment sur la rive droite, et qui tournent avec le soleil, n'ont aucune stabilité et disparaissent promptement. Cela tient à ce que les premiers, d'après M. Colding, se meuvent dans une zone de faibles pressions, entre deux courants contigus et contraires qui tendent à se séparer, tandis que les seconds se meuvent dans une zone de pressions fortes, entre deux courants qui tendent à se rapprocher.



LES PROGRÈS

DE LA

MICROGRAPHIE ATMOSPHÉRIQUE

Depuis cinquante ans, c'est-à-dire depuis les premières recherches d'Ehrenberg et de Gaultier de Claubry sur la nature des poussières atmosphériques, on a vu se produire un grand nombre de travaux, de valeur diverse, qui nous ont peu à peu familiarisés avec l'idée de chercher dans l'air les germes des maladies épidémiques. Le mot de Pringle, que « l'air est plus meurtrier que le glaive, » semble se vérifier de plus en plus. Mais on ne se borne plus à parler vaguement de « l'air impur » des grandes villes, des « miasmes » qui infestent les salles d'hôpitaux; il s'agit désormais de saisir sous une forme visible l'ennemi qui se cache dans l'air, d'établir le signalement qui le fera reconnaître, d'étudier les moyens de l'exterminer.

Ce sont les admirables travaux de M. Pasteur qui, plus que tous les autres, ont contribué à répandre ces idées et à stimuler les efforts des chercheurs en nous apprenant à découvrir dans les poussières aériennes les germes des ferments, à les isoler, à les récolter, à les soumettre à des cultures qui les

multiplient. Et l'un des progrès les plus utiles parmi ceux qui procèdent de cette féconde impulsion, c'est la création du service de Micrographie atmosphérique qui a été inauguré en 1875 à l'Observatoire de Montsouris.

Commencées d'abord par M. Schœnauer, les analyses microscopiques de l'air ont été continuées à Montsouris, depuis 1877, par M. P. Miquel, qui vient de résumer dans une belle publication les résultats de ces huit années de recherches (1). Avec un tel guide, nous pouvons essayer, sans trop de risques, d'exposer brièvement l'état de la question.

Les sédiments que charrient les fleuves aériens offrent un mélange complexe et infiniment varié de poussières minérales, de débris organiques et d'organismes vivants de nature animale ou végétale. Les particules inertes fournies par le règne minéral se présentent le plus souvent sous la forme de fragments irréguliers à arêtes vives et tranchantes, dont la grosseur varie depuis le grain de sable visible à l'œil nu jusqu'aux poussières les plus fines. A cette limite d'extrême division, où le microscope lui-même semble impuissant à en définir les contours, elles se distinguent à peine des germes de bactériens, et l'observateur serait fort embarrassé d'en déterminer la vraie nature, s'il n'existait pas aujourd'hui

(1) *Les Organismes vivants de l'atmosphère*, par M. P. Miquel. Paris, 1883; Gauthier-Villars.

un mode d'expérimentation qui permet de suppléer à l'insuffisance des moyens optiques, je veux dire la culture des microbes, pratiquée avec tant de succès par M. Pasteur et ses disciples. C'est par les ensemencements que l'on parvient à démontrer l'existence des germes qui se dérobent à l'investigation directe.

Les procédés employés pour recueillir les poussières atmosphériques se sont graduellement perfectionnés sous la main d'une foule d'expérimentateurs habiles. Le moyen le plus simple consiste à exposer à l'air une plaque de verre enduite d'un liquide gluant; une autre méthode revient à examiner l'eau de pluie, la neige ou la rosée artificielle qui se dépose sur un ballon de verre rempli de glace. On n'obtient ainsi, avec beaucoup de fatigue, que des résultats insignifiants. Pour arriver à récolter en peu de temps des quantités notables de sédiments, il faut recourir à des appareils que traverse un courant d'air provoqué par une trompe ou tout autre système d'aspiration. Tels sont les divers appareils collecteurs fondés sur le principe de l'aéroscope de Pouchet et munis de compteurs qui permettent de mesurer le volume d'air aspiré. Pour retenir les poussières que charrie le courant d'air, on emploie généralement des lamelles glycinées.

La goutte de glycérine qui contient la récolte étant portée sous le microscope, on y constate d'abord la présence des sédiments inertes qui en constituent d'ordinaire les éléments les plus abon-

dants. Comme l'avait déjà remarqué M. Pouchet, ces éléments bruts des poussières sont caractéristiques de leur lieu d'origine : l'air des appartements habités tient en suspension des brins de soie, de coton, de chanvre, de laine; dans l'air des rues, ces épaves microscopiques de la civilisation deviennent plus rares et sont noyées dans les détritux terreux; à la campagne, des fibres d'écorce ou de végétaux en décomposition prédominent dans le mélange.

D'autre part, le poids des sédiments récoltés aux champs est, pour un même volume d'air, plus faible que celui des poussières récoltées en ville, ainsi que l'avaient déjà démontré les expériences de M. G. Tissandier. M. Miquel ajoute que, d'après ses propres expériences, la quantité des poussières atmosphériques diminue tellement après les pluies, qu'il faut renoncer à en évaluer le poids, au parc de Montsouris. Cette diminution porte principalement sur les matières inorganiques.

A côté des sédiments de nature terreuse, charbonneuse, ferrugineuse, et des débris de toute sorte enlevés par le vent à nos habitations, les poussières renferment des poils de végétaux, des fragments de duvet ou d'écaillés, des pattes d'insectes, des dépouilles d'acariens, etc.; il est beaucoup plus rare d'y rencontrer des œufs ou des cadavres d'infusoires nettement reconnaissables. Pour démontrer l'existence des œufs d'infusoires dans les poussières atmosphériques, il faut généralement recourir

aux procédés d'ensemencement par lesquels on parvient à les faire éclore dans des sortes d'aquariums minuscules. Par ce mot d'*infusoires*, on entend ici des animalcules microscopiques qu'il ne faut pas confondre avec les bactériens, rangés désormais parmi les cryptogames d'ordre infime.

En dehors de ces œufs, si rarement vus, et des germes de bactéries, toujours fort difficiles à saisir, comme nous l'avons déjà dit, le microscope fait découvrir, parmi les sédiments atmosphériques, plusieurs classes de corpuscules organisés, parfaitement visibles avec des grossissements de 100 à 500 diamètres et qui peuvent être classés comme il suit : 1° de simples grains d'amidon ; 2° des pollens incapables de germer, mais propres à féconder les ovules de certaines plantes ; 3° des spores de cryptogames capables de germer et de former une moisissure, une algue, un lichen déterminé ; enfin 4° des végétaux complets, tels que les algues vertes, les conidies, les levures, les diatomées, etc.

Les pollens, fort répandus dans l'air au printemps et en été, tendent à disparaître à l'approche de l'hiver. A Paris, pendant l'été, on en trouve souvent de 5000 à 10000 par mètre cube. La rareté des pollens caractérise les poussières recueillies en hiver ou dans des lieux fermés.

Parmi cette armée de corpuscules organisés, le contingent principal est fourni par les plantes cryptogames, dont les spores offrent une grande variété de formes et de modes d'association. Pendant l'hi-

ver, ces spores sont habituellement vieilles et rares, au moins par les temps humides. La température douce des mois d'avril et de mai donne un premier essor à la végétation cryptogamique, et l'air se charge alors de jeunes spores auxquelles succèdent plus tard les grosses fructifications qui persistent durant tout l'été.

Pour établir aussi exactement que possible la statistique des spores aériennes des moisissures, M. Miquel a pensé que le procédé le plus sûr serait de les compter directement sous le microscope. En effet, la méthode des ensemencements fractionnés, employée faute de mieux pour l'évaluation des germes de bactéries à peine visibles au microscope, a le défaut de ne rien nous apprendre sur les microbes incapables de se multiplier dans les liquides adoptés : on sait qu'un grand nombre de semences de lichens, d'algues et de champignons ne se développent jamais dans les sucs ou les bouillons où se plaisent certaines mucédinées, et l'on risque ainsi d'obtenir des résultats fort incomplets. En comparant entre eux le nombre des spores germées dans les liquides en question et celui des spores comptées au microscope, M. Miquel a trouvé que le premier était au second comme 1 est à 20; d'où il faut conclure que, sur vingt semences introduites dans le ballon, dix-neuf y restent inactives et passent inaperçues. Il est vrai, d'autre part, que dans les dénombrements directs on ne peut guère éviter de comprendre les spores infécondes tuées par la

vicillesse et la sécheresse. Mais la numération des spores, répétée souvent dans le même lieu et dans des conditions identiques, peut au moins nous éclairer sur leurs variations, et c'est là l'essentiel.

La comparaison des chiffres obtenus à des jours différents montre que la fréquence des spores tantôt se maintient stationnaire, tantôt présente de brusques variations. Si, à telle époque, le mètre cube d'air n'en contient que 1000 ou 2000, à d'autres moments leur nombre peut s'élever à 100000 ou 200000. Le maximum s'observe d'ordinaire au mois de juin (35000 spores par mètre cube d'air pour la moyenne de cinq années). Pendant l'hiver, le nombre des spores demeure relativement bas, surtout par les temps froids et humides, tandis qu'en temps de sécheresse l'air se trouve souvent assez riche en vieilles semences que les vents soulèvent en balayant le sol. En été, les alternatives de sécheresse et d'humidité produisent des effets tout différents. Les pluies qui surviennent quand la température est assez élevée pour favoriser le développement des végétaux inférieurs rajeunissent les vieux mycéliums, les graines de cryptogames, qui ne tardent pas à fructifier et à livrer aux vents les millions de semences qu'elles ont engendrées. Si les pluies viennent à manquer, les parasites privés d'air s'étiolent et meurent, et les spores aériennes disparaissent peu à peu. Quelques observateurs cependant ont cru pouvoir affirmer que les pluies d'été purifiaient l'air et le débarrassaient de

ces végétaux parasites; c'est qu'en effet une forte pluie entraîne vers le sol la plupart des poussières que l'air tenait en suspension; mais, quinze heures après ce lavage, on voit les semences reparaître cinq ou dix fois plus nombreuses! C'est ainsi que s'expliquent les contradictions apparentes qu'on relève dans les faits observés par quelques expérimentateurs habiles.

En dehors de la température et de l'humidité, la direction du vent paraît encore exercer une influence marquée sur la fréquence des spores dans l'air de Montsouris : les vents du Nord, qui parviennent à l'observatoire après avoir traversé Paris suivant l'un de ses grands diamètres, sont toujours très chargés de poussières organisées, ce qui prouve que les villes populeuses conservent toute saison un degré d'infection très supérieur à celui de l'atmosphère des champs. En prenant les moyennes d'une période de trois années, M. Miquel a trouvé les chiffres suivants pour les spores contenues dans un mètre cube d'air, à Montsouris :

Hiver.	Printemps.	Été.	Automne.	Année.
6200	13000	28000	9800	14200

La moyenne générale est d'environ 14000 par mètre cube (14 par litre); mais en tenant compte de ce fait que les aérosopes laissent échapper au moins la moitié des poussières atmosphériques, il semble que nous serons plus près de la vérité en portant le nombre moyen des spores contenues dans un litre d'air à 30.

Quant à la détermination exacte de ces spores, qui serait du ressort des botanistes de profession, M. Miquel l'a provisoirement laissée de côté. « Le micrographe qui voudra s'occuper sérieusement de leur étude, dit-il, trouvera, j'en suis persuadé, de nombreux faits intéressants à publier. Il verra, par exemple, plusieurs espèces d'algues et de champignons se faire rares à certaines époques de l'année et abonder dans d'autres; il verra plusieurs espèces de microphytes envahir presque soudainement l'atmosphère, s'y maintenir très fréquentes pendant deux ou trois ans, puis disparaître ou devenir d'une extrême rareté. Avec le secours des aéroscopes, il lui sera aisé de découvrir dans l'air de certaines régions les graines de quelques moisissures redoutées des agriculteurs... Au point de vue de l'hygiène et de l'étiologie de quelques affections contagieuses, il ne paraît pas établi que les spores si diverses introduites dans notre économie, au nombre de 200 000 par jour ou de 100 millions par an, soient de l'innocuité la plus parfaite. L'apparition du muguet dans la bouche des jeunes enfants et dans les voies respiratoires des mourants semble bien démontrer que les moisissures font aussi partie de la classe des parasites prêts à envahir notre organisme dès qu'il présente un point vulnérable ou de faible résistance. »

En somme, le rôle de ces végétaux microscopiques semble pourtant être beaucoup moins important que celui des bactéries, dont il sera bientôt

question. Leur mission apparente est de nous débarrasser promptement d'une foule de substances mortes qui encombrant le sol. Dans l'air des égouts, ils sont plus rares qu'on ne l'aurait cru : leur nombre moyen s'y rapproche de celui qui a été noté pour l'air du parc de Montsouris ; mais souvent aussi on le trouve plus faible. Dans les salles de l'Hôtel-Dieu, on a compté en moyenne 5 spores par litre d'air ; aux laboratoires de Montsouris, à peine 3 spores par litre.

On voit que les semences cryptogamiques sont beaucoup plus rares dans les atmosphères confinées qu'à l'air libre. L'analyse microscopique des poussières répandues sur les meubles de nos appartements conduit à des résultats analogues. Il n'en est pas moins vrai que, dans les chambres de malades, ces poussières pourraient conserver pendant longtemps des germes d'infection et mériteraient d'être étudiées, à ce point de vue, avec le plus grand soin.

Nous arrivons à la partie la plus intéressante des recherches de M. Miquel, qui a pour objet l'étude des germes de bactériens répandus dans l'air. Laissant de côté les nombreuses classifications, plus ou moins arbitraires, qui ont été proposées par divers botanistes, M. Miquel se contente de diviser ces organismes microscopiques en micrococcus, bactériums, bacilles et vibrions. Les micrococcus se présentent ordinairement sous la forme de cellules globuleuses, privées de mouvements

spontanés, dont les dimensions ne dépassent pas quelques millièmes de millimètre; les microbes de ce groupe sont ceux qui dominent dans l'air de Paris. Les bactériums affectent la forme de bâtonnets courts, mobiles, isolés ou réunis entre eux, au nombre de deux à quatre articles. Lorsqu'ils abondent dans une infusion, ils y produisent, en se croisant en tous sens, une sorte de fourmillement. Il devient souvent difficile de les distinguer des bacilles, qui sont formés de cellules disposées en filaments rigides de longueur indéterminée. Les bacilles sont, les uns immobiles (comme la bactérie charbonneuse de M. Davaine), les autres mobiles (comme le ferment butyrique de M. Pasteur); à côté des bacilles à filaments uniques, on rencontre encore des bacilles rameux. Enfin, M. Miquel réserve le nom de *vibrions* aux organismes filamenteux, mous, ondulants, qui se meuvent dans les infusions à la manière des anguilles, tandis que M. Pasteur comprend sous cette dénomination une foule de bacilles.

Cette classification, fondée simplement sur des caractères extérieurs, a l'avantage de ne pas trancher prématurément des questions qui ne pourront être élucidées que lorsque nous connaîtrons mieux les phases variées de la germination et de la croissance de ces êtres infimes, les modifications qu'ils peuvent subir sous l'influence d'une nutrition riche ou pauvre, de la température, des agents chimiques, etc. Cette étude difficile est à peine ébau-

chée, et une obscurité profonde règne encore sur la filiation des espèces bactériennes, ainsi que sur les transformations dont elles sont susceptibles.

Les aérosopes, d'un usage fort commode pour l'étude statistique des spores de cryptogames telles que les moisissures, les algues vertes, les lichens, deviennent insuffisants lorsqu'il s'agit de compter ces germes de bactériens, qu'un voile à peine translucide cache encore à nos yeux. Après avoir longtemps expérimenté cette méthode d'observation fatigante et le plus souvent illusoire, M. Miquel s'est définitivement arrêté à celle desensemencements, préconisée par M. Pasteur. Il se sert, à cet effet, de tubes à boule, contenant une liqueur putrescible, préalablement stérilisée, et dans lesquels l'air est introduit par un aspirateur. Le passage de l'air une fois terminé, l'orifice d'entrée doit être scellé à la lampe, tandis que l'extrémité opposée du tube reste bouchée par un tampon d'amiante. Le petit ballon ainsiensemencé est alors placé à l'étuve, et son contenu s'altère ou ne s'altère pas, suivant que l'air aspiré était ou non chargé de germes. Chaque expérience étant faite sur cinquante tubes à boule, dont chacun reçoit le même volume d'air, on admet que la richesse de cet air en germes est indiquée par le nombre des tubes dont le contenu s'altère.

Tel est le principe de la méthode des «ensemencements fractionnés.» Elle suppose, avec raison, que chacune des conserves qui se sont altérées a reçu

au moins un germe; mais il est clair aussi qu'elle a pu en recevoir davantage. M. Miquel s'est parfaitement rendu compte de la justesse de cette objection, qui repose sur la distribution inégale des corpuscules dans un volume d'air donné. « Aussi faible qu'on le suppose, dit-il, le poids des poussières introduites dans un seul ballon peut renfermer deux, trois ou plusieurs germes de la même espèce, qui ne sont, plus tard, comptés que pour un seul. Quelquefois aussi plusieurs spores diverses peuvent adhérer ensemble, et celle qui germe le plus tôt peut entraver le développement des autres, en envahissant rapidement le milieu où elles sont semées en bloc. Souvent il arrive aussi que l'air, abondamment pourvu de graines de moisissures, en apporte plusieurs espèces capables de croître dans le bouillon neutralisé, d'absorber rapidement l'oxygène dissous dans le liquide, et de priver ainsi les germes atmosphériques des bactéries d'un élément nécessaire à leur éclosion. Généralement cependant, les moisissures croissent lentement dans le bouillon privé de toute acidité, et les bactéries prennent vite le dessus. »

Ces causes d'erreur font que les nombres obtenus restent souvent au-dessous de la réalité; on pourra toutefois admettre qu'ils indiquent assez exactement la richesse relative de l'air à des époques différentes, si l'opérateur a soin de se placer toujours dans les mêmes conditions d'expérience. Ce qui semble prouver que les germes sont d'ordinaire

répartis d'une manière uniforme dans le milieu ambiant, c'est que quatre ou cinq groupes d'expériences effectuées dans le cours d'une journée et au même endroit donnent des résultats à peu près identiques, si le vent ne varie pas, et si l'air n'est pas, dans l'intervalle, lavé par la pluie ou par une chute de neige. Il en serait autrement si l'on admettait, avec M. Tyndall, l'existence de ces nuages ou essaims de bactéries, que le célèbre physicien anglais veut avoir observés à l'aide du « plateau des cent tubes. » C'est une sorte de damier garni de cent tubes à essai qui renferment des infusions préalablement bouillies ; en le laissant exposé à l'air, on constate que les tubes sont attaqués d'une manière très inégale, et M. Tyndall en conclut que les germes flottent dans l'atmosphère par groupes et par nuages qui se succèdent d'une manière plus ou moins capricieuse. Mais ce mode d'expérimentation n'est pas assez précis pour conduire à des résultats concluants. « Pour ma part, dit M. Miquel, je ne crois pas aux nuages de bactéries, dont je compare l'existence éphémère à la fumée des usines, diluée dans l'atmosphère au fur et à mesure qu'elle s'échappe du foyer qui la produit, surtout si le vent a quelque force. »

En attendant qu'on trouve un procédé plus sûr, on pourra donc se servir avec confiance de celui qui est journellement employé depuis cinq ans par les habiles expérimentateurs de l'Observatoire de Montsouris.

Mais les précautions dont il est indispensable de s'entourer pour obtenir des liquides nutritifs parfaitement stérilisés avant l'ensemencement ne sont pas aussi simples qu'on l'avait longtemps supposé. La température de l'ébullition est en général insuffisante pour tous les germes contenus dans ces liquides, et, s'ils restent parfois limpides après un chauffage à 100° C. ou même à 70° C., cela prouve seulement que les germes qu'ils tiennent en suspension n'y trouvent pas les conditions favorables à leur développement; pour se convaincre de la persistance de cette fécondité latente, il suffit d'ensemencer avec une goutte de ces liquides un bouillon parfaitement stérilisé. La température nécessaire pour détruire sûrement les germes des microbes les plus réfractaires à la chaleur humide n'est pas inférieure à 110° C.; encore faut-il la faire agir pendant deux ou trois heures, car des germes de bacilles peuvent résister dix minutes dans l'eau chauffée à près de 140° C. Comme ces températures élevées auxquelles il faut soumettre les infusions végétales, bouillons, jus de viandes, etc., pour les stériliser, ont pour conséquence d'altérer les substances albuminoïdes de ces liqueurs, on a cherché d'autres procédés pour obtenir des milieux nutritifs sans germes, et M. Pasteur en a indiqué plusieurs: on arrive, en effet, au même but en extrayant directement, avec certaines précautions, les liquides animaux de l'organisme des êtres vivants, en faisant digérer de la viande fraîche dans de l'eau portée au

préalable à 110° C., en filtrant les sucs ou les jus de viande à travers du plâtre, de l'amiante, etc. En somme, on possède désormais plusieurs moyens de préparer sûrement des liquides purs de tout germe et capables de favoriser l'éclosion des bactéries aussitôt qu'ils en sontensemencés.

A l'Observatoire de Montsouris, les tubes à bouleensemencés sont placés sur des supports et rangés sur les étagères d'une étuve maintenue constamment à une température de 30° C. à 35° C., qui paraît favorable au développement de la plupart des bactéries. La durée d'incubation, fort variable, est le plus souvent de deux à cinq jours; il est assez rare de voir apparaître les signes d'altération au bout de vingt-quatre heures, et encore plus rare de voir une conserve se troubler seulement au bout d'un mois. A Montsouris, ce n'est que vers le quarantième jour que les conserves restées stériles sont définitivement supprimées, ce qui est plus que suffisant pour assurer la rigueur des statistiques. Mais, pour obtenir des chiffres comparables, il faut user toujours du même liquide nutritif, car le degré de sensibilité ou d'altérabilité des divers liquides employés pour les besoins de la micrographie varie beaucoup.

Ainsi M. Miquel a trouvé l'infusion de foin, tant vantée, *trente-trois fois moins sensible* que le bouillon Liebig neutralisé; ce dernier, à son tour, l'est quatre fois moins que le bouillon de bœuf neutralisé, et sept fois moins que le même bouillon

neutralisé et salé au centième. On remarquera l'accroissement de sensibilité que produit ici une faible dose de sel marin; il paraît, en effet, que le chlorure de sodium, loin de gêner l'évolution des germes de microbes, la favorise au contraire, mais seulement quand la dose de sel est modérée; le maximum d'altérabilité a lieu pour la proportion de 7^{gr} à 8^{gr} de sel par litre; au-delà de 18^{gr}, le sel agit comme antiseptique. — Le jus de veau, stérilisé par filtration sur le plâtre, à la température ordinaire, a été trouvé treize fois plus altérable que le bouillon Liebig stérilisé à 110° C., qui sert de type de comparaison (1). Il semble d'ailleurs que les liquides pourvus d'un degré de sensibilité élevé favorisent d'une manière spéciale le rajeunissement des bactériums, dont on voit alors augmenter la proportion par rapport aux bacilles et aux micrococcus.

Ce qui vient d'être dit suffit pour montrer avec quel soin sont exécutées les recherches statistiques qui se poursuivent à Montsouris, et combien d'efforts ont été faits pour écarter toutes les causes d'erreur. Il semble donc que les moyennes établies par M. Miquel et ses collaborateurs puissent être acceptées avec confiance. En les comparant avec la température, l'état de sécheresse et d'humidité, etc.,

(1) Le degré de sensibilité d'un liquide une fois déterminé par les comparaisons, les résultats qu'il fournit peuvent être réduits au liquide normal (bouillon Liebig).

il est facile de saisir des relations constantes entre le chiffre des microbes et divers états météorologiques bien tranchés. En général, le chiffre des bactéries, peu élevé en hiver, croît au printemps, reste haut en été et baisse rapidement à la fin de l'automne; cependant les variations sont moins régulières que dans le cas des moisissures, comme le montrent les moyennes mensuelles relatives à la période triennale 1880-1882, que nous mettons en regard des moyennes mensuelles des spores de cryptogames, pour la période quinquennale 1878-1882 :

Bactéries.		Spores.		Bactéries.		Spores.	
Janvier...	48	7,150	Décembre...	50	7,030		
Février...	33	7,090	Novembre...	128	8,910		
Mars.....	67	5,480	Octobre.....	170	14,330		
Avril.....	55	7,510	Septembre...	103	15,930		
Mai.....	105	12,230	Août.....	80	23,910		
Juin.....	51	35,030	Juillet.....	95	27,760		

Les variations du nombre des bactéries sont encore bien plus capricieuses lorsque l'on considère séparément les moyennes mensuelles de chaque année :

	1880.	1881.	1882.	1880-82.
Avril.....	56	48	60	55
Mai.....	195	80	40	105
Juin.....	39	92	21	51
Juillet.....	53	190	43	95

On s'assure aisément que ces fluctuations dépendent des alternatives de sécheresse et de pluie. Contrairement à ce qui se remarque pour les spores

des moisissures, le chiffre des bactéries, faible en temps de pluie, s'élève toujours pendant la sécheresse. Cela tient sans doute au mode de végétation des microbes, qui recherchent les milieux humides, les substances imbibées de suc, que les vents n'arrachent pas facilement du sol mouillé; il en résulte que l'air ne commence à s'en peupler que lorsque toute humidité a disparu du sol. On peut cependant constater que les chaleurs fortes et *continues* amènent une diminution du nombre des bactéries, dont elles affaiblissent évidemment la vitalité. La force et la direction du vent ne sont pas non plus sans influence sur les résultats obtenus, surtout quand le sol est sec et friable. Les statistiques de Montsouris prouvent que l'air le plus pur vient du Sud, du côté d'Arcueil (42 microbes par mètre cube), tandis que l'air le plus impur arrive du Nord-Est, des collines de Belleville et de la Villette (152 microbes par mètre cube).

Voici enfin les moyennes trimestrielles obtenues depuis l'hiver de 1879-1880.

Automne.	Hiver.	Printemps.	Été.	Année.
121	53	70	92	84

En somme, l'air du parc de Montsouris renferme donc par mètre cube quatre-vingt-quatre bactéries rajeunissables dans le bouillon Liebig (1). Mais

(1) Ou près de 600 microbes qui pourraient éclore dans le bouillon de bœuf chargé de 10^{gr} de sel par litre, dont la sensibilité est sept fois plus grande.

l'impureté de l'air va en croissant à mesure qu'on se rapproche du centre de la ville. Deux années de recherches comparatives exécutées simultanément à Montsouris et à la rue de Rivoli, avec de l'air puisé au milieu du parc et pris à la mairie du IV^e arrondissement, à 4^m au-dessus de la chaussée, ont prouvé que l'atmosphère centrale de Paris est neuf ou dix fois plus chargée de microbes que l'air pris dans le voisinage des fortifications. C'est ce que montrent avec évidence les moyennes suivantes :

	Automne.	Hiver.	Printemps.	Été.	Année.
Montsouris.....	89	56	57	100	75
Rue de Rivoli...	760	410	940	920	750

En considérant les résultats journaliers, on constate des variations beaucoup plus marquées : les minima, pour la rue de Rivoli, peuvent descendre au-dessous de 20, et les maxima dépasser 5000 germes par mètre cube (aux époques de sécheresse, quand les voies publiques n'ont pas été arrosées). Mais, dans les régions supérieures, l'air paraît être toujours remarquablement pur ; au sommet du Panthéon, M. Benoist a trouvé deux fois moins de germes qu'à Montsouris.

Comme on vient de le voir, l'infection de l'air est habituellement dix fois plus grande dans l'intérieur de Paris qu'à Montsouris. Les analyses effectuées au cimetière de Montparnasse n'ont donné que des nombres doubles de ceux de Montsouris ;

il semblerait donc que les cimetières, loin d'être des foyers d'infection, sont plutôt une cause d'assainissement des grandes villes, au même titre que les jardins publics. Cette conclusion a été pleinement confirmée par des expériences directes, qui ont démontré que des masses d'air, chassées à travers un amas de terre saturée de substances putrides, restaient néanmoins aussi pures que l'air filtré par une bourre de coton. On n'aurait donc à redouter que les microbes que la pelle du fossoyeur amène accidentellement à la surface du sol.

Les neuf dixièmes des bactéries qui existent dans l'air de Paris proviennent des poussières accumulées dans les maisons et de la boue desséchée des rucs. La poussière des rucs s'insinue continuellement dans l'intérieur des maisons, qui la restituent à l'air ambiant au moment des nettoyages, échange incessant qui perpétue fatalement l'infection de l'atmosphère des grandes agglomérations humaines. Un danger des plus graves vient des virus figurés qui s'amassent dans les chambres des malades, et qui ont pour origine les desquamations, crachats et déjections de toute sorte, desséchés et réduits en poudre impalpable, qui pénètre partout. Après la mort des malades ou leur guérison, on se livre à un semblant de désinfection qui ne détruit rien, et des germes d'épidémie peuvent ainsi rester longtemps cachés, en conservant une funeste vitalité. Mais le danger qui réside dans les immondices dont le sol des grandes villes est saturé et qui infes-

tent les rues, n'est pas moindre : de là l'importance d'une solution pratique du grave problème des vidanges. En tout cas, M. Miquel est d'avis que le moyen le plus efficace pour purifier l'atmosphère des villes consiste à conduire sans délai à l'égout tout ce qui est déjà putréfié ou susceptible d'entrer en putréfaction.

Malgré les récentes découvertes de M. Davaine, de M. Pasteur, et de quelques autres savants, les rapports qui existent entre les bactéries de l'air et les maladies *zymotiques* (maladies causées par un ferment) sont encore enveloppés d'une grande obscurité. On n'a encore réussi à démontrer l'existence d'un microbe spécifique que pour un très petit nombre d'affections. M. Miquel a essayé de simplifier les termes du problème en se contentant de confronter les fluctuations du nombre des bactéries avec celles du chiffre des décès enregistrés à Paris depuis trois ans et attribués aux maladies suivantes : fièvre typhoïde, variole, rougeole, scarlatine, coqueluche, affections diphtériques, dysenterie, érysipèle, infection puerpérale, diarrhée cholériforme des jeunes enfants. Cette comparaison a montré que les crues des microbes sont presque toujours suivies, à courte échéance, d'une aggravation de la mortalité, sans qu'il y ait cependant un rapport direct entre le chiffre des bactéries et celui des décès. C'est une question qui demande évidemment, pour être tranchée, des recherches longtemps continuées.

Au point de vue de l'hygiène, un intérêt particulier s'attache aux expériences instituées dans les salles d'hôpitaux. M. Miquel a effectué, depuis 1878, un grand nombre d'analyses dans les salles de l'Hôtel-Dieu et de la Pitié. A l'Hôtel-Dieu, les moyennes mensuelles ont varié depuis 4000 jusqu'à 7500, quand l'air du parc de Montsouris ne contenait que 82 microbes par mètre cube. A la Pitié, les moyennes, beaucoup plus élevées en hiver qu'en été, approchent parfois de 29000; la moyenne générale, déduite de quinze mois d'observations, est de 11000 microbes par mètre cube d'air. Pendant les mois d'été, le nombre des bactéries est deux fois plus faible, sans doute parce qu'alors les fenêtres restent ouvertes une grande partie de la journée. L'atmosphère des salles se purifie alors, aux dépens, il est vrai, du quartier environnant.

On n'a pas oublié l'épidémie de variole qui, en 1880, s'était développée autour de l'annexe de l'Hôtel-Dieu, où était installé un dépôt de varioleux, et qui, après l'évacuation de l'annexe sur l'hôpital Saint-Antoine, se transporta dans les quartiers contigus au nouveau dépôt.

C'est là un nouvel argument en faveur du déplacement des hôpitaux et de leur installation en plein air.

L'atmosphère des égouts, comme on pouvait s'y attendre, a été trouvée très chargée de bactéries. Dans l'égout de la rue de Rivoli, l'air en contient

constamment de 800 à 900 par mètre cube. Quant à l'eau d'égout, elle renferme de 20 à 30 millions de microbes par litre, et, lorsqu'elle entre en putréfaction, elle peut donner naissance à un nombre de bactéries mille fois plus élevé. Voici les résultats de quelques analyses exécutées sur des eaux de diverses provenances :

Vapeur condensée de l'atmosphère	220 par litre.
Eau du drain d'Asnières	12,000 »
Eau de pluie	16,000 »
Eau de la Vanne	62,000 »
Eau de la Seine, puisée à Bercy	1,200,000 »
Id. puisée à Asnières	3,200,000 »
Eau d'égout, puisée à Clichy	20,000,000 »

De pareils chiffres montrent combien l'hygiène publique est intéressée à l'écoulement rapide du contenu des égouts, problème malheureusement toujours à l'étude. Le jour où il sera résolu, on verra la mortalité diminuer, comme dans ces villes anglaises qui ont bravement adopté l'épuration du *sewage* par l'irrigation des champs. En attendant, il ne faut pas négliger l'étude des antiseptiques, qui permettent de combattre l'infection locale. Les expériences de M. Miquel fournissent déjà, à cet égard, de précieuses indications.

Les antiseptiques les plus puissants, dont une faible dose suffit pour arrêter ou pour prévenir l'altération du bouillon de bœuf neutralisé, sont en première ligne l'eau oxygénée, dont l'action désinfectante a été signalée par MM. P. Bert et Regnard,

puis le bichlorure de mercure, le nitrate d'argent. Viennent ensuite l'iode et le brome, quelques chlorures métalliques, le sulfate de cuivre; le chloroforme, qui paralyse les bactéries sans les tuer; l'acide thymique, plus efficace que l'acide phénique; divers nitrates, l'alun, le tannin. Parmi les substances modérément antiseptiques, il faut ranger les fébrifuges, tels que les sels de quinine, l'acide arsénieux et le salicylate de soude; enfin, parmi les substances faiblement antiseptiques, le chlorure de calcium, le borate de soude et l'alcool. Le sel marin, la glycérine, l'hyposulfite de soude, ne méritent pas leur réputation. Parmi les gaz qui tuent les microbes, il faut noter les vapeurs de brome, de chlore, l'acide chlorhydrique, le gaz nitreux.

Les faits et les chiffres qu'on trouve réunis dans le livre de M. Miquel suffisent à justifier l'intérêt universel qu'inspirent les recherches concernant les microbes de l'atmosphère, et à recommander les mesures hygiéniques fondées sur une vague intuition du rôle dévolu à ces êtres mystérieux. Parmi ces mesures, on doit comprendre la suppression de toute usine insalubre dans le voisinage des grandes villes, l'amélioration des égouts, la démolition des habitations malsaines, l'agrandissement des cours et la réduction de la hauteur des maisons, l'élargissement des voies publiques, le remplacement des pavés par des couches d'asphalte pouvant être lavées avec facilité, la création de vastes parcs et jardins

dans l'intérieur des villes. Quant à la Chirurgie et à la Médecine, on sait le profit qu'elles ont déjà retiré de toutes les mesures destinées à mettre les malades à l'abri des effets ,malfaisants de l'air impur.

FIN

TABLE DES MATIÈRES.

	Pages.
LA MÉTÉOROLOGIE NOUVELLE ET LA PRÉVISION DU TEMPS..	1
I. Les premières tentatives. — Borda. — Le Verrier...	5
II. La Météorologie pratique en Angleterre et en Amérique	12
III. Le réseau français. — Le Bureau central météorologique de France.....	21
IV. Les vents réguliers.....	30
V. Une nouvelle théorie de la circulation atmosphérique.	35
VI. Travaux de M. Loomis. — Cyclones et anticyclones..	42
VII. La loi des tempêtes.....	46
VIII. Théorie des tourbillons — Courants ascendants....	54
IX. La théorie des tourbillons.....	63
X. Les bases de la prévision du temps.....	70
XI. Les desiderata.....	77
<i>Appendice</i>	85
LES PROGRÈS DE LA MICROGRAPHIE ATMOSPHÉRIQUE.....	89

PARIS. — Imp. Gauthier-Villars, 55, quai des Grands-Augustins.

OUVRAGES DE M. R. RADAU,

- Progrès récents de l'Astronomie stellaire. In-18 jésus; 1876 1 fr. 50 c.
 Les Observatoires de montagne (avec figures dans le texte). In-18 jésus; 1876. 1 fr. 50 c.
 La Lumière et les climats. In-18 jésus; 1877. 1 fr. 75 c.
 Les Radiations chimiques du Soleil. In-18 jésus; 1877. 1 fr. 50 c.
 L'Actinométrie. In-18 jésus; 1877. 2 fr.
 La Photographie et ses applications scientifiques. In-18 jésus; 1878 1 fr. 75 c.
 Constitution intérieure de la Terre. In-18 jésus; 1880. 1 fr. 50 c.
 Le rôle des vents dans les climats chauds; la pression barométrique et les climats des hautes régions. In-18 jésus; 1880. 1 fr. 50 c.
 Tables barométriques et hypsométriques pour le calcul des hauteurs, précédées d'une *Instruction*. Nouveau tirage; 1881 1 fr. 25 c.
 La Météorologie nouvelle et la Prévision du temps. In-18 jésus; 1883 1 fr. 75 c.
 Les Vêtements et les Habitations dans leurs rapports avec l'atmosphère. In-18 jésus; 1883. 1 fr. 75 c.
 Étude sur les formules d'approximation qui servent à calculer la valeur numérique d'une intégrale définie. In-4°; 1881. 3 fr.
 Travaux concernant le problème des trois corps et la théorie des perturbations. Grand in-8°; 1881. 1 fr. 50 c.
 Recherches sur la Théorie des Réfractions astronomiques. In-4°; 1882. 5 fr.