
PROPOS SCIENTIFIQUES

Deuxième série

Permis d'imprimer :

Camille Roy, ptre, P. A.,

Supérieur du Séminaire de Québec.

Ouvrage publié avec la permission de l'Ordinaire.

DROITS RÉSERVÉS, CANADA, 1927.

Abbé Henri SIMARD

*de la Société Royale du Canada,
Professeur à l'Université Laval*

PROPOS SCIENTIFIQUES

Deuxième série



QUÉBEC

IMP. L'ACTION SOCIALE LIMITÉE

1927

DU MÊME AUTEUR

TRAITÉ ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE, 5^e édition, 1925.

COURS ÉLÉMENTAIRE DE COSMOGRAPHIE, 2^e édition,
1916.

MANUEL DES SCIENCES USUELLES (Huard et Simard),
6^e édition, 1924.

PROPOS SCIENTIFIQUES, première série, 1920.

PROPOS SCIENTIFIQUES

MGR J.-C. K.-LAFLAMME

SA CARRIÈRE.— SON ŒUVRE SCIENTIFIQUE⁽¹⁾

La vraie science n'est pas celle qui fait le plus de bruit ; par sa propre valeur, par les résultats qu'elle obtient, elle s'impose d'elle-même à la considération du public. Celui-ci peut bien se laisser éblouir un instant par l'éclat d'une réclame tapageuse mise au service de la médiocrité, on peut parfois le séduire par de faux brillants et par des dehors trompeurs ; mais, tôt ou tard, les nuages se dissipent, les voiles se déchirent, et la réalité, telle qu'elle est, finit par se faire jour. La mort met les choses au point, et le peuple, désenchanté, se venge de sa crédulité par l'oubli.

L'homme de sciences, au contraire, qui doit sa réputation à son mérite personnel et qui travaille, non pour s'attirer des louanges, mais pour la gloire de l'Église et de sa patrie, ne descend pas tout entier dans la tombe ; son désintéressement et sa modestie ajoutent de nouveaux rayons à l'auréole qui nimbe son front, et ses concitoyens lui décer-

(1) Discours prononcé à l'Université Laval, séance des promotions, en juin 1911 (*Annuaire* 1911-12).

nent volontiers les hommages qu'il n'avait pas recherchés.

Tel est, Mesdames et Messieurs, le spectacle qui s'est offert à nos yeux, lorsque fut annoncé dans tout le Canada, le 6 juillet 1910, le décès de Mgr Laflamme.

Cette mort prit les proportions d'un deuil national. Les journaux français et anglais du pays et même des États-Unis, publièrent d'élogieuses biographies, signalèrent les grandes lignes de sa carrière scientifique, lui assignèrent la véritable place qu'il doit occuper dans la science canadienne, et firent voir, par l'importance de ses œuvres, la grandeur de la perte que l'Église catholique et le Canada tout entier venaient de faire.

Chose digne de remarque, on admira tout particulièrement la grande modestie et la vie retirée du savant qui venait de disparaître ; pour certains esprits, cet éloignement du monde et cette aversion pour la publicité parurent inexplicables.

Il est difficile de concevoir, affirme à ce propos un journal anglais, le *Montreal Herald*, 7 juillet 1910, qu'un pareil état d'esprit, chez un homme de la valeur de Mgr Laflamme, puisse germer dans une université anglaise ; et ce journal ajoute : " Mgr Laflamme a donné au monde un exemple bien français d'un grand esprit de déta-

chement et de modestie, et sa perte est d'autant plus douloureuse que c'est cet état d'esprit qui manque le plus aux écrivains du Canada."

Pour me rendre au désir de M. le Recteur de l'Université, et, en même temps, pour exprimer publiquement mes sentiments de gratitude envers mon regretté maître, que l'on permette à son humble successeur au cours de Physique de retracer brièvement la vie si féconde et les œuvres si importantes de celui qui fut un prêtre fervent et dévoué, un physicien distingué, un professeur hors de pair, de celui qui fut, au jugement de la presse anglaise de notre pays, pendant de nombreuses années, avec Dawson, le meilleur géologue du Canada.

*

* *

Monseigneur Joseph-Clovis Kemner-Laflamme naquit à Saint-Anselme, comté de Dorchester, le 18 septembre 1849. Il commença ses études au Petit Séminaire de Québec en 1862, et, après un brillant cours classique, il entra au Grand Séminaire en 1868. Avec la charge de maître de salle qu'on lui confia dès le début de sa cléricature, et celle de préparateur du Dr Hubert Larue, alors professeur de Chimie, il fut nommé, en 1870,

professeur de Minéralogie et de Géologie, puis, l'année suivante, en 1871, il recueillit la succession de l'abbé Brunet au cours de Botanique. Il devait enseigner ces trois branches de l'Histoire naturelle sans interruption, du moins les deux premières, jusqu'en 1909, c'est-à-dire pendant trente-neuf ans.

La carrière scientifique qu'il commençait alors et dans laquelle il allait acquérir une compétence incontestable, ne l'empêcha pas de poursuivre à la fois ses études théologiques ; ordonné prêtre le 6 octobre 1872, il fut reçu docteur en Théologie l'année suivante, en 1873. Deux années après, en 1875, à la place de son maître Mgr Hamel, il devenait professeur de Physique, science qu'il enseigna pendant dix-huit ans, jusqu'en 1893.

Dès le début de son professorat, l'abbé Laflamme se mit à l'œuvre avec ardeur et avec joie, car il avait le culte, la passion des sciences naturelles. On le vit alors employer ses loisirs, ses jours de congé et ses vacances à herboriser, à pratiquer l'analyse minéralogique et à étudier sur le terrain les couches géologiques de la Province ; plusieurs séjours aux États-Unis et en Europe, où il fréquenta les grands maîtres, achevèrent sa formation. Il ne se contenta pas d'une érudition quelconque, il voulut sortir des sentiers battus,

et, par ses travaux personnels et ses études constantes, il acquit des connaissances étendues et une valeur scientifique qui le mirent en mesure de contribuer au développement de la science canadienne.

Doué de brillantes qualités naturelles, nourri par de fortes études et par un travail incessant, stimulé par le feu sacré de la science qui ne s'est jamais éteint en lui, on peut facilement s'imaginer quel professeur il devint.

Sa réputation franchit les limites de l'Université et se répandit dans tout le pays. Ses anciens élèves se rappellent avec quelle clarté, quelle limpidité, quelle élégance et, en même temps, quelle simplicité de forme, il savait exposer les questions scientifiques les plus difficiles. Observateur profond et délicat, il découvrait et faisait remarquer les merveilles cachées dans les moindres choses. Tout devenait intéressant sur ses lèvres; grâce à sa grande facilité d'élocution et à la parfaite précision de son langage, il était maître de son auditoire et lui faisait partager son enthousiasme et ses convictions. Il avait le don de faire aimer la science et apprécier son utilité, et l'autorité qu'il ne tarda pas à acquérir attira autour de sa chaire des admirateurs de plus en plus nombreux. Si l'on ajoute à cela que l'abbé La-

flamme, pétillant d'esprit et de gaieté, émaillait ses leçons de bons mots, d'anecdotes piquantes et même de quelques légères malices, on peut affirmer que sa réputation, loin d'être exagérée, était encore de beaucoup au-dessous de la réalité.

La qualité maîtresse de son enseignement était l'art d'oublier sa science personnelle et ses vastes connaissances pour rester toujours à la portée de ses auditeurs. L'élève, après tout, ne s'instruit que par ce qu'il comprend et ce qu'il retient ; le reste peut l'éblouir, mais ne laisse aucune trace durable. L'abbé Laflamme savait négliger l'accessoire ou les aspects difficiles d'une question pour n'insister que sur les parties essentielles et accessibles à tous. Il a toujours fui la recherche d'un langage prétentieux et compliqué, et il a évité un grand écueil qui menace et fait sombrer souvent maints professeurs, c'est-à-dire le souci, — j'allais dire la manie, — de dire tout ce qu'ils savent et la crainte de paraître trop simples. Voilà pourquoi, dans ses cours et ses conférences, l'abbé Laflamme pouvait aborder les questions les plus délicates devant les auditoires les moins préparés, et voilà pourquoi chacun, après l'avoir entendu, avait l'illusion d'avoir compris quelque chose.

Comme on le voit, l'abbé Laflamme avait le talent inné de l'enseignement, il était un merveil-

leux vulgarisateur, il était pédagogue dans l'âme, bien qu'il se soit toujours moqué de la pédagogie elle-même, comme d'ailleurs de bien d'autres choses.

Le nom de l'abbé Laflamme fut bientôt populaire dans le monde savant de notre pays ; les remarquables conférences qu'il donna à l'Université et à l'Institut canadien de Québec, les chroniques scientifiques qu'il publia dans plusieurs revues et journaux, les relations nombreuses qu'il établit avec les hommes de sciences du Canada et de l'étranger, achevèrent de consacrer sa réputation.

En 1882, il était membre fondateur de la Société Royale du Canada et en devenait le président en 1891. En 1883, il était désigné comme membre adjoint de la Commission géologique canadienne et il était chargé par elle d'importants travaux d'exploration, notamment au Saguenay, puis il était nommé, à différentes époques, membre de la Société géologique de France, de la Société géologique d'Amérique, de la Société française de Physique, de la Société scientifique de Bruxelles, et plus tard, à l'occasion des fêtes d'inauguration du monument Champlain, en 1898, chevalier de la Légion d'honneur.

L'enseignement de la Physique et de l'Histoire naturelle, les divers travaux scientifiques auxquels il se livra ne le détournèrent pas de la culture des lettres tant sacrées que profanes ; il trouva le temps d'enseigner la musique vocale, en particulier comme directeur de la Société orphéonique, et d'exercer, pendant deux ans, de 1881 à 1883, la fonction de Directeur du Petit Séminaire.

Dans la vie intime, il était l'homme de communauté par excellence. Il aimait et recherchait la compagnie de ses confrères ; plein d'esprit, gai, affable, renseigné sur un grand nombre de sujets, il était brillant causeur et enjoué compagnon. Pendant les récréations, et en vacances sous les grands ormes de Saint-Joachim, on faisait cercle autour de lui, et chacun profitait de sa conversation toujours aimable et instructive. Consulté de partout sur une foule de problèmes qui intéressent notre pays, sa chambre, au Séminaire, était le rendez-vous des hommes de sciences ; et cependant, la haute considération dont il jouissait, les honneurs qui lui arrivaient de partout n'altéraient en rien la simplicité de ses manières et l'humilité de sa vie.

C'est que, avant tout et par-dessus tout, l'abbé Laflamme était un prêtre fervent et éclairé, d'une régularité exemplaire et d'une piété ardente. S'il

amusait et instruisait à la fois ses confrères par le charme de sa spirituelle conversation, il ne les édifiait pas moins par l'exemple de ses vertus et de sa vie sacerdotale.

*

* *

Mgr Laflamme a relativement peu écrit ; toutefois, son œuvre scientifique, sous forme de manuels, mémoires et communications à la Société Royale et à la Commission géologique, sous forme de conférences publiées et articles de revues et journaux, est d'une grande valeur, et elle embrasse le champ étendu de la Physique et de l'Histoire naturelle, c'est-à-dire de la Minéralogie, de la Géologie et de la Botanique.

Voici, aussi complète que possible, la liste de ses principales publications :

En 1878, *L'âge de la chute Montmorency* ; en 1882, *Le Canada d'autrefois (Annuaire de l'Institut canadien)* ;

En 1881, *Éléments de Minéralogie, Géologie et Botanique*, manuel classique adopté par tous les collèges de la Province de Québec, et rendu à sa 4^e édition.

Parmi les communications à la Société Royale, nous relevons :

En 1883, *Note sur la Géologie du Lac Saint-Jean* ;

En 1884, *Note sur les dépôts aurifères de la Beauce. Note sur un gisement d'émeraude au Saguenay. Note sur un fait météorologique particulier à Québec* ;

En 1885, *Le Saguenay* ;

En 1886, *Note sur le contact des formations paléozoïques et archéennes de la Province de Québec* ;

En 1887, *Notice biographique sur Michel Sarrazin* ;

En 1888, *Le gaz naturel de la Province de Québec* ;

En 1891, *Travail sur les cours dits d'extension universitaire* ;

En 1897, *Influence d'un éboulement sur le régime d'une rivière* ;

En 1900, *Modifications remarquables causées à l'embouchure de la rivière Sainte-Anne par l'éboulement de Saint-Alban, et Éboulement de Saint-Luc de Vincennes, sur la rivière Champlain* ;

En 1901, *Jacques-Philippe Cornuti, note pour servir à l'histoire des sciences au Canada* ;

En 1907, *Influence de la situation géographique de la ville de Québec sur un point de météorologie locale* ;

En 1908, *Les tremblements de terre de la région de Québec*.

Ajoutons à cela, en 1884, *Rapport d'observations géologiques dans la région du Saguenay*, fait à la Commission géologique du Canada ;

En 1886, *Le Saguenay, essai de Géographie physique*, travail lu devant la Société de Géographie de Québec ;

En 1892, *Le docteur Thomas Sterry Hunt*, travail lu à la séance de collation des diplômes à l'Université Laval ;

En 1893, *Notions sur l'Électricité et le Magnétisme*.

En 1904, *Notes de Météorologie*, rédigées pour *l'Enseignement Primaire*.

En 1909, deux articles très élaborés, l'un sur *Les montagnes Notre-Dame et les Shickshoks*, l'autre sur *Les Laurentides*, publiés dans le *Bulletin de la Société de Géographie de Québec*.

Enfin, il ne faut pas oublier un grand nombre d'articles et de chroniques parus dans les revues et les journaux, entr'autres *L'éboulis de Saint-Alban*, *Canadian Engineer*, 1893, *La métallurgie électrique*, *Canada français*, vol. I, et plusieurs conférences et rapports encore inédits.

Il serait évidemment trop long, dans le cadre restreint de ce travail, d'étudier et d'apprécier

chacune de ces publications de Mgr Laflamme. Nous n'insisterons, et très brièvement, que sur quelques-unes, celles principalement qui contiennent le résultat d'observations personnelles et originales, ou des idées et des théories nouvelles pouvant modifier et enrichir la science canadienne; il en sera de même aussi de ses conférences non publiées.

Il faut signaler, en premier lieu, parmi plusieurs autres, une conférence remarquable qu'il donna, en 1883, dans cette salle même des Promotions, et qui eut un légitime retentissement. Elle avait pour sujet *l'Électricité à Québec*, et l'abbé Laflamme avait pour but de démontrer les avantages de l'électricité pour la production de la lumière et le transport de la force motrice à distance. Il avait installé une machine dynamo-électrique dans l'atelier d'imprimerie de M. P.-G. Delisle, situé à l'endroit où se trouve actuellement le monument Laval. C'est au moyen du courant engendré par cette machine et conduit à l'Université par des fils de cuivre que l'abbé Laflamme émerveilla le public québécois, à cette époque où l'électricité était peu répandue à Québec, par les flots de lumière qui jaillissaient de toutes les parties de la salle. Le même courant était aussi employé à faire tourner une deuxième machine semblable à la

première et installée sur la scène près du conférencier ; cette dynamo, fonctionnant comme réceptrice, faisait voir la solution du problème des moteurs électriques, et, par le mouvement qu'elle communiquait à divers appareils, la transformation de l'énergie électrique en énergie mécanique.

L'abbé Laflamme démontrait donc la possibilité de fournir à la ville de Québec la lumière et la force motrice en utilisant comme source d'énergie la puissance hydraulique de la chute Montmorency située en dehors de la cité, à peu près à sept milles de distance. Comparant alors le coût de la lumière produite par une chute d'eau avec le prix de revient du gaz d'éclairage, il reprochait aux bons Québécois, très aimablement d'ailleurs, de laisser perdre, sans songer à en tirer profit, les 20,000 chevaux-vapeur de la populaire chute.

On se rappelle les sourires moqueurs qui voltigèrent sur bien des lèvres lorsqu'il prédit que Québec, dans un avenir prochain, serait éclairé par l'électricité, et que cette électricité proviendrait, à sept milles de distance, de l'énergie hydraulique du Sault Montmorency. Il eut raison contre les sceptiques, les pusillanimes ou les fervents de l'éclairage au gaz. Peu de temps après

cette prédiction, les rues tortueuses et sombres de Québec étaient inondées de lumière pendant toute la nuit.

Un autre sujet d'étude absorba l'abbé Laflamme quelques années plus tard. Il avait conçu le projet de déterminer, par une série d'observations, la marche des orages d'été dans la région de Québec, afin d'en déduire, s'il était possible, des lois générales dont la connaissance serait si précieuse pour la prévision du temps. On conçoit sans peine quels services des données précises sur ces météores peuvent rendre aux cultivateurs, aux navigateurs, aux touristes et au public, en général, toujours curieux de savoir à quoi s'en tenir sur le temps qu'il fera. Pour arriver à cette fin, il organisa une vaste enquête dans tout le district de Québec, et distribua des blancs d'observations que des correspondants bénévoles devaient remplir dans les différentes localités visitées par les orages.

Malheureusement, l'indifférence ou la négligence des correspondants fit échouer ce beau projet. L'abbé Laflamme s'adressa successivement à MM. les curés, aux instituteurs, aux maîtresses d'écoles, aux écoliers en vacances, etc., toujours avec le même résultat à peu près négatif. Le nombre des observations fut toujours trop restreint pour qu'il fut possible d'en tirer des conclusions

sérieuses. L'abbé Laflamme s'en plaignit souvent dans ses conférences, mais il dut forcément, à son grand regret, abandonner un projet qui lui était cher, et dont il attendait les meilleurs résultats.

En 1884, il présenta à la Société Royale une note sur le régime particulier des vents de Québec comparés à ceux des autres villes du Canada. A Québec, le vent ne souffle pour ainsi dire que dans deux directions, du nord-est et du sud-ouest, et l'on remarque, au printemps, comme tout le monde le sait, une fréquence marquée pour le vent du nord-est.

L'abbé Laflamme explique ce phénomène par la position qu'occupe notre ville relativement aux principales chaînes de montagnes du Bas-Canada.

Québec, en effet, est placé dans un étranglement orographique, au fond d'un double entonnoir, marin d'un côté et terrestre de l'autre, formé par les Laurentides au nord et par les monts Notre-Dame au sud du fleuve Saint-Laurent. Ces reliefs du sol dirigent les vents de préférence dans la direction du fleuve, sans altérer les grandes lignes de déplacement suivies par les mouvements aériens des hautes régions.

D'après l'abbé Laflamme, notre fameux vent de nord-est, si mal apprécié des Québécois,

serait étranger aux tourbillons cycloniques qui passent sur notre province, et la cause de sa fréquence au printemps serait tout simplement la différence de température entre les deux parties orientales et occidentales du double entonnoir. Après la fonte des neiges en avril, le sol de l'entonnoir occidental se réchauffe plus vite que les eaux du golfe et de l'estuaire du fleuve Saint-Laurent, à cause des glaces qu'elles renferment et des courants froids du Labrador.

On comprend alors facilement que l'air échauffé de la partie occidentale crée un vide relatif vers lequel se précipite, en suivant la direction du fleuve, la masse d'air plus froid de l'entonnoir marin de l'est. Ce qui semble confirmer cette manière de voir, c'est que les localités, comme le Saguenay et la Beauce, situées en dehors de la vallée du Saint-Laurent, n'ont, en fait de vent de nord-est, que ceux qui résultent des tourbillons atmosphériques ordinaires.

L'abbé Laflamme, par cette explication claire et bien fondée, a donc eu le mérite, et cela sans avoir recours aux influences problématiques de la Lune, de résoudre le problème du vent de nord-est de Québec, et, sans doute pour nous consoler des ennuis que nous cause ce désagréable visiteur, il prédit, dans le même mémoire, que le déboisement

progressif de l'entonnoir oriental ne fera qu'en accentuer la fréquence.

Mgr Laflamme n'était pas seulement un physicien averti, il était surtout un géologue éminent ; c'est dans cette branche des sciences naturelles qu'il s'est le plus distingué et qu'il s'est montré le plus personnel.

Parmi les importants travaux qu'il publia à différentes époques, citons une note, présentée en 1886 à la Société Royale, sur le contact des formations paléozoïques et archéennes de la Province de Québec.

Après avoir signalé comment Sir William Logan, en 1863, dans sa *Géologie du Canada*, explique les grandes lacunes qui existent entre les formations archéennes et les premiers lits du calcaire silurien de Trenton, sans qu'il soit possible de trouver aucune trace des formations intermédiaires cambriennes et précambriennes, il examine les conditions spéciales dans lesquelles ces calcaires siluriens se sont déposés directement sur les assises archéennes, soit gneissiques soit labradoritiques. Un phénomène qui l'a toujours frappé, déclare-t-il à ce sujet, c'est, en particulier dans la région du Saguenay, sur les rivages du lac Saint-Jean, l'absence complète de débris minéraux et des autres résultats de l'érosion qui a certainement

dû se produire sur la surface des lits laurentiens, avant que l'océan silurien les ait envahis pour les recouvrir de lits calcaires. Partout la surface archéenne est parfaitement nette et l'on ne voit aucun vestige de décomposition dans les gneiss, les syénites ou les granites.

D'après le savant professeur, il n'est pas impossible que ce lavage gigantesque des détritiques archéens puisse être attribué à de grands courants qui, au moment de l'envahissement des continents, auraient balayé, nettoyé les surfaces envahies et transporté au loin les débris qu'ils leur arrachaient.

Quelques années auparavant, l'abbé Laffamme avait signalé l'existence d'un bassin silurien situé au nord-est du Saguenay et qu'on devait ajouter à celui que sir William Logan mentionne en 1863. Dans la note qui nous occupe actuellement, il annonce la découverte d'un troisième dépôt calcaire silurien placé à peu près dans l'angle formé par la baie des Ha! Ha! et la rivière Saguenay. Puis, poursuivant son étude sur le contact du laurentien et du Trenton, il fait voir que les mêmes phénomènes observés au Saguenay se retrouvent sur la côte de Beaupré et que ces formations trentoniennes dans ces deux localités, à cause de la similitude de leurs caractères minéralogiques, sont certainement contemporaines.

C'est alors qu'il profite de cette occasion pour énoncer une opinion personnelle sur le rocher de Québec. Ceux qui ne sont pas tout à fait étrangers aux études géologiques savent que les savants canadiens sont loin de s'entendre lorsqu'il s'agit de déterminer à quelle formation il faut rattacher le fameux promontoire sur lequel est bâtie notre ville. Fait-il partie du groupe dit de Québec, ou faut-il le placer, comme plusieurs le pensent, dans la formation Trenton dont nous venons de parler ?

L'abbé Laflamme ne croit pas que l'on puisse soutenir cette dernière hypothèse, parce que l'on chercherait vainement dans les calcaires en question les lits dolomitiques, les schistes rouges et bruns et les conglomérats de toutes sortes que l'on trouve dans le rocher de Québec. Il propose, plutôt, si l'examen paléontologique des fossiles rend son classement impossible dans le groupe dit de Québec, qu'on le place entre ce dernier et les assises de Trenton, et il croit que cette opinion est de nature à résoudre un bon nombre de difficultés qu'a toujours présentées le classement de cette partie des formations siluriennes.

Le Saguenay est la région de la Province de Québec qu'il a le plus étudiée ; il a écrit son histoire géologique et la composition de son

terrain dans un travail lu, en 1886, devant la Société de Géographie de Québec, et, en 1884, dans un rapport présenté à la Commission géologique du Canada.

Chargé par cette Commission de faire le relevé géologique de la région du Saguenay, l'abbé Laflamme étudie d'abord les gneiss, tant hornblendiques que micacés, et la labradorite de la formation laurentienne, puis il décrit les horizons des calcaires du cambro-silurien, enfin il termine par les alluvions du post-tertiaire.

C'est dans cette exploration qu'il découvre les formations de pierre à chaux non signalées par Sir W. Logan et c'est à propos de cette découverte qu'il propose de modifier et compléter la carte géologique de cette région. Les résultats de cette remarquable étude sur le terrain sont assez importants pour qu'il puisse écrire lui-même, dans la préface de son rapport adressé au Dr Selwyn, directeur de la Commission : " Je crois que je suis en position de vous soumettre quelques nouvelles observations sur différents points qui devront modifier la carte géologique de la région du Saguenay, telle que publiée par Sir William Logan en 1863."

Il eut aussi la gloire de résoudre la question de l'origine de la rivière Saguenay et de décrire ses

différentes étapes à travers les âges préhistoriques.

Il affirme que la rivière a d'abord été formée par l'érosion lente de l'eau, comme les canons du Wyoming et du Colorado, puis il admet que le glacier quaternaire a mis la dernière main au creusage du lit actuel ; le Saguenay, alors, ne serait qu'un *fiord*, analogue à ceux qui déchiquent les côtes de la Norvège et de la Colombie anglaise.

Il explique enfin très clairement que le bassin du lac Saint-Jean, aux premières époques géologiques, se déchargeait par le lac Kénogami, lequel, à cause des ressemblances frappantes qu'il présente avec le Saguenay, faisait autrefois partie de cette rivière. Le lac actuel a été séparé du reste du Saguenay par deux énormes dépôts d'argiles entraînés par le glacier quaternaire, de sorte que le lac Saint-Jean a dû se creuser un autre chemin qui n'est autre que la Grande-Décharge jusqu'à Chicoutimi. Voilà pourquoi le cours supérieur du Saguenay, beaucoup plus récent, est peu profond et accidenté de rapides nombreux, tandis que la partie inférieure est profonde, calme et majestueuse.

Ces conclusions mettaient à néant la théorie des cataclysmes soutenue par quelques-uns, entr'autres par le fameux publiciste Arthur

Buies. D'après cette théorie, la rivière Saguenay ne serait que le résultat d'une secousse effroyable qui aurait fendu en cet endroit la croûte terrestre. L'abbé Laflamme n'hésite pas à dire que l'origine *cataclystique* du Saguenay doit être reléguée parmi les "visions d'imaginations volcaniques.»

Il n'est que juste de faire remarquer, par respect pour la mémoire d'Arthur Buies, que le spirituel chroniqueur, au point de vue géologique, ne s'est jamais pris au sérieux, et que celui qui s'est le plus moqué des cataclysmes, c'est... Arthur Buies lui-même.

Comme on le voit, les études et les explorations du savant géologue dans la région du Lac Saint-Jean ont été fécondes en résultats ; elles ont eu pour effet de compléter la carte géologique de ce pays et elles ont enrichi la science canadienne de précieuses nouveautés. Aussi nous croyons que l'on peut, sans que personne ne réclame, décerner à Mgr Laflamme le titre de "géologue du Saguenay."

Enfin, un important mémoire sur les tremblements de terre de la région de Québec mérite de fixer pendant quelques instants notre attention⁽¹⁾.

(1) Le tremblement de terre du 28 février 1925 donne au mémoire de Mgr Laflamme un intérêt tout particulier.

L'abbé Laflamme fait d'abord le relevé de tous les tremblements de terre observés depuis 1637 jusqu'à nos jours, puis il établit que la ligne épicertrale de tous les ébranlements peut être située aux environs de la Baie Saint-Paul, et, en dernier lieu, il recherche pourquoi elle occupe cette localité.

Il ne craint pas de contredire l'illustre géologue français Montessus de Ballore, lequel, partant de données incomplètes et inexactes, avait affirmé que les tremblements de terre du Canada restaient sans explication. Cette explication, il la trouve dans la cause générale des tremblements de terre. Les vibrations du sol se produisent aux endroits de faible résistance de la croûte terrestre, là où les couches ont été pliées ou traversées par des cassures profondes. Or, une immense faille, partant du lac Champlain et traversant le St-Laurent près de Québec, passe au nord de l'Île d'Orléans et se prolonge sous le fleuve jusqu'au Golfe ; on peut donc croire que vis-à-vis la Baie St-Paul, où les secousses sont plus fréquentes et plus fortes que partout ailleurs, il y ait des endroits de faible résistance qui seraient le point de départ des mouvements sismiques de notre pays.

Nous avons donné une idée très incomplète des œuvres de Mgr Laflamme. Pour les faire mieux connaître, il aurait fallu dire quelques mots de ses

études sur l'éboulis de Saint-Alban, sur les gisements aurifères de la Beauce, sur le gaz naturel de Louiseville, et étudier quelque peu ses articles de journaux et revues, etc. ; mais ces questions, très intéressantes du reste, nous entraîneraient trop loin et il faut nous contenter de les mentionner.

*

* *

Les travaux dont nous venons de parler avaient attiré sur l'abbé Laflamme l'attention du public ; vers 1889, sa réputation était universellement établie dans notre pays et sa valeur scientifique était partout incontestée.

En 1891, il allait représenter le gouvernement de Québec au cinquième Congrès international de Géologie à Washington, qui se termina par un intéressant voyage au Parc National du Wyoming, au paradis des sources thermales et des geysers.

Au Séminaire, l'abbé Laflamme avait déjà occupé des charges administratives importantes, comme celle de directeur du Petit Séminaire, et celle de secrétaire de l'Université. Sans être prophète et sans fausse humilité, il pouvait s'attendre que les directeurs de la maison lui confieraient bientôt un poste plus élevé. Il se

préparait donc à cette éventualité, lorsque soudain, au printemps de 1892, une nouvelle stupéfiante, un véritable coup de foudre, vint jeter le trouble dans l'âme du savant professeur. Il venait d'apprendre, par une dépêche de journal, qu'il était nommé évêque de Chicoutimi !

L'émotion fut grande au Séminaire et à l'Université, et ce fut avec consternation qu'on entrevit la triste nécessité de perdre un si utile et si distingué collaborateur.

Que se passa-t-il alors dans l'âme de ce prêtre fervent et soumis ? Il était sans doute disposé à obéir aux ordres du Chef de l'Église et à se dévouer au service des âmes. Mais, il n'avait jamais désiré l'épiscopat ; sa vocation aux études scientifiques et au professorat lui semblait si bien établie, il était si persuadé que sa mission à l'Université était loin d'être terminée qu'il préféra la vie laborieuse et retirée de l'humble savant aux honneurs et aux responsabilités de la charge pastorale : sans hésiter, il refusa, car il en était temps encore, le *bonum opus* de l'Apôtre !

Cette détermination ramena la joie dans tous les cœurs et la sérénité dans l'atmosphère un instant troublée de l'Université, mais elle fut diversement commentée dans les milieux intellectuels et ecclésiastiques. Pour la plupart, ce fut,

comme on dit aujourd'hui, un beau geste, et chez d'autres, on crut voir dans ce refus un acte de faiblesse.

Quoi qu'il en soit, l'abbé Laflamme reprit sa vie habituelle de professeur, et ses collègues, comme pour lui donner raison, l'élirent l'année suivante, en 1893, Supérieur du Séminaire et Recteur de l'Université ; la même année, il recevait de Rome le titre de Protonotaire Apostolique et l'abbé Laflamme s'appela désormais Mgr Laflamme.

Les obligations de sa nouvelle charge ne lui permirent pas de continuer tout l'enseignement qu'il donnait à l'Université. Il resta professeur d'Histoire naturelle, mais il laissa le cours de Physique au successeur qu'il s'était choisi et qu'il avait préparé lui-même pendant deux ans, tout en se réservant dans cette science les deux branches préférées, l'Électricité, pendant quelques années, et la Météorologie, jusqu'à sa dernière maladie.

Nous déclinons toute compétence pour apprécier la carrière administrative de Mgr Laflamme. Disons seulement que son élection au rectorat fut très bien vue du public, et que sa grande réputation contribua beaucoup à faire mieux connaître, surtout dans les autres provinces, le nom de Laval.

On devait s'attendre que le passage de Mgr Laflamme à la direction de l'Université serait le point de départ d'un accroissement de vie littéraire et scientifique dans les différentes sections de l'enseignement, et que les exemples, les encouragements, les conseils d'un chef si autorisé donneraient une vigoureuse poussée aux énergies naissantes d'un bon nombre. Il est curieux de constater que ces prévisions ne se sont pas tout à fait réalisées.

Nous ne voulons pas insinuer que Mgr Laflamme avait les défauts de ses qualités, mais il est certain que sa haute valeur intellectuelle, sa formation scientifique qui avait développé chez lui le culte de la perfection et de la précision, et, il faut le dire, sa crainte un peu exagérée des échecs possibles, le sollicitaient tout naturellement à ne rien risquer et à insister plutôt, pour les autres, sur les difficultés d'une entreprise que sur ses chances de succès. Voilà pourquoi il préférerait une prudence excessive à une confiance peut-être fondée.

En 1897, Mgr Laflamme fut chargé de représenter le gouvernement du Canada au Congrès international de Géographie tenu à Saint-Petersbourg. Il y prit une part active et prépondérante, au point qu'il en fut élu le vice-président.

Après deux termes de rectorat, en 1899, Mgr Lafflamme se consacra exclusivement à sa charge de professeur d'Histoire naturelle et à quelques études personnelles. L'amour de la science était encore aussi vivace en lui que dans ses jeunes années, il mettait à la préparation de ses cours le même soin minutieux et il les donnait avec le même succès. Lorsque, en 1903, il fut atteint d'une légère attaque de paralysie faciale, la première préoccupation qui traversa son esprit fut, comme il le raconta lui-même, qu'il ne pourrait plus souffler au chalumeau. L'on sait que, les premiers moments d'émotion passés, il s'accommoda de bon gré de ce nouvel état de chose qui dérangeait quelque peu la symétrie de ses traits, et à quelqu'un qui s'informait de sa santé, il répondit un jour plaisamment, non sans quelque légère pointe de malice : " Eh bien ! mon cher, comme vous le voyez, ça va de travers."

C'est à la suite de cet accident qu'il donna à l'Université une série de conférences sur la Météorologie, conférences qui furent publiées ensuite dans l'*Enseignement primaire*.

Quelques années après, il était choisi comme expert par la Commission des eaux limitrophes et il rédigeait un important rapport encore inédit sur le recul de la chute Niagara.

Comme on le voit, il s'occupait encore de Météorologie et de Géologie, mais, à partir de 1900, il avait surtout orienté ses études vers un autre point : nous voulons parler de la question forestière.

Mgr Laflamme, en effet, était à la fois botaniste et patriote : c'est dire qu'il ne pouvait se désintéresser de cette question si importante pour l'avenir de notre province. Depuis longtemps, il déplorait les progrès rapides du déboisement et le gaspillage de nos richesses forestières ; l'un des premiers, il jeta le cri d'alarme et comprit la nécessité d'une campagne pour la protection de nos forêts. En 1908, il lut, à une réunion solennelle convoquée à Ottawa par le gouvernement fédéral, un long travail fort remarqué sur le problème forestier. Quelque temps après, le 12 mars, à Montréal, il traitait le même sujet devant l'Association forestière du Canada, et, le 18 mars, il faisait une conférence sur la colonisation et la forêt. Il fit comprendre au gouvernement provincial la nécessité de l'exploitation scientifique de nos forêts et de la réglementation raisonnée et méthodique de la coupe du bois. A son instigation, deux jeunes gens furent envoyés aux États-Unis pour étudier le génie forestier, et l'on

sait quels services ces nouveaux ingénieurs ont rendus et rendent encore à notre pays.

Mais, dans l'esprit de Mgr Laflamme, ce premier résultat n'était qu'une étape vers un but plus élevé dont il désirait ardemment la réalisation : il rêvait la création d'une école forestière affiliée à l'Université Laval, d'où sortiraient des ingénieurs capables de faire appliquer les méthodes scientifiques pour le reboisement et la conservation de nos ressources forestières.

Sa voix devait être entendue et comprise ; quelque temps avant sa mort, il eut la consolation d'apprendre que l'école forestière était un fait accompli. Bien qu'elle n'ouvrit ses portes que deux mois après son décès, on peut affirmer qu'elle fut son œuvre et le digne couronnement d'une carrière déjà si féconde.

Le 1er août 1908, Mgr Laflamme fut élu pour une troisième fois Supérieur du Séminaire et Recteur de l'Université. Les devoirs multiples de sa charge et les soucis de l'administration devaient altérer sa santé déjà quelque peu chancelante depuis un certain temps. Au printemps de 1909, des symptômes inquiétants se manifestèrent soudain et, à la fin de mai, il dut quitter sa chambre pour prendre le chemin de l'hôpital.

Quitter sa chambre, où il avait vécu de si belles heures, au milieu des livres et des revues de son admirable bibliothèque, où, pour ainsi dire, il avait passé toute sa vie, fut pour lui un véritable crève-cœur, et il ne s'en consola jamais. Aussitôt qu'il pût en obtenir la permission, il revint au Séminaire et se rendit ensuite à Saint-Joachim dans l'espérance de retrouver sous les frais ombrages tant aimés son ancienne vigueur. Il reconnut bientôt qu'il était gravement atteint et, à la fin du mois d'août, il fut contraint de résigner sa charge de Supérieur. Un voyage aux États-Unis ne produisit pas de meilleurs résultats, et, de retour au Séminaire, il se vit condamné au repos absolu. Alors commença un long martyre, une longue suite d'heures de souffrance d'autant plus pénibles qu'il était moins habitué à l'inaction forcée et que sa vie avait été jusque là plus heureuse.

Et nous, ses confrères attristés, combien nous comprenions la douleur qu'il ressentit lorsqu'il devint incapable de continuer l'enseignement qui faisait sa joie, combien nos cœurs se serraient quand nous le voyions parcourir sur sa chaise roulante les allées du jardin, demandant au soleil du printemps un regain de force et de vie, ou quand il allait, dans le musée d'Histoire naturelle, jeter

sur ses chères collections, sur ses chers minéraux, un regard humide et navré ! Seule, la résignation chrétienne qu'il puisait dans sa foi ardente et sa piété sacerdotale, pouvait adoucir l'amertume de pareils moments. Vers la fin de l'année scolaire, tout espoir de rétablissement était évanoui, et, le 6 juillet 1910, il rendait son âme à Dieu.

Ses funérailles furent à la fois simples et imposantes. Malgré l'absence des élèves du Grand et du Petit Séminaire, la chapelle pouvait à peine contenir la foule de ses confrères dans le sacerdoce, de ses anciens élèves, de ses admirateurs, des représentants des deux gouvernements et de toutes les classes de la société, accourus pour rendre un sympathique hommage au distingué savant. Il repose maintenant sous les voûtes de cette chapelle qui lui doit son parachèvement et ses décorations.

Mgr Laflamme est l'un de ces hommes que l'on n'oublie pas ; sa mémoire restera longtemps vivace dans l'Université dont il fut l'une des gloires les plus pures, l'Église catholique de notre pays gardera pieusement le souvenir de ses vertus, et la race canadienne-française sera toujours fière de le compter parmi les patriotes les plus sincères et les plus éclairés.

Pour la consolation des amis de l'Université et de tous ceux qui s'intéressent à son œuvre, nous

sommes heureux, en terminant, de citer cet extrait d'un article paru le 7 juillet 1910 dans le *Montreal Herald*, et que nous traduisons aussi fidèlement que possible :

“ Le Canada a besoin d'hommes comme fut Mgr Laflamme. De tels esprits ne peuvent germer que dans les milieux où l'on apprécie l'éducation, dans son sens le plus élevé, comme il l'a appréciée lui-même. Tant que ses traditions et son influence prévaudront à l'Université Laval, nous avons raison d'attendre d'elle d'autres Laflammes pour faire honneur au Canada.”

A PROPOS
DU
TROISIÈME CENTENAIRE
DE
PASCAL

A PROPOS DU TROISIÈME CENTENAIRE DE PASCAL

LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE⁽¹⁾

Parmi les événements remarquables de l'année 1923, les fêtes commémoratives du trois-centième anniversaire de la naissance de Pascal méritent d'attirer notre attention. Le 8 juillet de cette année, la France officielle, la France littéraire et la France savante s'étaient donné rendez-vous à Clermont-Ferrand où naquit Pascal le 19 juin 1623, et l'on a célébré dans des fêtes grandioses ce prodigieux génie, cet homme extraordinaire qui fut à la fois mathématicien, physicien, géomètre, philosophe, moraliste, écrivain éminent, que l'on considère à juste titre comme l'un des fondateurs de la langue française.

A l'occasion de ce glorieux anniversaire, les périodiques, les revues, les journaux ont publié de nombreux articles signés des meilleures plumes françaises, dans lesquels on a rappelé au monde intellectuel la part éminente que Pascal a prise

(1) Travail présenté à la Société Royale du Canada, 22 mai 1924, Québec.

dans le développement des lettres, des sciences et de la Philosophie, où on a mis en lumière l'influence qu'il a exercée dans tous les domaines de l'esprit et que l'action du temps n'a pas encore effacée.

Nous n'avons pas l'intention dans ce modeste travail d'étudier l'œuvre si complexe et si variée de ce génie déconcertant, étude d'ailleurs qui surpasse de beaucoup les limites de notre compétence ; nous ne voulons même pas analyser ni apprécier ses ouvrages purement scientifiques. De tous les travaux de Pascal, nous ne nous occuperons que de ceux qui eurent pour objet la pesanteur de l'air, à cause de l'importance qu'ils ont en eux-mêmes et dans leurs conséquences, et parce qu'ils furent le point de départ d'une série de découvertes et d'applications comme l'histoire des sciences n'en avait jamais enregistrées.

C'est sans doute pour signaler ce fait capital que l'on a mis, dans le programme des fêtes de Clermont, l'ascension du Puy de Dôme et la visite des endroits où furent exécutées les fameuses expériences par lesquelles Pascal a définitivement prouvé l'existence de la pression atmosphérique et mis fin à la théorie antique de l'*horreur du vide*.

Voici, en effet, comment un correspondant d'un journal parisien, à la date du 9 juillet

1923, relate quelques détails des fêtes de Clermont :

“ Après avoir passé la nuit à Clermont-Ferrand, M. Millerand, poursuivant son voyage en Auvergne, a accompli hier matin l'ascension du Puy de Dôme tout exprès pour rendre hommage à la mémoire de Blaise Pascal. On sait, en effet, que Pascal fit là ses fameuses expériences sur la pesanteur . . .

“ M. Millerand part en auto pour Royat et s'embarque à la station du Fond de l'Abime dans le funiculaire qui l'amène au temple de Mercure et à l'observatoire. Par l'échancrure des nuages on aperçoit un horizon magnifique. Très vite on arrive.

“ Le président de la République gravit les dernières pentes, suivi de MM. Le Troquier, ministre des Travaux publics ; Peryonnet, ministre du Travail ; Bérard, ministre de l'Instruction publique ; Maunoury, ministre de l'Intérieur ; Laurent Eynac, sous-secrétaire d'État à l'Aéronautique ; Gaston Vidal, sous-secrétaire d'État à l'Enseignement technique, qui l'accompagnent dans son voyage. Mais, aujourd'hui, en l'honneur des recherches scientifiques, un contingent de physiciens et de mathématiciens a été adjoint au cortège. Voici M. le Recteur Bataillon, M.

d'Ocagne, Émile Picard, secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences, et Paul-Prudent Painlevé qui tout à l'heure prendront la parole quand on sera parvenu au sommet.

“ A 11 heures 20 m., M. Millerand foule la cime d'un soulier vainqueur. Et aussitôt, sans qu'on prenne le temps de souffler, l'éloquence coule à pleins bords.

“ A midi : banquet.

“ A 17 heures, tout le monde se retrouve au square Blaise-Pascal.

“ Les sciences ont “ donné ” sur la montagne. Les lettres donneront à leur tour dans la plaine.

“ Après M. le doyen Audollent, secrétaire du comité d'organisation, MM. Maurice Barrès, Pierre de Nolhac et Léon Bérard prennent la parole.”

On voit par ce récit que l'ascension du Puy de Dôme a été accomplie “ tout exprès pour rendre hommage à la mémoire de Blaise Pascal ”, et l'on a adjoint au cortège officiel tout un contingent de physiciens, de mathématiciens et de représentants de l'Académie des Sciences “ en l'honneur des recherches scientifiques.”

C'est donc qu'on attachait une grande importance aux expériences que l'on voulait commémorer ; c'est donc que l'on voulait rappeler au

monde savant qu'elles firent époque dans l'histoire des découvertes scientifiques.

Quelles sont donc ces fameuses expériences du Puy de Dôme? A quelle occasion furent-elles exécutées, quelles en furent la portée et les conséquences?

C'est ce que nous nous proposons de faire voir dans ce travail.

*

* *

A l'époque où vivait Pascal, au commencement du XVIIe siècle, la Physique était encore dans l'enfance, plus que cela, on peut dire qu'elle était à peine née. A part les découvertes et les études de Galilée, entr'autres, sur les lois du pendule, la balance hydrostatique et les lois de la chute des corps, les connaissances scientifiques des philosophes du temps se bornaient à quelques théories déduites des vagues notions léguées par l'antiquité. En particulier, presque toute la Physique de l'époque et surtout les phénomènes de l'air et des gaz reposaient sur l'axiome renouvelé d'Aristote, *fuga vacui* : *la nature a horreur du vide, non datur vacuum in rerum natura*. On allait jusqu'à dire que la nature se détruirait elle-même plutôt que de souffrir le vide. C'est par l'horreur du vide que

l'on expliquait l'ascension de l'eau dans les pompes : l'eau se soulevait malgré son poids pour satisfaire le sentiment d'horreur que la nature avait pour le vide créé par le mouvement du piston.

Non seulement le principe de l'horreur du vide était universellement admis par les philosophes du moyen-âge, mais encore on reconnaissait aux anciens, en matière scientifique, une sorte d'infailibilité contre laquelle il n'aurait pas été prudent de s'insurger, bien que, par la plus incompréhensible des inconséquences, on n'aurait pas osé les suivre sur le terrain religieux.

Que l'on juge de la surprise et de l'embarras de Galilée lorsqu'un jour des fontainiers vinrent lui annoncer que l'eau, puisée par des pompes qu'ils avaient installées dans un palais de Florence, refusait de monter plus haut que trente-deux pieds, bien qu'il y eût un espace vide au-dessus de la colonne liquide ! Galilée, pour rester logique avec lui-même et aussi sans doute suivant son opinion personnelle qui devait être celle de tous ses contemporains, répondit que la nature avait horreur du vide, mais seulement jusqu'à trente-deux pieds ! On admettait même que la limite à l'horreur du vide pouvait varier suivant qu'il

s'agissait du mercure ou de l'eau : pour le premier liquide, elle serait treize fois moins étendue.

Il ne paraît pas que la curieuse explication de Galilée fût du goût de Torricelli, son disciple et son successeur. Pour ce dernier, ce serait la pression de l'air qui tiendrait en suspension une colonne d'eau de trente-deux pieds dans les pompes ; comme conséquence logique de cette hypothèse, le même poids d'air devrait équilibrer une colonne de mercure de trente pouces seulement, puisque le mercure pèse environ treize fois plus que l'eau.

C'est alors que Torricelli, en 1643, imagina sa célèbre expérience devenue classique et que l'on exécute encore aujourd'hui, sous le nom d'*expérience de Torricelli*, dans tous les cours de Physique.

On sait comment on procède : on remplit de mercure un long tube de verre, on ferme l'extrémité ouverte avec le doigt, on renverse le tube sur une capsule contenant du mercure et l'on retire le doigt. On constate alors que tout le mercure ne tombe pas dans la cuvette, bien qu'il n'y ait aucun obstacle apparent, mais qu'il reste dans le tube une colonne liquide d'une trentaine de *pouces* de longueur, suspendue comme par une force mystérieuse. La colonne mercurielle ayant laissé le vide derrière elle, c'est le *poids de l'air*

extérieur, d'après Torricelli, qui maintient en suspension le poids du liquide, et ce dernier, par suite, peut lui servir de mesure.

L'expérience de Torricelli eut un immense retentissement ; elle fit l'effet d'un coup de tonnerre dans un ciel sans nuages. L'année suivante, en 1644, elle fut communiquée d'Italie au Père Mersenne, savant Minime de Paris, qui le premier en eut connaissance ; c'est par ses soins qu'elle fut rendue fameuse dans toute la France, et, en 1646, Pascal l'apprit de Petit, intendant des Fortifications, qui la tenait du Père Mersenne lui-même. Il s'empressa de la répéter à plusieurs reprises et d'en vérifier l'exactitude.

Mais il alla plus loin que Torricelli. Sur la place de la Vénérie, à Rouen, il exécuta un grand nombre d'expériences avec différents liquides, eau, vin, huile, etc., dont il avait rempli de longs tubes qu'il dressait ensuite avec un système de cordages et de poulies. Les résultats furent toujours conformes à l'hypothèse de la pression de l'air. Pascal obtint des colonnes d'autant plus longues que les liquides étaient plus légers, c'est-à-dire que les hauteurs étaient en raison inverse des densités ; en particulier, dans l'expérience qu'il fit avec du vin rouge, il constata une longueur d'environ trente-deux pieds, avec un

espace vide de treize pieds au-dessus de la colonne.

Ce ne fut pas sans intention, semble-t-il, que Pascal se servit de vin dans quelques-uns de ses essais. Les savants de l'époque, au sujet de l'expérience de Torricelli, étaient loin de s'entendre ; l'on niait encore la pression de l'air et l'on n'admettait pas partout qu'il y eût un espace vide au-dessus de la colonne liquide. Pour plusieurs de ces savants, cet espace, qu'on appelle maintenant la chambre barométrique, était occupé par des *esprits* qui s'exhalaient du mercure et qui, refoulant la colonne, l'empêchaient de remplir complètement le tube.

Mais alors, la colonne de vin devrait être la plus courte, puisque ce liquide est éminemment riche en *esprits* . . . ; c'est le contraire qui arriva !

Pascal multiplia les expériences de toutes sortes avec des seringues, des siphons, des soufflets, etc., et avec les liquides les plus variés. En 1647, il publia toutes ses recherches dans un petit livre intitulé : *Abrégé du Traité du vide, ou Nouvelles expériences touchant le vide*, qui se répandit dans toute la France et à l'étranger, comme en Suède, en Hollande, en Pologne, en Allemagne et en Italie. Mais Pascal n'était pas complètement convaincu, et ses expériences n'étaient pas à ses yeux tout à fait concluantes. Dans la lettre qu'il

écrivit le 15 novembre 1647 à son beau-frère Périer, qui habitait Clermont, il expose librement ses doutes et ses incertitudes, en même temps que les opinions qu'il a sur ce sujet et qu'il veut prouver.

...“ Vous savez, dit-il, quel sentiment les philosophes ont eu sur ce sujet : tous ont tenu pour maxime, que la nature abhorre le vide ; et presque tous, passant plus avant, ont soutenu qu'elle ne peut l'admettre, et qu'elle se détruirait elle-même plutôt que de le souffrir...

“ J'ai travaillé, dans mon *Abrégé du Traité du vide*, à détruire cette dernière opinion, et je crois que les expériences que j'y ai rapportées suffisent pour faire voir manifestement que la nature peut souffrir et souffre en effet un espace, si grand que l'on voudra, vide de toutes les matières qui sont en notre connaissance et qui tombent sous nos sens. Je travaille maintenant à examiner la vérité de la première ; savoir, que la nature abhorre le vide, et à chercher des expériences qui fassent voir si les effets que l'on attribue à l'horreur du vide, doivent être véritablement attribués à cette horreur du vide, ou s'ils le doivent être à la pesanteur et pression de l'air ; car, pour vous ouvrir franchement ma pensée, j'ai peine à croire que la nature, qui n'est point animée, ni sensible, soit

susceptible d'horreur, puisque les passions présupposent une âme capable de les ressentir, et j'incline bien plus à imputer tous ces effets à la pesanteur et pression de l'air, parce que je ne les considère que comme des cas particuliers d'une proposition universelle de *l'Équilibre des Liqueurs*, qui doit faire la plus grande partie du Traité que j'ai promis. Ce n'est pas que je n'eusse ces mêmes pensées lors de la production de mon Abrégé, et toutefois, faute d'expériences convaincantes, je n'osai pas alors (et je n'ose pas encore) me départir de la maxime de l'horreur du vide, et je l'ai même employée pour maxime dans mon Abrégé : n'ayant alors d'autre dessein que de combattre l'opinion de ceux qui soutiennent que le vide est absolument impossible, et que la nature souffrirait plutôt sa destruction que le moindre espace vide. En effet, je n'estime pas qu'il nous soit permis de nous départir légèrement des maximes que nous tenons de l'antiquité, si nous n'y sommes obligés par des preuves indubitables et invincibles : mais, en ce cas, je tiens que ce serait une extrême faiblesse d'en faire le moindre scrupule, et qu'enfin nous devons avoir plus de vénération pour les vérités évidentes, que d'obstination pour ces opinions reçues. . . ”

Cette citation nous révèle le vrai caractère de Pascal. C'est une âme d'élite, honnête, sincère, respectueuse des opinions qui ont cours de son temps, mais avant tout avide de connaître la vérité. S'il estime que seules des preuves décisives doivent nous donner droit de contredire l'antiquité, il combat l'obstination de ne pas les contredire, uniquement parce qu'on les admet partout.

L'on voit de plus que son esprit scientifique ne se contente pas de preuves quelconques. La pesanteur de l'air était proposée déjà par Descartes et Torricelli comme hypothèse, et ce dernier estimait que cette pesanteur pouvait être la cause de tous les effets qu'on avait jusqu'alors attribués à l'horreur du vide. Cette idée souriait beaucoup à Pascal, mais, malgré toutes les expériences qu'il avait faites sur le vide, il lui fallait la démonstration décisive qui devait entraîner l'adhésion de tous les esprits.

C'est alors qu'il imagina la fameuse expérience du Puy de Dôme ; l'idée lui en fut suggérée, paraît-il, par Descartes, bien qu'il n'en fasse aucune mention dans sa lettre à Périer dont nous venons de citer un extrait et qu'il continue ainsi :

“ J'ai imaginé une expérience qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée avec justesse.

C'est de faire l'expérience ordinaire du vide plusieurs fois en un même jour, dans un même tuyau, avec le même vif-argent, tantôt en bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de cinq ou six cents toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive de la question, et que, s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne, que non pas sur son sommet ; au lieu qu'on ne saurait dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur son sommet. . . .”

Voilà le problème posé d'une manière fort précise, et le résultat de l'expérience qu'il suggérerait de faire ne devait laisser place à aucun doute. Si réellement l'air est pesant, son poids doit être plus grand dans la plaine que sur une montagne,

ce qui doit se trahir par une diminution constante de la longueur de la colonne mercurielle dans le tube de Torricelli, à mesure que l'on opère à des niveaux de plus en plus élevés.

La célèbre expérience ne fut faite par Périer que l'année suivante. Dans une lettre, datée du 22 septembre 1648, Périer s'excuse des retards regrettables qu'il n'a pu éviter et donne une relation minutieuse de l'expérience qu'il a exécutée, en insistant sur les soins et les précautions qu'il y a apportés.

... " Je vous en donne ici, dit-il, une ample et fidèle relation, où vous verrez la précision et les soins que j'y ai apportés, auxquels j'ai estimé à propos de joindre encore la présence de personnes aussi savantes qu'irréprochables, afin que la sincérité de leur témoignage ne laissât aucun doute de la certitude de l'expérience."

Périer nomme d'abord les personnages qu'il a invités comme témoins de l'expérience, " dont quelques-uns, dit-il, sont ecclésiastiques et les autres séculiers : entre les ecclésiastiques étaient le T. R. P. Bannier, l'un des Pères Minimes de cette ville, qui a été plusieurs fois correcteur (c'est-à-dire supérieur), et M. Mosnier, chanoine de l'église cathédrale de cette ville ; et entre les séculiers, MM. La Ville et Bigon, conseillers en la

cour des aides, et M. La Porte, docteur en médecine, et la professant ici ; toutes personnes très capables, non seulement en leurs charges, mais encore dans toutes les belles connaissances, avec lesquels je fus ravi d'exécuter cette belle partie."

Périer décrit alors tous les détails de l'expérience. Dans le jardin des Pères Minimes, qui est presque le lieu le plus bas de la ville, il fait l'expérience ordinaire du vide, qu'il répète deux autres fois pour plus de précision, avec deux tubes plongeant dans le même vase où il avait versé seize livres de mercure, et constata que, dans les deux tubes, la hauteur de la colonne de mercure était de vingt-six pouces, trois lignes et demie.

L'un de ces tubes devait servir de tube-témoin, ou, suivant son expression, devait rester en "expérience continue," après avoir marqué sur le verre la hauteur du mercure ; puis il en confia la garde au R. P. Chastin, l'un des religieux de la maison, "homme aussi pieux que capable, dit-il, et qui raisonne très bien en ces matières," le priant de noter, pendant toute la journée, les changements qui pourraient se produire.

Et Périer continue ainsi son intéressante relation :

"Et avec l'autre tuyau et une partie de ce même vif-argent, je fus, avec tous ces messieurs,

au haut du Puy de Dôme, élevé au-dessus des Minimes d'environ cinq cents toises, où, ayant fait les mêmes expériences de la même façon que je les avais faites aux Minimes, il se trouva qu'il ne resta plus dans ce tuyau que la hauteur de vingt-trois pouces deux lignes de vif-argent ; au lieu qu'il s'en était trouvé aux Minimes, dans ce même tuyau, la hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie ; et qu'ainsi, entre les hauteurs du vif-argent, de ces deux expériences, il y eut trois pouces une ligne et demie de différence : ce qui nous ravit tous d'admiration et d'étonnement, et nous surprit de telle sorte, que, pour notre satisfaction propre, nous voulûmes la répéter. C'est pourquoi je la fis encore cinq autres fois très exactement en divers endroits du sommet de la montagne, tantôt à couvert dans la petite chapelle qui y est, tantôt à découvert, tantôt à l'abri, tantôt au vent, tantôt en beau temps, tantôt pendant la pluie et les brouillards qui nous y viennent voir parfois, ayant à chaque fois purgé très soigneusement d'air le tuyau ; et il s'est toujours trouvé à toutes ces expériences la même hauteur du vif-argent de vingt-trois pouces deux lignes, qui font les trois pouces une ligne et demie de différence d'avec les vingt-six pouces trois

lignes et demie qui s'étaient trouvés aux Minimes, ce qui nous satisfit pleinement.

“ Après, en descendant la montagne, je refis en chemin la même expérience, toujours avec le même tuyau, le même vif-argent et le même vaisseau, en un lieu appelé *Lafon de l'Arbre*, beaucoup au-dessus des Minimes, mais beaucoup plus au-dessous du sommet de la montagne ; et là je trouvai que la hauteur du vif-argent resté dans le tuyau était de vingt-cinq pouces. Je la refis une seconde fois en ce même lieu, et M. Mosnier, un des ci-devant nommés, eut la curiosité de la faire lui-même ; il la fit donc aussi en ce même lieu, et il se trouva toujours la même hauteur de vingt-cinq pouces, qui est moindre que celle qui s'était trouvée aux Minimes, d'un pouce trois lignes et demie, et plus grande que celle que nous venions de trouver au haut du Puy de Dôme d'un pouce dix lignes, ce qui n'augmenta pas peu notre satisfaction, voyant la hauteur du vif-argent se diminuer suivant la hauteur des lieux.

“ Enfin, étant revenus aux Minimes, j'y trouvai le vaisseau que j'avais laissé en expérience continue, en la même hauteur où je l'avais laissé, vingt-six pouces trois lignes et demie, à laquelle hauteur le R. P. Chastin, qui y était demeuré pour l'observation, nous rapporta n'être arrivé aucun

changement pendant toute la journée, quoique le temps eût été fort inconstant, tantôt serein, tantôt pluvieux, tantôt plein de brouillards, et tantôt venteux.

“ J’y refis l’expérience avec le tuyau que j’avais porté au Puy du Dôme, et dans le vaisseau où était le tuyau en expérience¹ continuele ; je trouvai que le vif-argent était en même niveau dans ces deux tuyaux et à la même hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie, comme il s’était trouvé le matin dans ce même tuyau, et comme il était demeuré durant tout le jour dans le tuyau en expérience continuele.

“ Je la répétei encore pour la dernière fois, non seulement dans le même tuyau où je l’avais faite sur le Puy du Dôme, mais encore avec le même vif-argent et dans le même vaisseau que j’y avais porté, et je trouvai toujours le vif-argent à la même hauteur de vingt-six pouces trois lignes et demie, qui s’y était trouvée le matin : ce qui acheva de nous confirmer dans la certitude de l’expérience ”.

Nous avons cité presque en entier, malgré sa longueur, la relation de Périer pour faire voir que Pascal n’aurait pu désirer un expérimentateur plus patient, plus habile et plus soucieux des moindres détails. Rien ne fut oublié, et par de

nombreuses épreuves et contre-épreuves exécutées avec une précision bien rare à cette époque, les prévisions de Pascal sont pleinement réalisées et la pression de l'air est définitivement prouvée. Pascal en éprouva une grande joie et confirma lui-même l'expérience du Puy de Dôme par celle qu'il fit sur la tour de Saint-Jacques de la Boucherie, à Paris.

“ Cette relation, écrit-il, ayant éclairci toutes mes difficultés, je ne dissimule pas que j'en reçus beaucoup de satisfaction... Je fis l'expérience ordinaire du vide au haut et au bas de la tour Saint-Jacques de la Boucherie, haute de vingt-quatre à vingt-cinq toises : je trouvai plus de deux lignes de différence à la hauteur du vif-argent ; et ensuite, je la fis dans une maison particulière, haute de quatre-vingt-dix marches, où je trouvai très sensiblement demi-ligne de différence...”

Voici maintenant comment Pascal annonce au public le résultat des expériences décisives qui viennent d'être faites et le triomphe de ses idées sur la pesanteur de l'air :

AU LECTEUR

“ Mon cher lecteur. Le consentement universel des peuples et la foule des philosophes concourent

à l'établissement de ce principe, que la nature souffrirait plutôt sa destruction propre, que le moindre espace vide. Quelques esprits des plus élevés en ont pris un plus modéré : car encore qu'ils aient cru que la nature a de l'horreur pour le vide, ils ont néanmoins estimé que cette répugnance avait des limites, et qu'elle pouvait être surmontée par quelque violence ; mais il ne s'est encore trouvé personne qui ait avancé ce troisième : que la nature n'a aucune répugnance pour le vide, qu'elle ne fait aucun effort pour l'éviter, et qu'elle l'admet sans peine et sans résistance.

“ Les expériences que je vous ai données dans mon Abrégé détruisent, à mon jugement, le premier de ces principes ; et je ne vois pas que le second puisse résister à celle que je vous donne maintenant ; de sorte que je ne fais plus de difficulté de prendre ce troisième, que la nature n'a aucune répugnance pour le vide ; qu'elle ne fait aucun effort pour l'éviter ; que tous les effets qu'on a attribués à cette horreur procèdent de la pesanteur et pression de l'air ; qu'elle en est la seule et véritable cause, et que, manque de la connaître, on avait inventé exprès cette horreur imaginaire du vide, pour en rendre raison. Ce n'est pas en cette seule rencontre que, quand la faiblesse des hommes n'a pu trouver les véritables

causes, leur subtilité en a substitué d'imaginaires, qu'ils ont exprimées par des noms spécieux qui remplissent les oreilles et non pas l'esprit . . .”

Comme on le voit, Pascal est tout à fait conquis, les expériences sont complètes et la pesanteur de l'air est définitivement prouvée. Désormais, on expliquera le plus facilement du monde tous les phénomènes qu'on attribuait à l'horreur du vide, et une ère nouvelle, pleine de promesses et extrêmement féconde, comparable sans aucun doute à celle qui suivit les découvertes de Lavoisier en Chimie et d'Ampère en Électromagnétisme, va s'ouvrir aux chercheurs et doter la science physique de développements inattendus et de la plus haute importance.

Mais ces conquêtes ne se firent pas sans lutte, tant était grande l'emprise extraordinaire que l'antiquité exerçait sur tous les esprits. Pascal lui-même, malgré toute sa clairvoyance et son génie, n'y avait pas échappé, et, comme il le déclare lui-même, il ne devait céder qu'à l'évidence des faits.

“ Ce n'est pas toutefois sans regret, dit-il, que je me dépars de ces opinions si généralement reçues ; je ne le fais qu'en cédant à la force de la vérité qui m'y contraint. J'ai résisté à ces sentiments nouveaux, tant que j'ai eu quelque prétexte

pour suivre les anciens ; les maximes que j'ai employées en mon Abrégé le témoignent assez. Mais enfin, l'évidence des expériences me force de quitter les opinions où le respect de l'antiquité m'avait retenu. Aussi je ne les ai quittées que peu à peu, et je ne m'en suis éloigné que par degrés : car du premier de ces trois principes, que la nature a pour le vide une horreur invincible, j'ai passé à ce second, qu'elle en a de l'horreur, mais non pas invincible ; et de là je suis enfin arrivé à la croyance du troisième, que la nature n'a aucune horreur pour le vide''⁽¹⁾.

*

* *

RÉSULTATS DES EXPÉRIENCES DE PASCAL

Quelles furent les conséquences des études et des expériences de Pascal sur la pression de l'air ? C'est ce que nous allons examiner maintenant.

Ces études valurent à la science la publication de deux traités, *l'Équilibre des Liqueurs* et la *Pesanteur de la masse de l'air*, écrits probablement en 1651, mais publiés un an après la mort de

(1) Les citations sont tirées des *Lectures scientifiques* de Jules GAY, lequel les a collationnées sur l'édition de 1664 du livre de Pascal, réimpression de l'édition princeps de 1663.

l'auteur en 1663, par les soins de sa sœur et de son beau-frère. Bien que Pascal eût écrit que "les expériences ont bien plus de force pour persuader que les raisonnements" et qu'elles "sont les seuls principes de la physique," son génie généralisateur ne pouvait se contenter de simples faits, et de l'expérience de Torricelli, vaine curiosité pour les esprits ordinaires, il en déduisit les vrais fondements de l'Hydrostatique.

Ces deux traités n'en font pour ainsi dire qu'un seul, car il fait voir que la fluidité commune des liquides et des gaz est la cause de tous les effets que l'on constate dans ces deux états de la matière ; comme nous l'avons déjà cité dans sa lettre à Périer, "j'incline bien plus, dit-il, à imputer tous ces effets à la pesanteur et pression de l'air, parce que je ne les considère que comme des cas particuliers d'une proposition universelle de l'Équilibre des Liqueurs qui doit faire la plus grande partie du Traité que j'ai promis."

C'est pourquoi il montre la similitude des effets produits sur les corps plongés dans l'air et dans l'eau, et il explique la pesanteur de l'air par la pesanteur des liquides, de sorte que le Traité de l'Équilibre des Liqueurs est l'introduction de celui de la Pesanteur de la masse de l'air.

C'est par ces deux traités que Pascal peut être considéré comme le fondateur de l'Hydrostatique et de la Pneumatique. Tous les phénomènes relatifs à l'équilibre des liquides et à la pression de l'air reposent sur le principe de la transmission des pressions que Pascal appelle "fondement et raison de l'équilibre des liqueurs." Il en fait la base de toutes les explications qu'il donne au sujet de la pression des liquides sur le fond des vases, de l'apparente contradiction connue sous le nom de *paradoxe hydrostatique*, de la multiplication des forces par laquelle "un petit filet d'eau tient un grand poids en équilibre ;" "d'où il paraît, continue-t-il, qu'un vaisseau plein d'eau est un nouveau principe de mécanique, et une machine nouvelle pour multiplier les forces à tel degré qu'on voudra . . ."

"Et l'on doit admirer qu'il se rencontre en cette machine nouvelle cet ordre constant qui se trouve en toutes les anciennes, savoir le levier, le tour, la vis sans fin, etc., qui est, que le chemin est augmenté en même proportion que la force." C'est l'énoncé du principe des *vitesses virtuelles*, bien connu en Mécanique, et cette *machine nouvelle* qui multiplie les forces n'est autre que la *presse hydraulique* dont l'emploi est si universellement répandu de nos jours.

Il en est de même du principe d'Archimède. Le célèbre géomètre de Syracuse avait bien découvert la perte de poids que subissent les corps plongés dans un liquide ; mais pour démontrer que cette perte est égale au poids du liquide déplacé, il dut recourir à de longs détours, et sa démonstration ne pouvait être complète, parce qu'elle suppose le principe de la transmission des pressions en tous les sens, principe qu'il ignorait. Pascal, au contraire, en fait la base de la démonstration du théorème d'Archimède, et cette démonstration, tirée des propriétés mêmes des fluides, est la première et la meilleure qui ait été donnée. Dès lors, l'importante question des corps plongés dans l'eau et des corps flottants, avec toutes les conséquences que l'on connaît, est définitivement réglée.

Ce n'est donc pas sans raison que le principe de la transmission des pressions, bien qu'il fut établi dès 1586 par Stevin, en Hollande, mais sans lui donner la portée générale d'un principe premier en Hydrostatique, peut justement, comme on le fait sans conteste aujourd'hui, être appelé "principe de Pascal."

C'est aussi ce principe qui domine le Traité de la Pesanteur de la masse de l'air, conséquence naturelle du précédent, puisque Pascal fait voir

le parallélisme parfait entre les effets de la pression atmosphérique et ceux de la pression des liquides. Il explique par la pesanteur de l'air tout ce qu'on attribuait autrefois à l'horreur du vide, et, au sujet de cette dernière opinion :

“ Et on l'a cru, dit-il, avec tant de certitude, que les philosophes en ont fait un des grands principes de leur science et le fondement de leurs traités du vide : on le dicte tous les jours dans les classes et dans tous les lieux du monde, et depuis tous les temps dont on a des écrits, tous les hommes ensemble ont été fermes dans cette pensée, sans que jamais personne y ait contredit jusqu'à ce temps.

“ Peut-être que cet exemple ouvrira les yeux à ceux qui n'osent penser qu'une opinion soit douteuse, quand elle a été de tout temps universellement reçue de tous les hommes...”

Puis il termine par cette remarque qui ne manque pas de piquant, après avoir montré que l'expérience du Puy de Dôme a dissipé tous les doutes et prouvé définitivement la pression de l'air :

“ Que tous les disciples d'Aristote assemblent tout ce qu'il y a de fort dans les écrits de leur maître et de ses commentateurs, pour rendre raison de ces choses par l'horreur du vide, s'ils

le peuvent : sinon qu'ils reconnaissent que les expériences sont les véritables maîtres qu'il faut suivre dans la Physique ; que celle qui a été faite sur les montagnes, a renversé cette croyance universelle du monde, que la nature abhorre le vide et ouvert cette connaissance qui ne saurait plus jamais périr, que la nature n'a aucune horreur pour le vide, qu'elle ne fait aucune chose pour l'éviter, et que la pesanteur de la masse de l'air est la véritable cause de tous les effets qu'on avait jusqu'ici attribués à cette cause imaginaire."

*

* *

Pascal venait de démontrer hors de tout doute quelle interprétation il faut donner à l'expérience de Torricelli : c'est bien la pression atmosphérique qui soutient dans le tube un poids déterminé de mercure, et ce poids peut donc servir à mesurer cette pression. C'est de cette constatation qu'est né le *baromètre*, appareil dont l'importance grandit de jour en jour, instrument indispensable dans tout laboratoire de Physique et dans toute station météorologique, de même qu'on le trouve très répandu chez un grand nombre de particuliers.

Le baromètre n'est autre chose qu'un tube de Torricelli auquel on a fait subir certaines modifications qui en font un appareil de précision. Si l'on peut mesurer exactement la longueur de la colonne de mercure, on a par suite facilement son poids ; c'est ce poids qui fait équilibre à la pression que l'air exerce sur toute surface du mercure de la cuvette égale à la section du tube barométrique. On en conclut que la pression atmosphérique est d'environ quinze livres par pouce carré. Le baromètre à mercure, destiné surtout aux expériences de laboratoire, est remplacé souvent par les baromètres métalliques que tout le monde connaît, moins encombrants, plus portatifs, et dans lesquels la pression de l'air s'exerce sur une caisse élastique vide d'air dont les mouvements de hausse et de baisse sont communiqués à une aiguille. Le cadran de ces baromètres est gradué en pouces ou en centimètres par comparaison avec un baromètre à mercure.

Si le baromètre permet de mesurer la pression atmosphérique, il peut aussi en indiquer les variations, en particulier celles qui sont dues aux différences de niveau. Pascal, à la suite de la lettre de Périer qui lui rendait compte de l'expérience du Puy de Dôme, signale cette importante application :

“ De cette expérience, dit-il, se tirent beaucoup de conséquences, comme :

“ Le moyen de connaître si deux lieux sont en même niveau, c'est-à-dire également distants du centre de la terre, ou lequel des deux est le plus élevé, si éloignés qu'ils soient l'un de l'autre, quand même ils seraient antipodes ; ce qui serait comme impossible par tout autre moyen . . . ”

La pesanteur de l'air et sa diminution avec l'altitude une fois prouvées, il semble tout naturel de prévoir la possibilité d'une relation simple entre la longueur de la colonne barométrique et la hauteur à laquelle a été porté le baromètre. La densité du mercure, en effet, étant environ 10,464 plus grande que celle de l'air, le baromètre doit baisser de 1 millimètre si on l'élève à 10 m., 464 de hauteur. Ces prévisions sont justes et un calcul très simple permet de mesurer de petites différences de niveau, dans les limites d'une centaines de mètres, pour lesquelles la densité de l'air peut être considérée comme constante. Dans le cas des grandes altitudes, il n'en va pas ainsi, parce que la densité de l'air décroît irrégulièrement et sans loi définie à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère. On résout alors la difficulté par l'emploi de formules assez compliquées, comme celle de Laplace, dans lesquelles on élimine

autant que possible les causes d'erreurs des mesures directes.

C'est au moyen de ces formules que sont faites les graduations que l'on voit sur les cadrans des baromètres métalliques ; une simple lecture permet de mesurer directement la différence de niveau entre deux points donnés.

Le baromètre ainsi gradué est donc l'instrument indispensable de tous les travaux d'explorations, des relevés de terrains faits par les arpenteurs, des études des reliefs géographiques d'un pays, etc. Il n'est pas moins nécessaire à l'aéronautique : le pilote d'un aéroplane ou d'un dirigeable n'a pas d'autres ressources que le baromètre pour constater les mouvements ascendants ou descendants de son navire aérien, et c'est par lui également qu'il mesure sa hauteur au-dessus du sol. L'exploration de la haute atmosphère se fait au moyen de *ballons-sondes*, ou ballons non montés, auxquels on confie des instruments enregistreurs.

On prétend que Pascal découvrit l'influence " du temps qu'il fait " sur les fluctuations barométriques. Sans vouloir résoudre une délicate question de priorité, il est certain que les premiers physiciens qui ont observé le baromètre, et Torricelli lui-même, entre autres, ont vite constaté, dans la longueur de la colonne mercurielle,

des variations qui diffèrent avec le lieu de l'observation, la saison, l'altitude, l'heure de la journée, etc., de même qu'une coïncidence remarquable entre la hauteur barométrique et l'état du ciel.

C'est à la suite de ces constatations que l'emploi du baromètre pour la *prévision du temps* s'est généralisé. Il ne faut pas attacher trop d'importance aux observations barométriques isolées ; on peut admettre, tout de même, que, pour un lieu déterminé, la hausse du baromètre annonce généralement l'approche du beau temps, tandis qu'une baisse de la colonne mercurielle est signe de pluie. L'observation du baromètre est surtout importante pour l'étude des grandes perturbations atmosphériques, des mouvements cycloniques, des bourrasques qui ont tant d'influence sur la météorologie d'un pays. On constate que la pression baisse de la circonférence au centre d'un mouvement giratoire atmosphérique, de sorte que l'on peut suivre toutes les phases du météore par le seul examen du baromètre.

Le baromètre rend de grand services aux voyageurs, aux agriculteurs, aux marins, et c'est ce qui explique l'usage constant que l'on en fait un peu partout. Sans doute, la prévision rationnelle du temps exige de plus grands soins et elle ne se fait sérieusement que par l'étude simultanée de la

pression barométrique sur toute l'étendue d'un pays, par l'établissement de stations d'où l'on envoie plusieurs fois par jour toutes les données météorologiques à un bureau central ; c'est de là que partent les prévisions du temps, après que l'on a pris connaissance et inscrit sur une carte l'état général de l'atmosphère pour tout un continent.

*

* * *

Les limites du présent travail ne nous permettent pas de passer en revue toutes les conséquences qui découlent de la démonstration de la pression de l'air. A celles que nous venons déjà de signaler, nous en joindrons brièvement quelques autres, en insistant pour terminer sur la principale, croyons-nous, c'est-à-dire la naissance d'une science nouvelle et jusqu'alors insoupçonnée : la Météorologie.

Une fois que l'on eut prouvé la pesanteur de l'air et démontré que la nature pouvait souffrir des espaces vides de toute matière pondérable, on s'est préoccupé de trouver, pour faire le vide, des dispositifs plus pratiques et plus commodes que la chambre barométrique de Torricelli. De là, l'invention de la *machine pneumatique*, dont la

première, en 1650, est due à Otto de Guericke, bourgmestre de Madgebourg. Elle a grandement contribué à mettre en évidence les effets de la pression atmosphérique et les propriétés des gaz ; “ rien, disait Fontenelle, ne fait mieux connaître l'air que ce qui se passe là où il n'est pas. ” Elle est d'un usage constant dans tous les laboratoires de physique, de même que l'industrie l'utilise pour le *flambage* des tissus, ou encore dans les entrepôts frigorifiques, pour produire l'évaporation rapide des gaz liquéfiés.

La pression atmosphérique joue également un rôle prépondérant dans les phénomènes de l'évaporation et de l'ébullition de l'eau. L'expérience a fait voir que l'eau bout à une température pour laquelle la tension de sa vapeur est égale à la pression extérieure. Il en résulte que l'eau, qui exige pour bouillir cent degrés centigrades à la pression normale de l'atmosphère, entre en ébullition à zéro dans le vide, c'est-à-dire à la même température que son point de congélation. On explique alors facilement pourquoi l'eau, sur une haute montagne, bout à une température moins élevée qu'au niveau de la plaine.

Nous avons dit plus haut que Pascal, dans ses *Traité*s de l'Équilibre des liqueurs et de la Pesanteur de la masse de l'air, expliquait de la même

manière et en partant du même principe la transmission en tous sens de la pression dans les liquides et dans l'air. Le principe d'Archimède, dont il avait donné la première démonstration exacte, devait donc également s'appliquer aux gaz et en particulier à l'air. Toute la théorie des ballons repose sur cette déduction, et un corps plus léger que le volume d'air qu'il déplace devrait s'élever dans les airs, de même qu'un morceau de bois, plongé dans l'eau, vient surnager à la surface.

Il n'est pas étonnant que Pascal, avant la découverte de l'hydrogène et des autres gaz plus légers que l'air, n'ait pas songé à cette importante application du principe d'Archimède. Ce n'est qu'en 1783 que les frères Montgolfier réussirent à faire élever dans les airs les premiers ballons à air chaud, et Lalande, en rendant compte de ces expériences nouvelles à l'Académie des Sciences, a pu s'écrier : " Nous dûmes tous : cela devrait être ; comment n'y a-t-on pas songé ? " C'était une nouvelle preuve que la poussée de l'air sur les corps qui y sont plongés s'exerce de la même manière, conformément au principe de la transmission des pressions, que la poussée de l'eau sur les corps immergés.

On peut dire également que la machine à vapeur est née d'une application que Papin voulut faire de la pression atmosphérique. Dans les *Acta eruditorum* de Leipsig de 1690, en effet, et dans la traduction française de Cassel parue en 1695, Denis Papin décrit comment il a obtenu le mouvement alternatif d'un piston dans un cylindre,— toute la machine à vapeur est en germe dans cette trouvaille,— par l'action combinée de la force élastique de la vapeur d'eau et de la pression atmosphérique. L'emploi de la vapeur d'eau et sa condensation par le refroidissement n'étaient au début, dans l'esprit de l'inventeur, qu'un nouveau moyen de faire le vide plus parfaitement que par les anciens procédés. C'est la pression atmosphérique qui ramenait le piston au bas de sa course, par suite du vide causé par la condensation de la vapeur qui l'avait soulevé. Papin voit ensuite quel parti on peut tirer de ce mouvement de va-et-vient d'un piston et il indique lui-même comment on peut le transformer en mouvement de rotation. Les machines à vapeur actuelles ne sont que des perfectionnements de cette géniale conception, et c'est l'application de la pression de l'air qui en a fourni l'occasion.

Mais nous avons hâte d'arriver à la plus importante conséquence des démonstrations de Pascal, c'est-à-dire, comme nous le disions plus haut, la naissance d'une science nouvelle, la *Météorologie*. C'est la partie de la Physique qui traite des phénomènes atmosphériques, et les plus importants, ceux qui constituent les fondements de cette science, ne sont que le résultat de la pression de l'air et de ses variations.

Si l'air était *léger*, c'est-à-dire sans poids, comme le croyaient les anciens, et si ce poids, une fois admis, ne subissait aucune variation en différents points de l'atmosphère, il serait impossible de concevoir aucun mouvement dans la couche gazeuse qui entoure notre globe, et, par suite, il n'y aurait jamais de *vent*. Mais si l'on suppose une différence de pression en deux points donnés, l'équilibre de la masse d'air est rompu, et celui-ci, sous l'influence de l'excès de poids, se met en mouvement des points de pression plus élevée vers ceux où elle est plus faible, avec une vitesse qui dépend de la différence des poids, suivant la valeur, comme on dit maintenant, du *gradient barométrique*. Et cette différence de pression nécessaire à la formation d'un vent sera causée soit par l'inégale distribution de la chaleur dans les couches atmosphériques, soit par la conden-

sation d'une grande quantité de vapeur d'eau en pluie, d'où résulte un vide qui détermine l'appel de l'air environnant, soit encore par une différence d'humidité, qui est la cause d'une différence de poids, entre deux masses d'air voisines.

Si l'on étudie la Terre dans son ensemble, on constate, dans la direction des vents suivant la position géographique, une constance remarquable que l'on a appelée la *circulation générale de l'atmosphère* et que les variations de la pression barométrique aux différents points de la surface terrestre ont parfaitement expliquée. Les lignes *isobares*, c'est-à-dire les lignes qui sur une carte passent par les points d'égale pression, ont révélé l'existence de deux minima de pression, l'un à l'équateur, causé par l'échauffement exagéré de l'air en ces régions, l'autre aux pôles, dû à la force centrifuge ; ces deux minima sont séparés par une zone de haute pression un peu au delà du 30^e degré de latitude.

On voit tout de suite que cette disposition de la pression, jointe au mouvement de rotation de la Terre, va produire deux systèmes de vents, les uns de *sud-ouest*, soufflant des tropiques vers le pôle nord, les autres du *nord-est*, dirigés des tropiques vers l'équateur. Au voisinage de cette limite, ces derniers vents de nord-est s'infléchissent

presque complètement vers l'ouest et constituent, avec un régime semblable qui règne dans l'hémisphère austral et près de l'équateur, les vents *alizés* qui soufflent dans la même direction pendant toute l'année. Les premiers ne sont rien autre chose que nos vents de sud-ouest qui entraînent dans la direction de la vallée du Saint-Laurent tous les météores atmosphériques et qui ont tant d'influence sur la météorologie de notre pays. C'est, en effet, l'orientation suivie par les cyclones, vastes mouvements giratoires aériens qui se forment au centre du continent américain ; c'est également dans cette direction que se meuvent les orages d'été et les trombes. Si l'on peut dire avec vérité que le siège du beau ou du mauvais temps dans notre province est dans l'ouest ou le sud-ouest, ce n'est qu'une conséquence nécessaire de la circulation générale de l'atmosphère au nord du 30^e degré de latitude.

Il est connu que la direction des vents exerce une grande influence sur le climat d'une contrée, puisque les vents sont plus ou moins chauds ou froids, secs ou humides suivant le point de l'horizon d'où ils soufflent. C'est ainsi qu'à Québec et aux environs, les vents d'ouest sont secs et chauds pendant l'été, mais froids pendant l'hiver, tandis que les vents d'est et de nord-est sont tempérés

pendant l'hiver, mais froids pendant l'été ; cela tient uniquement au fait que, à l'est de Québec, l'eau du fleuve et de l'estuaire du Saint-Laurent est plus chaude que le sol en hiver et plus froide que le sol en été ; au contraire, les vastes régions de l'ouest, couvertes de neige durant l'hiver mais fortement chauffées pendant l'été, donnent aux vents qui les rasent des températures justement à l'inverse des premiers.

Or, comme on le sait, l'air chaud est plus léger que l'air froid, et une différence de température entre deux points donnés d'un continent amène nécessairement une différence de pression, par suite, un déplacement de l'air ou un vent. Tout s'explique donc, en dernière analyse, par des variations de pression dans l'air, et toute la science des mouvements atmosphériques, toute la Météorologie, pour ainsi dire, était en germe dans l'expérience du Puy de Dôme, lorsque Pascal prouvait sans conteste que l'air, comme le reste de la matière, était pesant.

Les conséquences de cette démonstration scientifique, que nous venons de résumer brièvement, sont donc de la plus haute importance ; un nouveau chapitre extrêmement fécond en applications de toutes sortes a été ouvert à la Physique, et la science s'est enrichie de connaissances jusqu'alors

inconnues dont elle a largement bénéficié. C'est sans doute ce que la France a voulu rappeler au monde savant dans les fêtes du troisième centenaire de Pascal, c'est sans doute pour cette raison que le Président de la République a fait en personne l'ascension du Puy de Dôme, et, comme le disait malicieusement le correspondant parisien, en a " foulé la cime d'un soulier vainqueur."

*

* *

MÉTHODE SCIENTIFIQUE DE PASCAL

Il est très curieux de remarquer que Pascal, parmi les hommes de génie qui ont illustré la science, est l'un de ceux qui lui ont consacré le moins de temps. Doué d'aptitudes extrêmement précoces pour la Géométrie et la Physique, il composait à seize ans un traité des sections coniques, et, à vingt-quatre ans, après l'invention de sa fameuse machine à calculer et la publication d'éminents travaux sur le calcul des probabilités, la Géométrie et la Physique, parmi lesquels il faut citer ceux qui font le sujet de cette étude, il avait pour ainsi dire fini sa carrière scientifique. Un changement radical va désormais se produire dans sa vie ; il

s'enfonce dans la retraite et se livre tout entier à la Philosophie et à la religion. La science pure n'a plus d'attraits pour lui, plus que cela, il la juge indigne d'occuper son esprit, et si plus tard, sur les instances de ses amis, il apporta à la fameuse question de la *cycloïde* une contribution qui étonna le monde savant, ce ne fut, comme il crut devoir s'en excuser à sa sœur, que pour se distraire du mal de dents.

Les questions scientifiques vont donc maintenant le laisser indifférent ; les immortels travaux de Képler, les observations et les tables de Tycho-Brahé, les publications de Galilée ne trouvent pas d'échos dans cette âme désormais fermée à tout ce qui n'a pas à ses yeux un caractère religieux, et l'on est surpris de trouver dans ses *Pensées*, lui dont tous les essais furent des coups de maître et des traits de génie, une légèreté dédaigneuse pour les récentes découvertes astronomiques ; on est étonné qu'il ait écrit : " Je trouve bon qu'on n'approfondisse pas l'opinion de Copernic," comme si, suivant l'opinion de quelques-uns, il admettait encore les erreurs antiques sur le système du monde.

" Sa vie, écrit Valson dans son beau livre *Les savants illustres du XVIe et du XVIIe siècle*, fut partagée et comme morcelée entre les sciences

pour lesquelles la nature l'avait si heureusement doué, la philosophie dont l'étude absorba de bonne heure toutes ses facultés, et les querelles religieuses où l'on doit regretter à tant d'égards qu'il se soit trouvé mêlé."

Quels services n'aurait-il pas rendus à la science, quelles découvertes n'aurait-il pas ajoutées à celles dont nous lui sommes déjà redevables, s'il n'avait gaspillé une partie de sa vie dans les luttes du jansénisme, où sa verve sarcastique et son rigorisme impitoyable se sont donnés libre cours, pour le plus grand profit des ennemis de l'Église !

Mais il ne faut pas regretter qu'il ait mis en œuvre les éminentes dispositions dont la Providence l'avait gratifié pour les sciences philosophiques. Loin de se nuire, loin de se combattre, la Philosophie et la science se prêtent un mutuel secours, bien plus, la science n'est complète, elle n'arrive, dans la poursuite de son objet, à son plein épanouissement que si elle reçoit de la Philosophie une aide efficace et nécessaire. Sans étudier toute l'œuvre scientifique de Pascal, comme nous l'avons déjà déclaré plus haut, il nous sera facile de montrer, par ses seuls travaux sur la pesanteur de l'air, quelles conclusions il a su tirer des vérités expérimentales, quel équilibre

il a établi entre l'expérience et l'emploi d'une saine métaphysique, en un mot quelle méthode il a donnée en exemple à tous ceux qui veulent faire œuvre sérieuse et durable.

*

* *

Il y a des différences profondes dans la mentalité, les aspirations, les méthodes employées par ceux qui s'adonnent aux sciences naturelles. Pour les uns l'expérience est tout, le reste n'est rien. Leur activité s'exerce dans des laboratoires richement outillés et leur unique préoccupation est de découvrir des faits nouveaux, d'enrichir la science de découvertes dont l'industrie bénéficiera largement, d'inventer des mécanismes utilitaires qui augmenteront le bien-être de l'humanité.

D'autres, au contraire, et en particulier les anciens, se soucient trop peu de l'expérience et de l'observation. Se plaisant dans de brillantes théories et d'abstraites conceptions, ils donnent libre cours à leur imagination, bâtissent des systèmes, ingénieux peut-être mais trop souvent contredits par les faits, enfin proclament des axiomes et des principes immuables comme des dogmes, dont ils font la base sur laquelle repose

toute une série de phénomènes similaires. Il en était ainsi du principe de *l'horreur du vide* par lequel on donnait à la matière inerte des qualités propres aux seuls êtres vivants, et qui a retardé pendant de longs siècles l'éclosion de la science des phénomènes atmosphériques.

Nous ne voulons pas dire que les théories et les systèmes imaginés par de nombreux savants soient inutiles ou nuisibles. Les théories, au contraire, par les recherches expérimentales minutieuses dont elles sont l'occasion, par les réflexions profondes et les savants calculs qu'elles provoquent, sont de précieux instruments de travail et la source très fréquente des plus belles découvertes. Telle est la théorie des ondulations, en Optique, et celle des *électrons*, en Électricité, qui a donné naissance à la merveilleuse lampe à trois électrodes, fondement de toute la technique de la téléphonie sans fil.

Ce que nous voulons faire voir, c'est que la vraie science est également éloignée des deux extrêmes dont nous venons de parler. Les expériences sont nécessaires et c'est par là qu'il faut commencer ; il faut scruter la nature, l'interroger de toutes manières, lui arracher patiemment les secrets qu'elle garde avec un soin jaloux. Mais une fois qu'elle a parlé et que la science a acquis

toute une série de faits nouveaux, il ne faudrait pas croire que le chercheur a accompli toute sa tâche ; il ne suffit pas d'en dresser de longs catalogues ni d'aligner sans ordre et sans suite une série de phénomènes voués fatalement à la plus désastreuse stérilité.

Il faut remonter du concret à l'abstrait, des effets aux causes ; il faut coordonner les faits, exprimer les règles générales qui les régissent, en un mot, chercher les rapports qui les lient et les lois qui manifestent leur dépendance mutuelle. La découverte des lois de la nature, voilà le but que doit se proposer le véritable savant et c'est ici qu'intervient la Philosophie. La science n'est plus une accumulation de phénomènes concrets, c'est un tout harmonieux dans lequel les lois siègent au sommet et commandent par une rigoureuse logique les faits particuliers qui en découlent.

Cette méthode était celle d'un Copernic, d'un Képler, d'un Newton, et des principaux génies à qui l'on doit les plus éclatantes découvertes ; c'était aussi la manière de procéder d'un Ampère.

Nous dirons plus loin, dans un autre chapitre, qu'un physicien de Copenhague, Ørsted, découvrit qu'une aiguille aimantée était déviée lorsqu'on plaçait parallèlement à sa direction le fil interpo-

laire d'une pile. Nous dirons aussi le peu de parti qu'Ørsted sut tirer de sa découverte et que son expérience, simple curiosité scientifique à ses yeux, serait restée stérile entre ses mains.

Mais Ampère, qui en eut connaissance, appliqua son esprit vraiment philosophique à remonter des effets aux causes, et, en quelques semaines de recherches, il avait fondé deux sciences nouvelles, l'Électrodynamique et l'Électromagnétisme, à un tel degré de perfection que ses successeurs n'ont pu ni rien ajouter ni rien retrancher.

Pascal, deux siècles avant Ampère, agissait de la même manière, et montrait au monde savant tout ce que son génie pouvait déduire d'une simple expérience de physique.

Nous avons dit combien l'expérience de Torricelli excita vivement sa curiosité et quel trait de lumière fut pour lui l'explication qu'en donnait son auteur. Il résolut donc de pousser à fond l'étude de cette intéressante question.

Ne voulant employer que la plus rigoureuse des méthodes, il commença par interroger la nature avec un soin extrême, il multiplia les expériences de mille façons, avec les liquides les plus variés, n'ayant d'autres appareils que ceux qu'il fabriquait lui-même et d'autres laboratoires que sa propre résidence et les places publiques. Ses pré-

visions sont toujours réalisées, mais il juge que la démonstration de la pression de l'air ne sera décisive que par une expérience concluante exécutée sur une haute montagne. Nous avons vu que l'expérience du Puy de Dôme et celle qu'il fit lui-même sur la tour Saint-Jacques de la Boucherie mirent fin à la controverse et entraînèrent définitivement l'adhésion de tous les esprits.

Joseph Bertrand⁽¹⁾ a pu dire de Pascal : " Dans ce livre excellent (Traité de l'Équilibre des liqueurs et de la Pesanteur de la masse de l'air), publié après la mort de l'auteur, aucun raisonnement n'est douteux, aucune expérience n'est contestée ; les physiciens aujourd'hui comme en 1663, peuvent adopter sans y faire de corrections les idées et le langage de Pascal... Pascal a étudié un seul point de la science, s'est proposé une question très importante et très nette : la solution qu'il en a donnée est définitive. "

Pascal estime donc que la seule méthode acceptable est d'apporter d'abord dans la partie expérimentale toute la rigueur d'une véritable critique scientifique, et c'est ce premier exemple donné au monde savant que suivront plus tard avec tant d'éclat Lavoisier, Claude Bernard, Pasteur et

(1) *Journal des Savants*, octobre 1889.

beaucoup d'autres. Il eut la gloire d'ouvrir la voie qui devait être si féconde, et il en eut d'autant plus de mérite qu'il vivait à une époque où l'on se souciait peu de l'expérience, où la science reposait sur des axiomes et des principes indémontrés que l'on acceptait sans preuves, où il fallait lutter contre une foule de préjugés dont lui-même, à son propre aveu, n'était pas exempt.

Le rôle de l'expérimentateur une fois rempli d'une manière si remarquable et si désintéressée, commence alors la tâche du philosophe, et l'on sait qu'il s'en est acquitté avec une maîtrise sans égale. Le *Traité de l'Équilibre des liqueurs* et celui de la *Pesanteur de la masse de l'air* sont le fruit de ses profondes méditations sur la pression atmosphérique ; c'est un édifice aux lignes harmonieuses dans lequel la science des fluides aériens s'explique par les propriétés des liquides. Chaque chose est à sa place, tout s'enchaîne logiquement, et parce que, comme l'affirme Pascal, la fluidité commune, nous pouvons ajouter l'élasticité des liquides et des gaz, sont la cause de la transmission des pressions dans leurs masses, il pose comme fondement identique de l'Hydrostatique et de la Pneumatique son fameux principe de l'égalité de la transmission des pressions qui régit tout, qui commande tous les détails, qui résume en un mot

dans une parfaite unité les phénomènes que l'on aurait cru si étrangers les uns aux autres.

N'est-ce pas là le triomphe de l'esprit philosophique mis au service de l'expérimentation, n'est-ce pas l'un des plus beaux exemples de cette intime et fructueuse collaboration de la métaphysique et de la science ?

Pascal ne fut donc pas seulement un grand physicien, il fut en même temps un philosophe éminent ; il faut plutôt dire qu'il fut grand physicien parce qu'il fut grand philosophe. Chez lui, c'est le métaphysicien qui a rédigé le *Traité de l'Équilibre des liqueurs et de la Pesanteur de la masse de l'air*, après que le physicien en eut posé les assises expérimentales ;— les grands génies ne procèdent pas autrement !

LES ORAGES D'ÉTÉ
ET LA GRÊLE

LES ORAGES D'ÉTÉ ET LA GRÊLE ⁽¹⁾

Les phénomènes physiques de la nature ont, de tout temps, excité la curiosité et souvent l'admiration d'un grand nombre de gens. Les hommes ont toujours été et seront toujours les mêmes : on veut savoir, on veut s'instruire, on veut se rendre compte de tout ce qui se passe sous nos yeux, comprendre le fonctionnement de tel mécanisme et expliquer le jeu des forces naturelles dans les multiples applications de la science.

Mais l'observation de la plupart des phénomènes qui constituent l'objet de la Physique échappe presque complètement au grand public. Pour découvrir, en effet, les lois de la nature, remonter des effets aux causes, faire voir comment l'étude logique et soutenue d'un principe se résout, à travers une suite de mesures et d'expériences précises, en réalisations pratiques, en découvertes merveilleuses, il faut une préparation scientifique qui est l'apanage du petit nombre, il faut, en outre, l'outillage délicat et compliqué des laboratoires.

(1) *Le Canada français*, janvier 1922.

Il n'en est pas tout à fait de même des *météores*, comme on les appelle, qui se passent dans le grand laboratoire atmosphérique. Celui-ci est ouvert à tout le monde, il est constamment en activité et les sujets d'étude qu'il présente sont nombreux et variés.

Qui n'est pas curieux de connaître la direction du vent et ne s'inquiète pas quelquefois de ses changements probables? Qui n'observe pas un peu les nuages, la chute de la pluie ou de la neige, l'humidité ou la sécheresse de l'air, l'arrivée des tempêtes et des bourrasques, la marche des orages et dépressions, qui se désintéresse complètement du temps qu'il fait ou qu'il fera, et surtout qui n'en parle pas un peu?... N'est-ce pas l'un des principaux sujets de conversation, ou plutôt n'est-ce pas celui qui sert d'introduction aux autres?... Il semble que rien ne marchera, si l'on n'est pas fixé sur les conditions météorologiques du moment! Et, pourrons-nous ajouter, qui ne cherche pas à percer les secrets de l'avenir, et qui, au moins quelquefois dans sa vie, n'y va pas de sa petite prévision sur la longueur probable de l'hiver, sur l'humidité ou la sécheresse du prochain été, sur la précocité plus ou moins problématique de l'automne, pour ne parler que des prophéties à longue échéance?

On peut donc affirmer que la Météorologie est une science populaire, ce qui ne veut pas dire qu'elle est une science facile et à la portée de tout le monde. Parmi les nombreux phénomènes atmosphériques dont nous sommes si souvent les témoins, arrêtons-nous un instant à l'étude des *orages d'été* ou *orages de chaleur*, accompagnés ou non de manifestations électriques et de grêle.

Il importe tout d'abord de ne pas confondre les *orages de dépressions* ou *orages cycloniques* avec les *orages d'été* ; les premiers sont des phénomènes accessoires des dépressions et des cyclones, leur extension géographique peut être considérable et leur étude demanderait de longs développements qui ne peuvent trouver place ici. Les orages d'été, au contraire, sont des météores locaux, très restreints en étendue et qui se distinguent nettement des cyclones par tout l'ensemble de leurs caractères.

On les appelle *orages de chaleur* ou *orages d'été* parce qu'ils se manifestent surtout pendant la belle saison, dans l'après-midi ou la soirée des journées chaudes et humides. Si l'orage doit passer au-dessus de nos têtes, on le voit venir de l'ouest et il s'annonce par l'amoncellement de gros cumulus ou de cumulo-nimbus, que couronnent souvent de légers cirrus formés de cristaux de

glace, et par une forte bourrasque de vent. Un rideau gris, sur lequel se détachent des traînées plus sombres, s'échappe des cumulus flottant à l'horizon : c'est la pluie qui tombe par torrents et à très gros grains ; la foudre éclate de tous côtés, le tonnerre gronde souvent avec une extrême intensité et le vent souffle avec une grande violence. Il est rare que l'orage se prolonge au delà d'un temps relativement court, et il ne tarde pas à s'éloigner du lieu d'observation ; pendant qu'il s'enfuit vers l'est, la pluie diminue puis cesse complètement, le vent se calme, le ciel vers l'ouest se découvre et les reflets du soleil couchant rougissent de leurs feux le nuage déjà presque disparu à l'horizon.

La largeur de ces orages ne dépasse pas quelques milles, et, bien qu'ils puissent parcourir de longues distances, leurs effets ne se font sentir que sur une étroite bande de terrain souvent inférieure aux limites d'une même paroisse. Ils sont ordinairement accompagnés de puissantes manifestations électriques, mais celles-ci ne sont que des phénomènes secondaires qui peuvent faire défaut sur une partie du parcours du météore ; il en est de même des trombes et des chutes de grêle que l'on observe quelquefois, lorsque les causes qui prési-

dent à leur formation se rencontrent dans le nuage orageux.

Les orages d'été sont constitués par un cumulonimbus qui se déplace avec une grande rapidité ; pour expliquer ces météores, il suffit donc de chercher les conditions nécessaires à la formation d'un nuage orageux. Échauffement excessif d'une certaine partie du sol, mouvement d'ascension de l'air par suite de sa diminution de densité, condensation de l'humidité contenue dans cette masse ascendante, voilà les circonstances favorables au développement d'un nuage orageux, voilà la cause des orages de chaleur, et voilà aussi pourquoi ils prennent naissance tout particulièrement dans la belle saison et pour ainsi dire exclusivement sur les continents.

Imaginons une belle journée chaude et humide de l'été. Le soleil darde ses rayons brûlants sur le sol pendant une partie du jour et l'évaporation à la surface de la terre est très active. L'air, qui se réchauffe au contact du sol, devient plus léger, s'élève rapidement comme la colonne d'air chaud d'une cheminée et transporte avec lui, dans les hautes régions beaucoup plus froides, même en été, une quantité énorme de vapeur d'eau voisine de son point de saturation. Celui-ci est vite atteint et dépassé, une précipitation abondante se produit,

d'où formation d'un nuage orageux, chute de pluie et très souvent manifestations électriques qui accompagnent ordinairement la condensation de la vapeur d'eau. La pluie qui tombe de ces nuages présente de grandes variations, soit par son intermittence, soit dans la dimension des gouttes. Ce sont des averses successives plutôt qu'une chute continue, et la pluie peut même cesser pendant quelques instants ; mais, lorsqu'un éclair jaillit, l'averse recommence avec une nouvelle intensité. On dirait que la décharge électrique permet alors aux gouttes d'eau, préalablement séparées par la répulsion de charges de même nom, de se réunir pour former des gouttes de dimensions favorables à une chute rapide.

On remarque aussi que la grosseur des gouttes de pluie va en diminuant à mesure que l'orage se poursuit.

La résistance de l'air, d'autant plus forte que les gouttes sont plus petites, est la cause de ce curieux phénomène ; on comprend aisément, en effet, que les plus grosses seront celles qui tombent le plus vite et qu'elles arriveront, par suite, les premières sur le sol. Il en résulte, dès lors, que, pour des gouttes de dimensions différentes, formées au même instant dans le même

nuage orageux, la vitesse de chute sera proportionnelle à leurs diamètres respectifs.

Nous avons dit que le nuage orageux se déplace de l'ouest à l'est, du moins dans notre pays, avec une vitesse qui peut atteindre cinquante milles à l'heure et qu'il peut parcourir de longues distances sans s'épuiser. La direction de ce déplacement est une conséquence de la circulation aérienne générale qui doit nécessairement entraîner les météores locaux, et, au Canada, se fait toujours de l'ouest à l'est ou du sud-ouest vers le nord-est.

Les conditions nécessaires à la production d'un cumulo-nimbus, source des orages de chaleur, sont, on l'a vu, un échauffement exagéré de l'air au voisinage du sol et une diminution rapide de la température dans les couches atmosphériques de plus en plus élevées. Voilà qui explique les grandes variations dans la fréquence des orages pour les différentes latitudes, les différents climats, et, en un même pays, pour les différentes heures du jour. Dans les pays de hautes latitudes, où l'insuffisance de la vapeur d'eau ne permet pas la formation de cumulo-nimbus, les orages de chaleur sont pour ainsi dire inconnus, tandis qu'ils sont fréquents dans les latitudes tempérées et presque journaliers dans les pays tropicaux.

Ils sont aussi beaucoup plus rares au bord de la mer que sur les continents.

Les statistiques de plusieurs pays démontrent également que la grande majorité des orages ont lieu l'après-midi des journées chaudes de l'été, entre midi et six heures du soir ; ceux qui éclatent le soir ou la nuit viennent de très loin et sont en retard.

Toutes ces particularités se rencontrent dans la province de Québec, comme chacun l'a constaté bien des fois. Pour les mêmes raisons d'humidité et de variation de température dont nous venons de parler, l'été est la saison par excellence des orages et ceux-ci, rares la nuit, ont lieu principalement, comme dans les autres pays, l'après-midi des journées chaudes et humides. Des orages souvent d'une extrême violence, avec tonnerre et éclairs et précipitation abondante de pluie, terminent ordinairement, comme on peut le prévoir sans trop se tromper, les périodes de grandes chaleurs des saisons estivales.

*

* *

Les orages de chaleur sont souvent accompagnés, bien que comme phénomène accessoire, de chutes

de grêle. Ce météore a longtemps intrigué les physiciens et les météorologistes ; aujourd'hui, on en donne une explication fort satisfaisante, du moins dans ses principales particularités.

Tout d'abord, il ne faut pas confondre la grêle avec le *grésil* : ce dernier n'est rien autre chose, semble-t-il, que des gouttes de pluie congelées, et il se présente sous forme de petites sphères de glace opaque et blanche ; il est surtout fréquent en hiver et dans les latitudes élevées. La grêle, souvent beaucoup plus volumineuse, affecte des formes très variées, et tombe principalement pendant les orages d'été, alors que la température des couches inférieures de l'air est fort élevée ; elle s'observe surtout dans les latitudes moyennes et devient très rares dans les régions polaires.

Parmi les différentes formes de grêlons que l'on a observées ici et là, citons celles de cônes à base sphérique, de pyramides, de lentilles aplaties, de sphéroïdes, de poires allongées ; plus rarement on rencontre des formes géométriques régulières.

La structure des grêlons est très remarquable, comme on peut le constater dans une section nette. Au centre est un noyau blanc, un grain de grésil, et celui-ci est entouré de couches concentriques, quelquefois alternativement opaques et transparentes ; quelquefois aussi la couche qui

enveloppe le noyau est formée de glace compacte et blanche d'une épaisseur relativement considérable. On en a même vu, parmi les plus gros grêlons, dont la surface extérieure étaient recouverte de cristaux transparents et réguliers de glace.

La grosseur et le poids des grêlons peuvent varier beaucoup et, dans certains cas, on en a trouvé de dimensions à peine croyables, s'ils n'avaient été l'objet de constatations absolument authentiques. Certains grêlons atteignent très fréquemment la grosseur d'une noisette, et quelquefois d'un œuf de pigeon, d'un œuf de poule et même d'une pomme. Plus que cela, on cite des grêlons, recueillis à Bizerte, en Tunisie, le 2 octobre 1898, gros comme une carafe et pesant au delà d'un kilogramme, c'est-à-dire plus de deux livres. S'il est possible d'ajouter foi à certains rapports qui manquent d'ailleurs de confirmation, on pourrait mentionner des grêlons du volume d'un melon, comme ceux qu'on prétend avoir vus au Bengale le 10 avril 1822, ou encore, ce qui est tout à fait extraordinaire, un bloc de glace, tombé en Hongrie le 8 mai 1802, d'un poids dépassant la force de huit personnes.

Si l'on excepte les grêlons de dimensions énormes, dont l'origine est encore obscure, on peut donner du phénomène général de la grêle

une explication très satisfaisante qui suppose certaines notions préliminaires sur lesquelles nous allons insister quelque peu. Nous voulons parler de la *surfusion*.

On sait que tout liquide, convenablement refroidi, se solidifie à une température déterminée, toujours la même pour un même liquide, et qu'on appelle le *point de solidification*. D'autre part, il arrive souvent, et c'est le cas général, qu'un liquide peut être porté, sous l'influence de plusieurs causes diverses, à une température plus basse que ce dernier point, sans cesser d'être liquide : c'est la *surfusion*. On l'observe soit chez les solides fondus, soit chez les substances déjà liquides dans les conditions normales de température. Prenons comme exemple la surfusion du phosphore. On fait fondre lentement, à 44° C., un morceau de phosphore sous une couche d'eau et on laisse refroidir très lentement. On reconnaît alors que le corps fondu peut être porté à une température de près de 15 degrés au-dessous de son point normal de solidification. Pour faire cesser cet état d'équilibre instable, il suffit souvent d'agiter brusquement le tube qui contient la solution liquide surfonduë : ce dernier se solidifie subitement et la température remonte jusqu'au voisinage de 44°.

Mais ce procédé n'est pas toujours efficace et l'on est alors obligé de recourir à un moyen infaillible qui consiste à jeter dans le liquide en surfusion une parcelle solide de la même substance : immédiatement, la masse se solidifie d'un seul coup.

La surfusion de l'eau est particulièrement intéressante. Gay-Lussac, en préservant de l'eau du contact de l'air par une couche d'huile, a pu la refroidir lentement jusqu'à 12° au-dessous de zéro, sans que la congélation se produise, et Despretz, au moyen de tubes capillaires dont les parois gênent le mouvement des molécules liquides, a vu la surfusion se prolonger jusqu'à -20° . Comme dans l'expérience du phosphore, on fait cesser la surfusion en faisant vibrer le vase ou en l'agitant. Dans le cas d'insuccès, il suffit de laisser tomber un petit fragment de glace pour provoquer une congélation instantanée.

Il y a d'autres causes qui peuvent produire la surfusion. Par exemple, l'eau de mer, à cause des sels qu'elle tient en dissolution, ne se congèle qu'à $-2^{\circ},5$. L'absence d'air dissous dans l'eau produit le même effet.

De fines gouttelettes d'eau, des globules très ténus de soufre et d'argent fondus présentent également une inertie moléculaire remarquable.

On comprend, dès lors, pourquoi les gouttes d'eau d'un épais brouillard peuvent se maintenir à l'état liquide sous une température de -15° , comme on le constate souvent.

*

* *

Nous sommes maintenant en possession de tous les éléments nécessaires à la formation de la grêle : des gouttes d'eau en surfusion dans un milieu très froid et qu'une cause extérieure fait solidifier brusquement.

Tout d'abord, il faut expliquer la basse température des cumulo-nimbus, d'où naissent les orages et dans lesquels se produit la grêle : elle est due à la grande altitude que peuvent atteindre les nuages orageux soulevés par un vigoureux courant d'air ascendant. On calcule que leurs sommets peuvent monter à plus de 15,000 pieds de hauteur, et, dans ces régions, même en été, la température est souvent de beaucoup inférieure à zéro.

Dans un pareil milieu, les fines gouttelettes d'eau des nuages peuvent demeurer en surfusion, c'est-à-dire qu'elles gardent l'état liquide, malgré l'abaissement de la température au-dessous du point normal de congélation ; elles sont, par consé-

quent, dans un état d'équilibre instable qui peut cesser brusquement par un choc ou le contact d'une particule de glace. Peut-on concevoir la présence simultanée, dans un même nuage orageux, de gouttes d'eau en surfusion et de cristaux de glace, condition nécessaire à la production de la grêle? Il paraît en être ainsi lorsque, par suite de l'altitude croissante d'un nuage, la température s'abaisse au delà des limites de la surfusion. Les gouttes d'eau, du moins en certaines parties du nuage, se congèlent et il se forme, à la partie supérieure surtout, des *faux cirrus*, constitués par de fines aiguilles de glace cristallisée.

On voit, dès lors, ce qui peut arriver : une gouttelette d'eau en surfusion vient-elle à rencontrer un cristal de glace, une congélation partielle a lieu et le noyau cristallin se recouvre d'une couche blanche et opaque de glace, à cause de l'interposition de gouttes restées liquides et de nombreuses bulles d'air : le grêlon est déjà formé. Séjourne-t-il quelque temps dans le milieu froid, une congélation lente de la partie liquide se produit alors et le résultat est une couche de glace dure et transparente. Ces conditions diverses peuvent donc expliquer les couches concentriques alternativement transparentes et opaques dont nous

avons parlé plus haut et que l'on rencontre dans certains grêlons.

Le choc des aiguilles de glace sur les gouttes d'eau en surfusion et l'accroissement progressif du volume des grêlons peuvent provenir, soit du fait que ces derniers, d'abord très petits au sommet d'un nuage, traversent dans leur chute les couches inférieures où se trouvent de nouvelles gouttes surfondues, soit encore de tourbillons, constatés dans certains cumulo-nimbus, dont le mouvement giratoire autour d'un axe horizontal force le grêlon à monter et à descendre plusieurs fois à travers le milieu surfondu. Il en résulte, à chaque passage, une congélation qui produit une nouvelle couche de glace, ce qui rend compte de l'augmentation de grosseur et de la formation des couches concentriques. On voit donc, par ce qui précède, que la constitution même des nuages orageux et le phénomène de la surfusion des gouttelettes fournissent une explication fort plausible de la grêle. Elle n'a donc pas une origine électrique, comme le croyait Volta, et l'expérience de la *grêle électrique* que l'on répète dans tous les cours de Physique n'est pas du tout l'image de ce qui peut se passer dans les nuages orageux ; ceux-ci, d'ailleurs, ne présentent pas les dispositions requises pour provoquer une série d'attractions et de répulsions entre

deux conducteurs électrisés par des charges de signes contraires.

Nous avons dit plus haut que les orages d'été sont des météores locaux, très restreints en étendue ; il en est de même et plus encore de la grêle. Elle ne tombe pas, du moins ordinairement, sur tout le parcours de l'orage, la chute est généralement intermittente, et les surfaces du sol affectées sont plutôt étroites.

Ajoutons que les dégâts causés par la grêle sur les habitations, les arbres, les moissons sont souvent désastreux, surtout s'il s'agit de grêlons de grosseur importante, comme ceux que nous avons signalés plus haut. Les touristes et surtout les agriculteurs la redoutent à juste titre, car elle peut ruiner les espérances de ces derniers dans l'espace de quelques minutes.

L'AIR LIQUIDE

L'AIR LIQUIDE

La seconde partie du siècle dernier, chacun le sait, a été tout particulièrement fertile en découvertes et en inventions merveilleuses. Dans ces efforts de chaque jour pour pénétrer les secrets de la nature, il semble que le génie des travailleurs se soit surtout appliqué à enrichir le domaine scientifique de phénomènes inattendus, de nouveautés stupéfiantes, comme pour démontrer une fois de plus l'extrême fécondité de la science, et les ressources inépuisables de l'expérimentation adroitement mise au service des conceptions théoriques.

Parmi les nouveautés scientifiques des dernières années,— rayons X, radium, télégraphie sans fil, et une foule d'autres, — la liquéfaction des gaz et en particulier de l'air atmosphérique occupe une place d'honneur, soit à cause des procédés ingénieux que l'on emploie pour la produire, soit aussi à cause des curieuses expériences que les basses températures de ces gaz ont permis de réaliser.

C'est pourquoi nous avons cru intéresser nos lecteurs en donnant quelques détails sur la liqué-

faction industrielle de l'air, sur le mode de conservation, les propriétés et les applications possibles de ce nouveau produit de l'industrie humaine.

*

* *

Tout le monde sait que les corps, dans la nature, se présentent à nous sous trois états divers : l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux.

Dans les conditions ordinaires de température et de pression, chaque corps est classé dans l'un de ces trois états. C'est ainsi que l'eau est liquide, l'air est gazeux, et la presque totalité des substances métalliques sont solides.

Mais si l'on modifie convenablement la température et la pression, on peut faire qu'un corps se présente successivement sous les trois états : l'eau, par exemple, ordinairement liquide, peut devenir gazeuse sous l'influence de la chaleur, ou solide lorsqu'elle se congèle par abaissement de température.

Il en est de même des gaz; ils prennent l'état liquide si l'on rapproche suffisamment leurs molécules par la pression ou le refroidissement : c'est le phénomène de la *liquéfaction*.

Pour liquéfier un gaz, il arrive souvent, surtout pour les gaz réfractaires appelés autrefois *gaz permanents*, que l'un ou l'autre de ces deux procédés soit insuffisant ; il devient alors nécessaire de recourir aux deux effets combinés.

C'est de cette manière que le gaz suffocant des allumettes, l'acide sulfureux, le gaz de nos foyers, l'acide carbonique, l'ammoniaque, que chacun connaît, et une foule d'autres, ont été réduits à l'état de liquides.

Toutefois, malgré les pressions énormes employées, pressions qui peuvent aller jusqu'à des milliers d'atmosphères (l'atmosphère équivaut à une pression de 15 livres par pouce carré), il n'a jamais été possible de liquéfier un certain nombre de gaz récalcitrants, comme l'hydrogène, l'oxygène, et l'air en particulier. La raison de cet insuccès incompréhensible a été donnée par le physicien anglais Andrews, en 1869.

Ce dernier a démontré qu'il existe pour chaque gaz une température particulière, appelée *température critique* ou point critique, au-dessus duquel toute liquéfaction est impossible, quelle que soit la pression. La solution du problème revient donc à refroidir le gaz au-dessous, ou du moins jusqu'à cette température, laquelle, pour certains gaz, est extrêmement basse.

La découverte d'Andrews explique donc pourquoi les tentatives de liquéfaction avaient été infructueuses : c'est que le refroidissement employé n'était pas assez considérable.

La température critique de l'air est environ 140° centigrades au-dessous de 0° (-140° C.). La production d'un pareil froid est donc absolument nécessaire à sa liquéfaction, et, de plus, il faut y ajouter une pression d'une quarantaine d'atmosphères.

Il est facile maintenant de concevoir qu'un refroidissement encore plus énergique exigera une pression moins grande, d'autant plus faible que la température sera plus considérablement abaissée. L'expérience a fait voir qu'à -190° , l'air se liquéfie de lui-même, c'est-à-dire sous la seule pression atmosphérique.

Mais, nous dira-t-on, comment produire des températures aussi basses, aussi fantastiques, que les plus grands froids polaires ne peuvent même pas nous faire soupçonner ?

Il ne faut pas songer aux mélanges réfrigérants de nos laboratoires : les plus efficaces abaissent à peine la température jusqu'à -50° ou -60° . Il faut chercher ailleurs une source plus énergique de refroidissement, et on l'a trouvée dans la détente du gaz comprimé lui-même.

Sans entrer dans des détails techniques qui ne sauraient trouver place ici, rappelons simplement qu'un gaz que l'on comprime se réchauffe assez pour enflammer de l'amadou. L'effet contraire se produit quand on le laisse se *détendre* librement en diminuant brusquement la pression ; cette détente énergique est une source considérable de froid, à ce point qu'un gaz, à 0° et sous 300 atmosphères, ramené subitement à la pression ordinaire, se refroidit jusqu'à —200°.

Ce résultat remarquable est une application du principe de l'équivalence de la chaleur et du travail. Un gaz comprimé ne peut se détendre que s'il repousse l'air extérieur, et ce travail exige une dépense correspondante de chaleur que le gaz prend dans sa propre masse. C'est ce qui explique pourquoi, dans le cas des hautes pressions, le refroidissement du gaz, par la détente, est si considérable.

Voilà l'élégante solution du problème si longtemps cherchée et que l'on peut citer comme un des plus beaux triomphes de l'application des méthodes scientifiques. Le procédé de la détente, inauguré, en 1877, par Cailletet, a été considérablement amélioré par Linde, en Allemagne, par Tripler, aux États-Unis, par Dewar, en Angle-

terre, et par d'Arsonval et Georges Claude, en France.

Grâce à ces habiles opérateurs, l'air liquide n'est plus un produit dispendieux de laboratoire, une fantaisie scientifique que peuvent se permettre certains savants fortunés ; il est maintenant entré dans le domaine industriel, les machines que l'on construit de nos jours peuvent en fournir jusqu'à 60 kilogrammes par heure, et la science et l'industrie lui sont déjà redevables de nombreuses et importantes applications.

Bien que nous ayons passé sous silence la construction et le fonctionnement des machines à air liquide, parce que nous avons jugé inutile et toujours quelque peu délicate la description d'appareils de ce genre, il nous a toutefois paru nécessaire de donner les quelques détails un peu arides qui précèdent ; il est naturel, en effet, de se demander comment on a réussi à réduire l'air à l'état de liquide, et nous n'avons pas cru devoir nous dispenser de satisfaire la légitime curiosité des lecteurs.

*

* *

Une fois l'air réduit à l'état de liquide par les moyens que nous avons décrits, une question importante se pose immédiatement.

Comment conserver à l'état liquide un gaz qui exige pour sa liquéfaction une pression et un refroidissement si considérables ?

Ne semble-t-il pas naturel que l'air, à la suppression de ces moyens énergiques de contraction, reprenne, sans plus tarder, son état normal de fluide gazeux, par une évaporation tumultueuse ?

Ce problème de la conservation de l'air liquide, au premier abord tout hérissé de difficultés, a été résolu d'une façon très ingénieuse et vraiment facile à saisir.

On se rappelle que la seule pression de l'atmosphère suffit pour liquéfier l'air, lorsque la température s'abaisse jusqu'à -190° . Il en résulte que cette même pression permettra de conserver de l'air liquéfié dans un vase ouvert, pourvu, — et toute la question se résume à ce point essentiel, — pourvu que l'on réussisse à maintenir l'air à la température de -190° , malgré le voisinage des corps ambiants, incomparablement plus chauds que lui. En un mot, il faut empêcher l'air liquide de se réchauffer, en supprimant toute action de la chaleur extérieure ; il faut procéder de la même manière que si l'on voulait conserver de l'eau ordinaire dans un four chauffé au rouge. L'air gardera d'autant plus longtemps la forme liquide

que la chaleur extérieure sera plus parfaitement interceptée.

C'est ce qu'ont réalisé le Dr d'Arsonval, en France, et Dewar, en Angleterre.

Le Dr d'Arsonval a eu l'heureuse idée de conserver l'air liquide dans des récipients à deux enveloppes concentriques séparées par un vide le plus parfait que l'on puisse produire. La suppression d'un milieu matériel empêchait la propagation de la chaleur par *conductibilité*.

Mais il restait encore le *rayonnement*. La chaleur émise par les corps voisins, analogue à celle que le soleil *rayonne* sur la terre, après qu'elle a franchi les espaces planétaires, traverse le vide des ballons de d'Arsonval et pénètre sans obstacle jusqu'au liquide intérieur. Dewar opposa à cette chaleur une barrière presque infranchissable en *argentant* les surfaces internes des vases à double enveloppe, parce que l'argent poli est la substance qui rayonne le moins de chaleur.

Si les récipients Dewar permettent de soustraire à l'action de la chaleur extérieure un liquide aussi froid que l'air liquéfié, ils ne sont pas moins efficaces pour conserver longtemps un liquide très chaud, en empêchant la chaleur qu'il contient de se perdre à l'extérieur. C'est ainsi que l'on est parvenu à maintenir brûlant, au moyen de ces

vases à double enveloppe, une certaine quantité de café pendant quatre jours. Voilà le procédé idéal que devraient employer certains serviteurs qui ont l'habitude de faire réchauffer le café sur le coin de la table !

Les vases que nous venons de décrire ont donné des résultats merveilleux ; bien qu'ils renferment un liquide dont la température est de 200° plus basse que celle de l'air ambiant, la surface extérieure du ballon ne se recouvre pas de givre ni de la plus légère couche de buée, et l'on a pu conserver, avant la disparition complète, 5 litres d'air liquide pendant 28 jours.

L'air liquide s'évapore lentement dans les récipients Dewar, et l'on a soin de toujours les laisser *ouverts*. Il serait impossible, dans un vase hermétiquement clos, de conserver la moindre quantité d'air liquide. La raison en est que l'évaporation se produisant à la surface est une source de refroidissement qui compense pour l'entrée d'un peu de chaleur qu'on ne peut pas complètement intercepter. Cette chaleur, dans un vase fermé, s'accumulerait assez vite, et la température finirait par dépasser -140° , limite au-dessus de laquelle l'air ne peut exister à l'état liquide. Toute la masse reprendrait la forme gazeuse, et le ballon volerait en éclats. Si donc

l'on peut conserver de l'air à l'état liquide pendant plusieurs jours, cela est dû,— malgré l'étrangeté de la chose,— au fait qu'il s'évapore lentement et librement.

*

* *

Voyons maintenant quelles sont les propriétés de ce nouveau liquide, en quoi il se différencie des autres et quels services il peut rendre à la science et à l'industrie.

L'apparence extérieur de l'air, réduit à l'état liquide, est, à peu de chose près, celle de l'eau pure. L'air liquide est légèrement bleuâtre, et cette couleur azurée est d'autant plus accentuée qu'il est plus riche en oxygène. Sa transparence, toutefois, est souvent troublée par de petits cristaux de gaz carbonique que le froid extrême du milieu a solidifiés, et qui flottent au sein de la masse liquide ; c'est par la présence de ces minuscules parcelles solides que l'air liquéfié prend l'aspect laiteux ou opalescent.

Ce phénomène ne doit pas nous surprendre : on se rappelle, en effet, que la température extrêmement basse de l'air liquide est plus que suffisante pour solidifier le gaz carbonique contenu en petite quantité dans l'atmosphère.

Nous savons que la température de l'air liquide est voisine de -190° . Elle est susceptible, toutefois, de se modifier.

L'air, en effet, tel qu'il existe à la surface du globe, se compose de deux gaz mélangés ensemble, l'azote et l'oxygène, dans la proportion, en poids, de 75,5 pour le premier, et de 23,2 pour le second, avec de petites quantités d'autres gaz moins importants. La liquéfaction s'opère à la fois pour l'azote et l'oxygène, mais ces deux gaz ne se conservent pas également longtemps dans la masse liquide. L'azote, plus volatil que son compagnon, s'évapore plus vite, et, après un certain temps, le liquide n'est plus que de l'oxygène presque pur. C'est pour cela que la température d'ébullition remonte progressivement et finit par se fixer à -182° .

*

* *

L'air liquide, à cause de sa basse température, d'une part, et par sa nature chimique, de l'autre, est doué de propriétés fort curieuses, tout à fait inattendues, qui en font un produit vraiment singulier, en même temps qu'ils permettent de réaliser des expériences les plus extraordinaires.

Beaucoup de personnes n'ont jamais entendu parler de la *caléfaction*, bien qu'elles en aient été souvent témoins.

Qui ne se souvient, en effet, d'avoir observé comment les ménagères se rendent compte de la température des fers à repasser ? L'expérience ne demande qu'un peu de salive. Si celle-ci, projetée sur le métal brûlant, glisse rapidement sans mouiller la surface polie, en affectant la forme de globule arrondi, la température du fer est jugée suffisante pour l'importante opération du repassage ; la salive est alors passée, comme on dit savamment, à l'état *sphéroïdal* : c'est le phénomène de la *caléfaction*.

On peut répéter cette expérience avec de l'air liquide, non plus, par exemple, en le projetant sur un fer surchauffé, mais tout simplement en le versant sur la main, parce que la température de cette dernière est très élevée par rapport à celle de l'air liquide, aussi élevée que celle d'un fer rouge par rapport à la température de l'eau ordinaire ! Les quelques gouttes d'air liquide s'entourent d'une couche gazeuse mauvaise conductrice qui prévient tout contact direct avec la main, et la peau ressent à peine une impression de fraîcheur.

Il est presque inutile de dire que l'expérience ne doit pas être prolongée trop longtemps, et qu'il faut avoir soin de ne pas verser l'air liquide d'une trop grande hauteur. La violence du choc, dans ce cas, produirait le contact, et il en résulterait une... brûlure très douloureuse, due à la désorganisation brusque des tissus.

Les principales expériences que l'on peut exécuter avec l'air liquide sont dues à sa température extrêmement basse de -190° . Les corps, plongés dans ce liquide extra-froid, sont, pour ainsi dire, transformés, le refroidissement énergétique qu'ils subissent leur donne des propriétés nouvelles qu'il était impossible de prévoir avant que l'expérience eût été tentée.

Il nous suffira de citer quelques exemples pour démontrer l'influence extraordinaire des froids excessifs.

Des balles de caoutchouc, trempées dans l'air liquide, deviennent cassantes comme du verre ; elles volent en éclats lorsqu'on les projette sur un mur.

Il en est de même des substances organiques ; les fruits savoureux, comme des oranges, des cerises mûres, acquièrent la dureté et la fragilité du verre, et se laissent pulvériser sous le choc du

marteau. Dans les mêmes conditions, on peut réduire en miettes le liège, la laine et le feutre.

Les métaux eux-mêmes, portés à la température de l'air liquide, subissent des modifications profondes et imprévues. Un léger fil de plomb, enroulé en hélice, devient rigide et élastique comme un ressort d'acier, et peut supporter un poids assez considérable sans s'étirer ; de même le fer, tout en devenant très cassant, acquiert un surcroît de résistance qui lui permet de soutenir des poids quatre ou cinq fois plus lourds qu'à la température ordinaire.

Tout le monde sait que le mercure se congèle à -40 degrés, et que, par suite, l'on est obligé, dans les régions polaires, d'avoir souvent recours au thermomètre à alcool. C'est dire que l'air liquide peut solidifier le mercure avec la plus grande facilité et en grande quantité. On fabrique, avec du mercure gelé par l'air liquide, des marteaux avec lesquels on enfonce des clous. L'alcool lui-même, que les mélanges réfrigérants les plus énergiques rendent à peine pâteux, ne peut résister à la température de -190 degrés : il se transforme bientôt en un bloc de glace.

L'air liquide nous permet d'appliquer un principe très important de thermodynamique,

c'est-à-dire la production d'un froid intense par l'évaporation rapide d'un liquide.

Ceux qui ont feuilleté un traité quelconque de Physique se rappellent l'expérience de Leslie : elle consiste à congeler de l'eau par le seul fait de son évaporation rapide dans le vide. Dewar, en opérant de la même façon pour l'air liquide, est parvenu à solidifier ce dernier sous forme de glace transparente.

*

* *

L'air liquide n'agit pas seulement par sa basse température, mais encore par sa nature chimique. Quand il s'est évaporé pendant un certain temps, nous l'avons déjà dit, il a perdu plus d'azote que d'oxygène, et il contient alors jusqu'à 75 pour cent de ce dernier gaz.

Or, l'oxygène, chacun le sait, c'est l'agent essentiel des combustions, c'est le *comburant* par excellence.

La conséquence sera que l'air, réduit à l'état d'oxygène presque pur, sera la source de combinaisons chimiques extrêmement vives, d'un développement extraordinaire de chaleur et de lumière, et cela, malgré sa température ultra-polaire ! Et voilà comment pourront se produire, dans le

même milieu, des effets entièrement opposés de refroidissement excessif et de combustion vive, des phénomènes en apparence paradoxaux et placés aux deux extrémités de l'échelle des températures ; voilà comment on comprend la possibilité de trouver dans ce liquide, évidemment peu banal, les propriétés qui semblent le plus s'exclure et se combattre !

Une allumette enflammée brûle avec éclat lorsqu'on la plonge dans l'air liquide suffisamment évaporé... dans un milieu de 182 degrés au-dessous de zéro ; une bougie allumée provoque une vive explosion lorsqu'on l'approche d'une éponge imbibée d'air liquide ; celui-ci, de même, entretient avec éclat la combustion d'un morceau de charbon, mais la basse température du liquide *congèle* l'acide carbonique qui provient de la combustion !

Le fer chauffé au rouge, ainsi que le magnésium, deviennent éblouissants dans l'air liquide ; la laine, le coton, en vase clos, déflagrent avec énergie.

Ajoutons que l'air liquide peut devenir un explosif puissant, si l'on en imprègne un mélange de charbon de bois et de salpêtre. C'est avec un produit de ce genre que l'on a percé une partie du tunnel du Simplon.

Ces propriétés vraiment curieuses de l'air liquide sont de nature à intéresser vivement les physiciens. Ceux qui se grisent de science pure, ceux surtout,— et il y en a,— qui applaudissent à certaines découvertes de laboratoire uniquement parce qu'elles ne servent à rien, ne songent pas à aller plus loin.

Mais l'industriel, mais le public surtout que l'enthousiasme des savants laisse fort indifférents, ne se contentent pas de ce qu'ils apprécient si peu et ils ne manquent pas de se demander, comme un grand nombre de ceux qui me feront l'honneur de me lire : A quoi cela peut-il servir? . . . Eh bien ! essayons de dire à quoi cela peut servir.

Sans parler de la production des basses températures très utilisées de nos jours dans les laboratoires, l'air liquide est destiné à rendre d'immenses services à la métallurgie, aux industries chimiques, à l'agriculture, à l'hygiène, par le fait qu'il permet d'extraire à prix réduits l'oxygène et l'azote de l'atmosphère.

Les hautes températures, en effet, sont nécessaires à l'extraction des métaux et à tous les travaux métallurgiques, et c'est l'oxygène, par ses puissantes affinités, qui en est l'agent producteur. La métallurgie devra donc prendre un rapide essor vers le progrès par l'emploi de nouvelles

méthodes et par de nouveaux moyens d'action,— comme la fusion des substances réfractaires et la formation du carbure de calcium,— dès que l'obtention de l'oxygène à vil prix sera un fait accompli.

Les industries chimiques ne peuvent non plus manquer d'utiliser les précieuses propriétés de l'oxygène, et il est permis de penser que les procédés de fabrication de l'acide sulfurique et de l'ozone, en particulier, subiront des transformations économiques de la plus haute importance.

L'agriculture et l'hygiène,—on ne le soupçonnait peut-être pas,— bénéficieront sans doute aussi de la liquéfaction industrielle de l'air. L'air liquide, en effet, par l'extraction économique de l'azote de l'atmosphère et de l'hydrogène du gaz de l'eau, fournit les éléments essentiels de l'ammoniaque et des sels ammoniacaux, et, par l'oxygène, peut servir à la purification de l'air, ainsi qu'à la suppression des ^{des} fumées.

Voilà, rapidement résumées, ^{des} quelques-unes des applications de l'air liquide ; on voit que cela peut servir à quelque chose et à beaucoup de choses, principalement dans le domaine ^{de} de la métallurgie, et que, une fois de plus, l'industrie

sait tirer parti des expériences de laboratoire entreprises dans un but purement scientifique.

La science est d'une fécondité inépuisable et les chercheurs sont merveilleusement ingénieux ; le physicien, en travaillant pour sa satisfaction personnelle, creuse les fondations de l'édifice et prépare la voie aux applications pratiques. La science alimente l'industrie ; c'est pour cela que son œuvre est grande et patriotique.

1905.

UN CURIEUX PHÉNO-
MÈNE D'ÉLECTRICITÉ
STATIQUE

UN CURIEUX PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE

Le phénomène dont je veux parler n'est pas nouveau ; il n'a même pas le mérite d'être extraordinaire, et plusieurs de ceux qui liront ces lignes en ont sans doute été témoins, lorsque les circonstances sont favorables.

Il s'agit de ce développement en apparence anormal d'électricité que l'on constate, en hiver, dans nos maisons bien chauffées. Il semble quelquefois que le fluide électrique jaillit de toute part et que l'air en est complètement saturé ; il suffit, après avoir fait quelques pas sur un tapis de laine, d'approcher la main d'un conducteur métallique quelconque, comme les tuyaux de chauffage ou les supports de lampes électriques, pour en tirer de fortes étincelles.

Ce phénomène, je le répète, n'est pas nouveau ; seulement, il ne manque pas de gens qui ne savent l'expliquer, il y en a même qui, se souvenant sans doute des nombreux méfaits de l'étrange fluide, ont jugé à propos de s'en effrayer et de l'attribuer à quelque défectuosité des fils d'éclairage ou à toute autre cause pouvant occasionner

des dangers probables. On nous a rapporté que l'on a fait venir, dans l'une de nos maisons de Québec, les ouvriers de la compagnie électrique, et ceux-ci, partageant les craintes des simples mortels, soumièrent la canalisation électrique à une sévère perquisition, levèrent les planchers, déplacèrent les tuyaux de chauffage pour constater... que tout était en bon ordre !

*

* *

Pour rendre compte de cette production inusitée d'électricité, il n'est pas inutile de rappeler brièvement quelques notions élémentaires accessibles à tous.

L'on sait que l'électricité est une forme particulière sous laquelle se présente l'énergie, et que le frottement est l'une des sources de son développement. Thalès de Milet, qui vivait 600 ans avant Jésus-Christ, avait reconnu que l'ambre jaune frotté attirait des brindilles de papier. Depuis ce temps, l'on a constaté la même propriété *électrique* dans une foule d'autres substances, puis l'on a démontré que tous les corps, dans certaines conditions déterminées, pouvaient s'électriser par

le frottement non seulement d'un solide, mais encore d'un liquide ou d'un gaz.

Pour que la charge électrique, développée sur un corps, ne se perde pas presque immédiatement, il faut que ce corps soit isolé des conducteurs voisins, et, en particulier, du sol, au moyen de certaines substances non conductrices qu'on appelle, pour cette raison, des *isolants*.

L'air, tous les gaz et toutes les vapeurs, y compris la vapeur d'eau, sont classés parmi les substances isolantes. On remarque, toutefois, que les corps perdent rapidement leur charge lorsqu'ils sont plongés dans l'air humide. On sait maintenant que la déperdition n'est pas due à la vapeur d'eau, mais bien à la couche d'eau liquide qui se condense sur les objets.

Un air bien sec est donc nécessaire à la conservation de l'électricité développée par frottement.

L'électricité, sur un conducteur à l'état neutre, peut aussi prendre naissance par *influence*, c'est-à-dire par le seul fait du voisinage d'un corps électrisé. Tout se passe comme si ce dernier décomposait la charge neutre d'un conducteur suffisamment rapproché, et attirait, d'une part, la charge de nom contraire le plus près possible, en repoussant, d'autre part, celle de même nom à l'extrémité opposée.

Si le conducteur influencé communique avec le sol, la charge de même nom que celle du corps influençant disparaît complètement, tandis que l'autre est maintenue par l'attraction d'une charge de nom contraire, de telle sorte que le conducteur en question, éloigné de l'autre et isolé du sol, reste définitivement électrisé.

*

* *

Cela posé, revenons au phénomène qui nous occupe, et voyons, à la lumière de ces principes, comment il peut avoir lieu.

Lorsque l'on marche en se frottant quelque peu les pieds sur un tapis de laine, le corps humain s'électrise, comme une tige de verre frottée avec de la soie ou un bâton de cire à cacheter avec un morceau de drap. Si alors on s'approche d'un conducteur communiquant avec le sol, comme les tuyaux de chauffage, l'influence électrique a lieu, la charge de nom contraire à celle du corps est attirée vers celui-ci, et, lorsque la distance explosive n'est pas trop grande, une étincelle éclate à travers l'air.

Toutefois, le phénomène ne se produit que si l'air est très sec ; l'humidité, à cause de la déper-

dition abondante qu'elle occasionne, empêche toute manifestation électrique. C'est pourquoi un journal scientifique français, rapportant un phénomène de ce genre que l'on avait signalé à Winnipeg, l'attribuait à la grande sécheresse de l'air dans cette région.

Cependant, bien que l'état hygrométrique du pays exerce une certaine influence sur le développement d'électricité, nous ne croyons pas qu'on puisse obtenir, en hiver, des étincelles en dehors des habitations.

On sait, en effet, que la plus ou moins grande sécheresse de l'air dépend, non pas précisément de la quantité absolue de vapeur d'eau qu'il contient, mais du rapport qui existe entre cette quantité et celle qui serait nécessaire pour qu'elle soit saturante, dans les conditions du moment. L'air peut donc être relativement humide avec peu de vapeur d'eau, si celle-ci, à cause de sa basse température, est près de son point de saturation, et c'est ce qui arrive en hiver ; l'air est sec, au contraire, si le point de saturation de la vapeur est éloigné, ce qui peut avoir lieu avec une plus grande quantité de vapeur, lorsque, comme en été, la température est élevée.

La raison en est que la force élastique de la vapeur d'eau, qui l'éloigne ou la rapproche plus

ou moins de son point de saturation, est une fonction de sa température.

En d'autres termes et aussi plus simplement, l'humidité de l'air dépend de l'état *hygrométrique* du moment, comme on dit dans les cours de Physique, ou, si on l'aime mieux, de l'*écart de saturation*, et celui-ci augmente ou diminue suivant que la température est plus ou moins élevée.

A notre humble avis, la grande sécheresse de l'air, nécessaire à la production de l'état électrique dont nous parlons, est provoquée par les systèmes de chauffage très en usage aujourd'hui, c'est-à-dire le chauffage par la vapeur et par l'eau chaude.

Ceux qui emploient l'un ou l'autre de ces deux systèmes, très recommandables d'ailleurs à plus d'un titre, ont sans doute constaté qu'ils dessèchent énormément l'air, beaucoup plus que ne le font les poêles ordinaires. Il arrive souvent que les substances hygroscopiques se racornissent et que le bois se fendille.

Pourquoi cette différence entre les systèmes de chauffage, au point de vue de l'assèchement de l'air ?

Il est facile d'en donner la raison.

Lorsque l'on chauffe une pièce pour enlever à l'air l'humidité qu'il contient, l'action de la

chaleur n'a pas pour effet de diminuer la quantité de vapeur d'eau ; elle ne fait qu'augmenter la force élastique de cette dernière, abaisser l'état hygrométrique de l'air, et, par suite, reculer le point de condensation de la vapeur. Si donc l'air ne peut se renouveler,— ce qui arrive avec le chauffage par la vapeur et par l'eau chaude qui ne produisent aucune ventilation,— le degré de sécheresse atteint sera considérable, d'autant plus que ces deux systèmes développent souvent une chaleur excessive.

Les poêles, au contraire, provoquent une ventilation abondante ; ce sont des foyers installés dans la masse même d'air à chauffer, et il est nécessaire, pour l'entretien de la combustion, de ménager une prise d'air,— la fameuse petite porte du poêle,— qui livre passage à l'oxygène et détermine le tirage.

Il en résulte alors un renouvellement continu d'air frais et humide venant de l'extérieur, lequel fournit à la pièce une provision sans cesse renaissante de vapeur d'eau.

Aussi, croyons-nous, on ne constate que très rarement, dans les maisons chauffées par les poêles, le phénomène d'électrisation dont il est question ici.

En résumé, les étincelles que l'on tire des objets métalliques, pendant les froids de l'hiver, proviennent d'une production d'électricité par frottement et par influence, et ce développement est favorisé par la grande sécheresse de l'air ; celle-ci, à son tour, est due à la haute température et au défaut complet de ventilation qui sont les conséquences nécessaires du chauffage par la vapeur et par circulation d'eau chaude.

1905.

LE
CENTENAIRE
DE
L'ÉLECTROMAGNÉTISME

LE CENTENAIRE DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME⁽¹⁾

Il y a un siècle cette année (1920), le physicien danois Hans Christian Ørsted mettait en évidence l'action d'un courant électrique sur l'aiguille aimantée et, le 21 juillet 1820, il adressait à un grand nombre de sociétés savantes et de revues scientifiques un mémoire rédigé en latin, intitulé *Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*, dans lequel il décrivait en détail les fameuses expériences qui furent le point de départ de l'électromagnétisme.

Pour célébrer le centenaire de cet événement scientifique de première valeur, un comité de savants danois, sous la direction du professeur Absolom Larsen, publia un fascicule commémoratif qui reproduit en fac-similé le mémoire latin d'Ørsted, ainsi que la réimpression d'une traduction danoise et les traductions française, italienne, allemande et anglaise qui parurent dans les différentes revues de l'époque.

Ce fascicule a été envoyé à toutes les universités et il porte en frontispice la reproduction de

(1) *Le Canada français*, décembre 1920.

la médaille Ørsted qui se donne encore de nos jours au Danemark en récompense des travaux scientifiques.

Professeur de Physique à l'Université de Copenhague, Ørsted (1777-1851) s'est illustré par des travaux importants sur des sujets de Physique et de Chimie, entre autres sur la compressibilité de l'eau ; il fut le fondateur, en 1824, de la Société pour la Propagation des Sciences physiques et de l'École Polytechnique de Copenhague qu'il dirigea jusqu'à sa mort. Le Danemark le met au nombre de ses gloires nationales, au même titre, peut-être avec un peu d'exagération, que Tycho-Brahé et Rømer.

Mais c'est surtout par la découverte de l'électromagnétisme, c'est par la mémorable expérience connue en Physique sous le nom d'*expérience d'Ørsted* et dont on vient de rappeler le centenaire, que le savant danois s'est acquis une réputation universelle.

En quoi consiste donc cette expérience célèbre, dans quelles circonstances fut-elle exécutée et quelles en furent la portée et les conséquences sur le progrès de la science électrique ? Il ne sera peut-être pas désagréable aux lecteurs du *Canada français* que nous répondions à ces différentes

questions, et nous tâcherons de le faire le plus simplement et le plus brièvement possible.

*

* *

Depuis l'invention de la pile électrique par Volta, au début du XIXème siècle, on avait remarqué des traits frappants de ressemblance entre la pile et l'aimant. La pile, d'une part, avec deux pôles chargés d'électricités contraires, positive et négative, l'aiguille aimantée, d'autre part, avec également ses deux pôles nord et sud, parfaitement distincts l'un de l'autre, ne présentent-elles pas une analogie suffisante pour faire soupçonner une relation entre l'électricité et le magnétisme ?

C'est ce que les physiciens du temps, et Ørsted en particulier, ont cherché avec ardeur mais toujours sans succès : jamais la moindre action attractive ou répulsive n'avait été constatée entre les pôles d'une pile en circuit ouvert et ceux de l'aimant, et, comme la notion du courant électrique était encore complètement ignorée, il n'était venu à l'esprit de personne de faire agir sur l'aimant un fil conducteur reliant les pôles d'une pile en activité.

Il fallut que le hasard, auquel les physiciens sont redevables de tant de découvertes, vint fournir à Ørsted l'occasion de résoudre définitivement la question.

On raconte qu'un jour, dans un cours public où il venait de démontrer l'insuccès des tentatives expérimentales au sujet des influences réciproques de la pile et de l'aimant, il saisit, par un mouvement fébrile qui ajoute le geste à la parole, le fil qui unissait les deux pôles d'une pile et l'approcha, par pur hasard, d'une aiguille aimantée qui se trouvait sur la table, au moment où il s'écriait sur un ton de profonde conviction : "Quant à moi, malgré tous les échecs, je ne puis croire que la pile soit sans action sur l'aimant ; les analogies entre les deux sont trop manifestes."

O surprise ! l'aiguille aimantée dévie aussitôt de sa position nord-sud et tend à se mettre en croix avec la direction du fil. Ørsted, paraît-il, se hâta de terminer sa leçon, un peu pour cacher son embarras, mais surtout pour étudier à loisir le phénomène nouveau qui venait de se produire sous ses yeux. Après de nombreux essais exécutés avec le plus grand soin, il publia le mémoire dont nous avons parlé plus haut, et les physiciens de toute l'Europe répétèrent avec enthousiasme la fameuse expérience qui établissait enfin, entre

le magnétisme et l'électricité, le trait d'union si longtemps cherché. Une voie nouvelle, féconde en résultats de toutes sortes, venait de s'ouvrir, et la science électrique, débarrassée de ses vieilles formules, allait subir des transformations inattendues.

Pour exécuter l'expérience d'Ørsted dans les cours de Physique, on dispose, au-dessus d'une aiguille aimantée, libre de se mouvoir dans un plan horizontal et orientée suivant le méridien magnétique, un fil conducteur en relation avec les deux pôles d'une pile. Dès que le courant est établi, l'aiguille est aussitôt déviée, elle tend à se mettre en croix avec le courant, et l'angle de déviation est d'autant plus grand que le courant est plus intense et que le fil est plus rapproché de l'aimant.

Si le fil est placé au-dessous de l'aiguille, la déviation a encore lieu, mais elle s'opère dans une direction inverse.

Il convient de faire remarquer que, au temps d'Ørsted, on ne comparait pas le déplacement de l'électricité le long d'un fil, comme on le suppose maintenant, à l'écoulement d'un liquide dans une conduite. Volta lui-même n'a jamais compris le fonctionnement de la pile qu'il avait inventée et l'assimilait à tort à une bouteille de

Leyde perpétuelle. Ørsted, dans son mémoire, attribue les effets de la pile à ce qu'il appelle le *conflit électrique*, lequel, semble-t-il, serait le résultat de l'antagonisme entre les deux électricités contraires, l'une, négative, s'écoulant du pôle négatif vers le pôle positif, l'autre, positive, circulant du pôle positif vers le pôle négatif. Voilà pourquoi Ørsted, pour rattacher à une même formule les déviations de l'aiguille suivant les diverses positions du fil, écrit dans son mémoire : *le pôle au-dessus duquel entre l'électricité négative décline vers l'occident, et vers l'orient, si elle entre au-dessous de lui.*— *Polus super quem intrat electricitas negativa ad occidentem, infra quem ad orientem vertitur.*

Sans vouloir diminuer en rien son mérite, il faut avouer qu'Ørsted ne poussa guère plus loin ses recherches, et que sa remarquable expérience, qui suscita tant d'intérêt dans le monde savant, serait peut-être restée longtemps, sans le génie d'Ampère, une simple curiosité de laboratoire⁽¹⁾.

En effet, l'illustre physicien français fit plus que répéter l'expérience d'Ørsted ; pour lui, ce fut le point de départ d'une orientation insoupçonnée de l'électricité et du magnétisme.

(1) Voir *Propos scientifiques*, 1920, p. 289,

En quelques semaines seulement, après avoir multiplié les calculs, les expériences et... les découvertes, il avait créé de toutes pièces deux sciences nouvelles : l'*électromagnétisme* et l'*électrodynamique*.

C'est lui qui définit le *courant électrique* et en indiqua la direction, c'est lui qui le personnifia dans l'énoncé de la règle célèbre : *le pôle austral de l'aiguille est dévié à la gauche du courant*, c'est lui aussi qui prouva la réciprocité de l'action des aimants sur les courants, l'action de la terre sur un courant mobile, et qui découvrit, dans l'énoncé des *lois d'Ampère*, les actions mutuelles des courants.

Ampère, poursuivant ses recherches avec une rare sagacité, inventa le *solénoïde*, par lequel il reproduisit dans un fil enroulé en hélice les propriétés des aimants, puis, en collaboration avec Arago, il découvrit l'aimantation par les courants, l'*électro-aimant*, la base fondamentale du télégraphe et du téléphone et qui contient le principe, avec l'induction, des machines modernes dynamo-électriques.

Voilà tout ce qui était en germe dans l'expérience d'Ørsted. C'est à partir de 1820 que l'électricité, sous l'impulsion de génies tels que Ampère, Arago, Faraday et bien d'autres, est devenue cet

agent merveilleux qui résout en lumière, chaleur et force motrice les sources naturelles d'énergie. On comprend donc pourquoi on a voulu rappeler au monde savant le centenaire de l'événement scientifique qui fut la cause d'une pareille transformation.

Notons qu'Ørsted, pour expliquer les actions du fil électrique, suivant qu'il est placé au-dessus ou au-dessous de l'aiguille aimantée, admet que le *conflict* agit en tournoyant, *hunc conflictum gyros peragere*.— L'expérience a prouvé, plus tard, qu'un fil traversé par un courant électrique est entouré d'un champ magnétique constitué par un ensemble de lignes de force circulaires dont le fil occupe le centre, et que ces lignes sont animées d'un mouvement gyrotoire, véritable tourbillon magnétique dont le sens de rotation dépend de la direction du courant.

Enfin Ørsted termine son mémoire par cette curieuse remarque : *j'ai démontré, dans un ouvrage publié il y a sept ans, que le calorique et la lumière composaient le conflict électrique.*— *Calorem et lucem esse conflictum electricum*. N'est-ce pas là, en quelque sorte, le premier énoncé de la théorie électromagnétique de la lumière, magistralement développée plus tard par Maxwell ?

Il n'est peut-être pas sans intérêt de rechercher pourquoi Ørsted, en plein XIX^e siècle, a rédigé son mémoire en latin. Ne serait-ce pas parce qu'il croyait, par une sorte de vanité pédantesque, que la langue latine était la seule digne d'annoncer au monde savant une telle découverte? Nous sommes d'avis que l'on aurait tort de s'arrêter à une pareille supposition, et qu'Ørsted a obéi à des préoccupations de tout autre nature.

Le latin, en effet, n'est pas mort tout entier, après ses diverses transformations d'où naquirent les langues romanes; il continua de vivre dans les écoles et resta longtemps la *langue savante*, apprise et parlée par tous les érudits. Même au XIX^{ème} siècle, on compte, non pas seulement par centaines, mais par milliers les ouvrages composés en latin. Sans parler des publications philosophiques et théologiques, il existe encore de nos jours des revues littéraires et philologiques rédigées en latin, telles que la revue philologique *Mnemosyne*, à Leyde, et les revues littéraires *Vox urbis*, à Rome, et *Scriptor latinus*, à Francfort et Londres⁽¹⁾.

Mais surtout, pour les pays du nord de l'Europe, comme la Scandinavie, le Danemark et la Hollande, dont les idiomes sont peu répandus et peu

(1) Voir LAURAND, *Littérature latine*, pp. 621-622.

connus dans le reste du continent, le latin est la langue qui convient le mieux pour les relations scientifiques étrangères, attendu que tout homme instruit, s'il n'est pas un simple primaire, doit la connaître et la comprendre. Ajoutons que, grâce à sa grande précision en même temps qu'à son immutabilité qui la soustrait aux fluctuations inhérentes à toutes les langues vivantes, elle est et elle devra longtemps rester, du moins pour ceux qui ne savent pas le français, la langue idéale des communications scientifiques dans le monde entier.

Ørsted a donc eu raison de s'en servir pour la rédaction de son mémoire ; il était sûr d'être compris dans toutes les universités et par toutes les personnalités savantes de l'Europe.

LES RAYONS X

LES RAYONS X

Qui n'a pas entendu parler des rayons X, et qui n'a pas réfléchi, au moins pendant quelques instants, sur les curieux phénomènes auxquels ils donnent lieu ? La découverte de ces merveilleux rayons, en effet, a produit, dans le monde scientifique et dans le public en général, une impression de profonde surprise, et jamais, croyons-nous, la curiosité n'a été piquée d'une manière aussi intense, aussi universelle.

Il faut avouer que le côté mystérieux de la découverte n'a pas peu contribué à donner aux expériences **du** docteur Roentgen un extraordinaire retentissement. Voir et photographier des objets quelconques au travers des corps opaques, obtenir sur une plaque sensible un cliché des parties osseuses du corps humain, utiliser les nouveaux rayons à la constatation de certaines fraudes dans les produits industriels ou commerciaux, perfectionner, en Médecine, le diagnostic de certaines maladies, voilà qui est sans doute de nature à intéresser, à surprendre, à étonner, et cela d'autant plus que la nature des fameux rayons, malgré les nombreux travaux qu'ils ont

suscités, est restée longtemps entourée du plus profond mystère.

Nous n'avons pas l'intention d'entreprendre, dans ce modeste travail, une étude détaillée des rayons X. Voulant surtout faire œuvre de vulgarisation, et n'ayant d'autre but que celui de donner, à ceux qui nous font l'honneur de nous lire, des notions claires, précises et élémentaires sur les principaux sujets d'actualité scientifique, nous ne ferons, pour ainsi dire, qu'effleurer la question qui nous occupe aujourd'hui, et nous nous efforcerons, de la manière la plus simple possible, de satisfaire la curiosité de ceux qui s'intéressent aux développements de la science.

*

* *

Nous ne poserons pas la question : " Qu'est-ce que les rayons X " ? Bien que, de nos jours, comme nous le dirons plus loin, l'on sache qu'ils entrent dans la grande synthèse des mouvements vibratoires, du moins pour les rayons dits à *grande longueur d'onde*, nous ne croyons pas qu'il soit possible, dans une étude comme celle-ci, de traiter efficacement ce délicat sujet ; nous laisserons

plutôt à ces rayons le caractère mystérieux qu'ils ont encore pour le plus grand nombre, et nous nous contenterons de rechercher comment ils prennent naissance, quelles en sont les propriétés et comment ils agissent. Des connaissances très élémentaires d'électricité suffiront pour bien saisir les différentes particularités de cet intéressant phénomène.

On sait que si l'on approche l'un de l'autre deux conducteurs chargés à des potentiels différents, il se produit ce qu'on appelle une *décharge disruptive* qui se manifeste, suivant la nature du milieu traversé, sous la forme d'*étincelles*, d'*aigrettes* et de *lueurs*.

Considérons deux conducteurs assez rapprochés l'un de l'autre et que l'on fait respectivement communiquer, dans l'air à la pression ordinaire, avec les deux pôles d'une source d'électricité à haut potentiel, une machine électrostatique, par exemple, ou une bobine d'induction. La décharge qui éclate alors varie de forme et d'aspect suivant la distance explosive et on la désigne sous le nom d'*étincelle*. Lorsqu'elle est courte, elle nous apparaît comme un trait rectiligne très épais, mais elle jaillit en zigzags ou devient une ligne brisée d'où s'échappent des ramifications, si sa longueur augmente de plus en plus.

Éloignons les conducteurs au delà d'une certaine limite; l'étincelle n'est plus possible et la décharge n'a plus le même caractère: elle prend alors le nom d'*aigrette* ou d'*effluve*, elle est obscure et privée de chaleur, et se montre sous forme de houppe violacée très pâle avec pédoncule lumineux, sur le conducteur *positif*, tandis que le conducteur *néгатif* s'entoure d'une espèce de gaine.

Les choses se passent tout autrement si la décharge a lieu dans les *gaz raréfiés*: l'aigrette fait place à la *lueur*. Pour réaliser les conditions nécessaires à la formation des lueurs, on emploie les *tubes de Geissler*.

On appelle ainsi des tubes de formes très variées dans lesquels on a fait le vide à quelques millimètres près. Deux fils de platine, soudés aux extrémités du tube, communiquent avec les pôles d'une machine statique ou d'une bobine d'induction, et, dès que la décharge a lieu, on voit apparaître des lueurs colorées qui entourent principalement les deux fils (électrodes), et semblent se propager du fil positif au fil négatif.

Les teintes dans les colorations des lueurs sont très variables et dépendent de la nature des restes de gaz contenus dans les tubes; l'hydrogène produit une lueur rouge, tandis que celle du chlore est verte, et l'on peut déterminer la na-

ture de ces gaz par le procédé classique de l'analyse spectrale.

Les lueurs des tubes de Geissler provoquent la fluorescence de certaines substances, comme le sulfate de quinine et le verre d'urane ; ces dernières s'illuminent soudainement et brillent de leurs couleurs caractéristiques qui permettent de les reconnaître.

Un tube de Geissler, dans lequel on a poussé le vide jusqu'à quelques millièmes d'atmosphère, devient un *tube de Crookes*, et alors il donne lieu à de remarquables phénomènes dont voici les principaux :

On ne voit presque plus de lueurs et le tube presque en entier devient obscur comme au voisinage de la *cathode* (électrode communiquant avec le pôle *négatif* de la bobine d'induction). Si la cathode surtout se termine par un petit miroir concave, on constate que ce dernier lance dans le tube des rayons rectilignes qui vont frapper la paroi de verre opposée et produisent à cet endroit une belle fluorescence verte ; de plus, contrairement à ce que nous avons vu dans les tubes de Geissler, la direction de ces rayons ne dépend aucunement de la position de l'*anode* (électrode positive). Ces rayons, à cause de l'endroit d'où ils émanent, ont été appelés *rayons cathodiques*.

On admet généralement aujourd'hui dans la science que les rayons cathodiques ne sont rien autre chose que des *électrons négatifs* provenant du milieu raréfié et repoussés par la cathode, en ligne droite, vers la paroi opposée du tube qu'ils bombardent avec violence. Tout près de la cathode, on croit que la décharge électrique brise l'atome gazeux en deux particules ou *ions*, chargées d'électricités contraires qui constituent les *électrons*. Les électrons négatifs forment les rayons cathodiques, tandis que les électrons positifs se dirigent en sens contraire vers la cathode et la traversent, si elle est perforée de petites ouvertures, sous le nom de *rayons-canaux de Goldstein*.

Les rayons cathodiques, outre qu'ils rendent fluorescentes certaines substances, comme le verre, le diamant, l'émeraude, le rubis, jouissent encore d'autres propriétés fort curieuses. Par exemple, ils sont sensibles à l'aimant comme les courants mobiles : ils sont attirés ou repoussés suivant le pôle approché, ce qui se manifeste par le déplacement de la fluorescence sur les parois du tube.

Les rayons cathodiques ne peuvent traverser les métaux. On emploie, pour démontrer ce phénomène, un tube de Crookes en forme de poire dans lequel on dispose une croix en aluminium sur le

passage des rayons : on voit alors apparaître l'ombre de la croix sur le fond du tube.

Il paraît certain que les rayons cathodiques transportent une quantité considérable d'énergie, puisque, en frappant un obstacle quelconque contre lequel s'épuise leur vitesse, ils donnent lieu à une élévation notable de température. Le bombardement énergétique des rayons sur la paroi de verre du tube peut échauffer celle-ci jusqu'à la fusion. Il en est de même si l'on place, à l'intérieur d'une ampoule de Crookes, une petite lame de platine iridié sur laquelle on concentre en un point les rayons lancés par une cathode en forme de miroir concave ; une décharge suffisamment prolongée rougit et quelquefois fond la lame métallique.

Enfin, on constate dans les rayons cathodiques le pouvoir de produire des effets mécaniques : ils peuvent faire tourner de légers moulinets installés sur leur passage.

Tous ces faits remarquables que nous venons de signaler étaient connus des physiciens avant la découverte du Dr Roentgen, mais personne ne put distinguer de nouveaux rayons qui sortent de l'ampoule de Crookes et dont les propriétés sont tout à fait différentes de celles des rayons cathodiques. Toutefois, les deux physiciens allemands

Wiedemann et Lenard s'approchèrent bien près de la découverte qui illustra le professeur de Wurtzbourg. Lenard surtout constata qu'une partie des rayons cathodiques traversait une lame mince d'aluminium et allait, à l'extérieur du tube, exciter la luminescence d'un papier de soie enduit de pentadécylparatolylcétone.

Cet effet nouveau était dû aux rayons X, mais il n'eut pas la perspicacité de les reconnaître ; ses expériences ne furent connues que d'un petit groupe de savants, et il était réservé au Dr Roentgen de faire jaillir la lumière sur cet important sujet.

*

* *

Il faut donner, dans la découverte des rayons X, une grande part au hasard. Nous ne voulons pas par là diminuer le mérite du Dr Roentgen : il reste parfaitement intact. Le physicien, en effet, a besoin d'être doué d'une grande sagacité et d'un esprit d'observation peu ordinaire pour tirer partie d'un phénomène fortuit. Pour beaucoup d'expérimentateurs, ce phénomène passera inaperçu, et il y a une gloire véritable à déduire d'un fait nouveau et inattendu⁵ les conséquences qui échappent au plus grand nombre.

Tel est le cas du Dr Roentgen.

Ayant enfermé un tube de Crookes dans une boîte de carton noir entièrement opaque à la lumière et aux autres radiations connues, il remarqua que des paillettes de platinocyanure de baryum, placées dans le voisinage, devenaient subitement fluorescentes. Ce phénomène étrange frappa vivement l'habile physicien, et il en conclut que certaines radiations, dont il ne put déterminer la nature, sortaient à l'extérieur du tube, traversaient l'enveloppe opaque et venaient agir sur la substance sensible. Il voulut reconnaître ensuite si l'action qu'il venait de constater pouvait se produire à travers d'autres substances que le carton noir. Il prouva alors que le platinocyanure de baryum s'illuminait aussi lorsqu'on interposait entre lui et le tube un volume de mille pages, deux jeux de cartes, une lame de platine de deux millimètres d'épaisseur, des feuilles de plomb, de cuivre, d'argent, une planche de bois épaisse de plusieurs centimètres, etc.

Il n'y avait plus de doute possible. De nouveaux rayons, jusqu'alors inconnus, prenaient naissance dans l'ampoule, se propageaient à l'extérieur et pouvaient traverser des corps entièrement opaques à la lumière ordinaire.

Quel nom donner à ces mystérieux rayons ? Le Dr Roentgen se trouvait en face d'un problème difficile à résoudre. Des expériences subséquentes lui permirent de constater clairement qu'ils ne jouissaient pas des propriétés de la lumière, ni de celles des courants électriques mobiles. Qu'était-ce donc que ces fameuses radiations, et dans quelle catégorie les placer ? Roentgen les qualifia du symbole mathématique de l'inconnu : il les appela les rayons X ! Et ajoutons tout de suite que depuis 1896, époque de la mémorable découverte, il n'y a pas lieu de changer ce nom, parce que, malgré toutes les précisions que les savants pourront apporter sur ce sujet, ces étranges rayons, pour le plus grand nombre, resteront longtemps enveloppés du plus profond mystère.

Toutefois, les incertitudes et les obscurités des débuts n'ont pas empêché les physiciens d'en étudier avec ardeur et enthousiasme les effets variés et surprenants. Il en est résulté une foule de travaux intéressants au moyen desquels on a perfectionné la construction des ampoules de Crookes, le mode de production des nouvelles radiations, la manière de les utiliser et de les faire servir à de nombreuses et importantes applications pratiques.

On a reconnu bientôt, comme le pensait lui-même le Dr Roentgen, que les rayons X se produisent à l'endroit où les rayons cathodiques viennent frapper une matière solide quelconque, comme, par exemple, la paroi elle-même de l'ampoule. Après beaucoup d'études et d'essais, on a adopté un système de tubes de Crookes dits *focus*, dans lesquels on a disposé une lame de platine inclinée à 45° ; la cathode, en forme de calotte sphérique, concentre alors les rayons cathodiques sur cette lame qui devient alors le foyer d'où prend naissance le flot des rayons X ; ceux-ci traversent la paroi de l'ampoule et se propagent ensuite à l'extérieur.

On a réalisé un grand progrès, il n'y a pas longtemps, avec les *tubes de Coolidge*, dans lesquels on applique très heureusement le principe de la valve de Flemming (effet Edison) ; ces tubes utilisent donc les phénomènes électroniques, comme les lampes à vide que l'on emploie en télégraphie sans fil.

Pour arriver à ce résultat, on pousse le vide dans l'ampoule jusqu'aux dernières limites, et l'on place dans la cathode, en forme de cylindre métallique, un filament de tungstène enroulé en spirale que l'on chauffe avec une batterie d'accumulateurs ou un transformateur ; l'anode ou

l'anticathode est un bloc de tungstène placé en regard de la cathode, et ces deux bornes du tube communiquent par des capuchons métalliques extérieurs avec une bobine d'induction, ou autre source à haut potentiel. Le filament de tungstène, une fois incandescent, joue le rôle de cathode et émet des électrons négatifs, c'est-à-dire des rayons cathodiques, que le cylindre métallique, par son action électrostatique, dirige sur l'anticathode ; c'est là que prennent naissance les rayons X, en un focus bien déterminé.

Dans le tube de Coolidge, la vitesse des électrons, par suite la force de pénétration des rayons X, dépend uniquement de la différence de potentiel de la source électrostatique qui alimente l'ampoule, tandis que l'intensité du rayonnement cathodique est fonction exclusive de la température de la cathode, ce qui permet de régler séparément et indépendamment l'une de l'autre la qualité et la quantité du rayonnement. De plus, le tube, fonctionnant comme une soupape et ne laissant passer les courants que dans le sens de l'émission cathodique, présente l'avantage d'utiliser les courants alternatifs, sans qu'il soit nécessaire de les redresser.

Nous savons donc maintenant comment produire les rayons X. Voyons, d'autre part, quelles en sont les propriétés et les principales applications.

Les rayons X, nous l'avons déjà dit, peuvent traverser des corps opaques à la lumière ; cette curieuse propriété, sans laquelle les nouveaux rayons n'auraient peut-être jamais été découverts, était certainement de nature à causer, chez les premiers expérimentateurs, une profonde surprise. Les notions de transparence et d'opacité, qui ont une signification très nette et très précise quand il s'agit de rayons lumineux, se présentaient alors sous un jour tout nouveau, et prenaient un caractère d'étrangeté bien propre à frapper vivement l'imagination du public.

Des substances, en effet, transparentes à la lumière, comme le verre, sont opaques aux rayons X, du moins sous une certaine épaisseur, tandis que ces derniers rayons passent facilement à travers le diamant, le bois, l'air, le papier, etc. Ils se propagent en ligne droite, sont invisibles pour l'œil humain, mais impressionnent, comme la lumière ordinaire, les plaques photographiques, excitent la fluorescence de certains composés, comme le *platinocyanure de baryum*, enfin, traversent les muscles des hommes et des animaux, mais sont interceptés en grande partie par les os.

Comme on le voit, les différentes substances ne livrent pas passage aux rayons X avec la même facilité : en règle générale, les corps de nature organique sont relativement très transparents, tandis que ceux d'origine minérale sont ordinairement plus opaques ; on a reconnu que l'opacité des substances métalliques augmente avec la valeur des différents poids atomiques.

Il est presque inutile de dire aussi que l'épaisseur des objets, dans cette question de la transparence, est un facteur important dont on doit tenir compte.

Les rayons X, tels qu'ils nous apparaissent dans la pratique courante, se distinguent nettement des radiations lumineuses ; contrairement à ces dernières, ils ne sont ni réfléchis, ni réfractés, ni polarisés. Ils ne se comportent pas non plus comme les courants mobiles, bien qu'ils prennent naissance dans les ampoules de Crookes, sous l'influence des décharges électriques à haute tension : l'aimant ne les dévie pas. Toutefois, leur origine électrique semble se trahir par le fait qu'ils possèdent la propriété, — analogue à celle du radium, — de décharger les corps électrisés.

Les applications des rayons X sont nombreuses et de la plus haute importance. L'une des princi-

pales est incontestablement la photographie au travers des corps opaques aux différentes radiations lumineuses, opération qu'on a désignée sous le nom de *radiographie*.

Cette opération, qui rend de nos jours tant de services à la médecine, repose sur ce fait que les corps se laissent plus ou moins facilement traverser par les nouveaux rayons : par conséquent, suivant l'épaisseur et la nature des objets interposés entre la plaque photographique et une source de rayons X, ces derniers n'agiront pas avec la même intensité sur les diverses parties de la substance sensible.

Supposons, pour fixer les idées, que l'on veuille obtenir une radiographie de la main. Nous avons dit précédemment que les os sont plus opaques aux rayons X que le tissu musculaire. Posons la main entre une ampoule à rayons X et une plaque photographique enveloppée de papier noir ; celle-ci sera fortement impressionnée vis-à-vis des chairs transparentes, tandis que l'interposition des os empêchera toute action sur les parties correspondantes de la plaque. Une épreuve positive sur papier fera voir l'ombre ou la silhouette des parties osseuses de la main.

D'une manière tout à fait analogue, on pourra obtenir des ombres photographiques de différents objets enfermés dans un portefeuille, par exemple, un lorgnon, des aiguilles, des clefs, un crayon. Les rayons X traversent facilement le cuir du portefeuille et le bois du crayon ; on distingue alors la plombagine au travers du bois, et tous les autres objets métalliques, de même que le verre du lorgnon, apparaissent fortement en noir sur l'épreuve positive.

On voit par ces quelques exemples que la radiographie diffère totalement de la photographie ordinaire. Cette dernière, au moyen des radiations lumineuses, permet de fixer l'image de l'aspect extérieur des corps, tandis qu'en radiographie on n'obtient que des ombres portées des objets rencontrés par les rayons X, indépendamment du relief extérieur.

Il n'est pas nécessaire, pour constater les effets des rayons X, d'avoir recours à la plaque photographique ; on fait de la *radioscopie* au moyen d'un écran fluorescent au platinocyanure de baryum que l'on interpose entre le tube à rayons X et les objets à examiner. On peut alors observer, directement et rapidement, mais d'une manière transitoire, l'intérieur de la main, le squelette osseux, ou toute autre chose pouvant porter

ombre, au milieu des autres substances plus transparentes.

Il est facile de s'imaginer les nombreuses applications de la radiographie et de la radioscopie ; au point de vue du diagnostic médical, elles rendent des services incontestables. C'est ainsi que l'on peut constater la présence de corps étrangers dans l'organisme et les localiser ; on peut également apercevoir des anévrismes de l'aorte, les développements anormaux du cœur, etc.

Il est possible, par l'examen des ombres portées, de voir le contenu d'une boîte fermée sans être obligé de l'ouvrir, de mettre en évidence certaines falsifications des matières végétales par addition de substances minérales plus opaques aux rayons X, de distinguer les faux diamants des vrais, etc.

Voilà, sans doute, des résultats surprenants et sur l'importance desquels il est inutile d'insister. Il ne faut donc pas s'étonner de l'extraordinaire vogue des nouvelles radiations et de l'immense retentissement de la découverte du Dr Roentgen.

*

* *

D'après les physiciens modernes, la lumière et la chaleur ne sont que des phénomènes vibra-

toires. Chaque radiation est considérée comme produite par des vibrations de vitesse déterminée et auxquelles correspond, dans le milieu de propagation, c'est-à-dire l'éther, une longueur d'onde particulière. C'est ainsi que le rouge ne diffère du jaune ou du vert que par la longueur d'onde ou la vitesse vibratoire, et la chaleur se distingue de la lumière par le fait que les vibrations calorifiques, plus lentes, ne peuvent donner lieu à des sensations lumineuses.

Les vibrations plus rapides, au contraire, produisent l'activité chimique. Depuis les travaux de Hertz, on sait que l'électricité se propage dans l'espace sous forme d'ondes appelées *ondes hertziennes*, mais celles-ci sont beaucoup plus longues que les ondes lumineuses et calorifiques.

En est-il de même des rayons X ? C'est l'opinion générale aujourd'hui et les physiciens admettent que ces rayons correspondent à des longueurs d'onde extrêmement courtes, de l'ordre des centièmes de *micron* (millième de millimètre), c'est-à-dire à des vibrations beaucoup plus rapides que celles qui engendrent la chaleur et la lumière. C'est pour cette raison que les rayons X ne peuvent être perçus par l'œil humain.

On a démontré par des expériences directes, au moyen de réseaux cristallins, que certaines

espèces de rayons X (car il y en a plusieurs), dits à grande longueur d'onde, rentreraient nettement dans la catégorie des phénomènes vibratoires, comme les radiations lumineuses.

Qu'arriverait-il, pourrait-on se demander, si notre œil devenait sensible à des mouvements vibratoires aussi rapides, s'il pouvait être impressionné par les rayons X? Comment, dans ces conditions, nous apparaîtrait le monde extérieur?

Laissons parler un spirituel auteur et citons quelques paragraphes de la description humoristique qu'il en fait :

“ Qui n'a essayé de se représenter quelle conception du monde pourrait avoir un être organisé pour percevoir directement ces rayons, ce pourquoi il lui suffirait d'avoir l'œil construit en bois ou en carton ?

“ Imaginons-le donc cet homme, que nous pouvons appeler un *xylope*, et dont l'œil percevrait, non comme le nôtre, des vibrations de 450 à 750 trillions à la seconde, mais celles qui sont comprises entre les vitesses de 300 à 2,300 quadrillions.”

On peut tout de suite dire que, pour le xylope, le corps humain semblera un squelette entouré d'une masse confuse et translucide, ce qui devra singulièrement modifier le sens esthétique et l'idéal

qu'on peut se former de la beauté humaine. Mais continuons notre citation :

“ Cette singulière population se cachera aux regards dans des maisons en verre, dont on ouvrira les volets, également en verre, quand on aura envie de laisser pénétrer, par les carreaux en bois, les rayons bienfaisants du soleil. La forêt vierge la plus épaisse lui apparaîtra comme un bois dénudé ; ou du moins, puisqu'on verra la sève qui monte dans l'intérieur des arbres, elle produira l'effet de jets d'eau extrêmement minces, affectant les formes les plus compliqués et s'élevant avec une lenteur qui les fera paraître immobiles. Et comme un xylope ne pourra pas s'approcher de l'un de ces objets sans se heurter au tronc, qu'il ne verra pas, il insérera dans un traité d'hydraulique la curieuse observation que voici :

“ Pendant la belle saison, on observe dans la
“ campagne une multitude de fontaines jaillis-
“ santes, dont les molécules sont évidemment
“ soustraites aux lois de la gravitation et de
“ l'évaporation. Leur débit est extrêmement fai-
“ ble ; elles forment des filaments capillaires qui
“ se subdivisent à l'infini, suivant les dessins les
“ plus capricieux, et s'élèvent parfois à une
“ hauteur considérable, et en général d'autant
“ plus grande qu'ils sont plus subdivisés . . .

“ Malgré leur ténuité, il est très rare que la
“ chaleur de l’été parvienne à tarir complètement
“ ces sources. Par contre, il arrive qu’elles
“ gèlent en hiver . . .

“ Une des particularités les plus curieuses, c’est
“ qu’à chacune d’elles correspond une zone
“ impénétrable qui l’enveloppe et que rien ne
“ révèle à la vue ; en sorte que l’on doit s’appro-
“ cher avec précaution si l’on ne veut être heurté,
“ déchiré ou piqué à l’improviste, d’une façon
“ parfois fort douloureuse.”

“ Et plus tard, il se trouvera, avec le progrès
de la civilisation, un xylope pour compléter ce
chapitre.

“ On vient d’imaginer une application très
ingénieuse des sources jaillissantes. Au moyen
d’instruments spéciaux, appelés haches, scies,
serpes, couteaux, il est possible de détacher ces
sources du sol, en totalité ou en partie, et d’enlever,
en même temps qu’elles, la substance dure et
transparente qui les entoure.

“ Cette substance peut être débitée suivant une
forme quelconque ; et, si on la conserve assez
longtemps pour laisser évaporer l’eau qu’elle
contient, sa transparence devient absolue. On
l’emploie alors en lames minces pour clore les
fenêtres des maisons sans obscurcir l’intérieur

de ces dernières, et l'on en fabrique toutes sortes d'objets d'une grande utilité, tels que récipients permettant d'apercevoir les objets qu'on y a enfermés, et lentilles propres à améliorer la vision en faisant paraître les objets plus gros, et par conséquent plus rapprochés. Cette matière a été nommée *crystal de source*, ou, plus communément, *bois*."

Fantaisie que tout cela, dira-t-on ! Fantaisie, oui, sans doute, mais scientifiquement exacte et d'une saisissante réalité, si l'on s'en tient aux conditions proposées. Les choses ne se passent pas de cette manière uniquement parce que nous sommes aveugles pour les vibrations aussi rapides que celles qui constituent les rayons X. Et si l'on peut étudier et utiliser les fameuses radiations, c'est grâce à cette précieuse propriété qu'elles ont d'illuminer certaines substances, et aux actions photographiques qu'elles déterminent.

L'emploi des rayons X est maintenant général dans le monde entier, surtout pour le diagnostic médical, et il n'y a pas d'hôpitaux qui ne soient pourvus d'installations très perfectionnées et très coûteuses. Ces résultats réellement extraordinaires font voir une fois de plus tout ce qu'il y a en germe dans une découverte scientifique, tout ce que le génie de l'homme peut tirer d'une expérience de laboratoire.

LES PREMIERS PRINCIPES
DE LA T. S. F.

LES PREMIERS PRINCIPES DE LA T. S. F. (1)

LES ONDES ÉLECTRIQUES

L'histoire des sciences offre peu d'exemples de progrès aussi rapides et aussi merveilleux que ceux de la télégraphie et de la téléphonie sans fil, de la T. S. F., comme on les appelle communément. Il semblait que rien ne pouvait être comparé au développement de l'automobilisme, de l'aviation et du cinéma ; il n'en est plus de même aujourd'hui, et la T. S. F., au train où vont les choses, se placera bientôt au premier rang parmi les applications de la science.

Sans parler des très nombreuses stations de réception des simples amateurs, les postes d'émission de télégraphie et de téléphonie sans fil se multiplient sans cesse dans tous les pays ; leurs ondes invisibles et mystérieuses encerclent notre planète, et, pénétrant aux endroits de la terre privés jusqu'alors de toute relation avec le reste du monde, assurent des communications

(1) *Le Canada français*, février 1923, janvier, mars et décembre 1924.

constantes entre les continents, entre les métropoles et leurs colonies, entre les transatlantiques et les postes côtiers, bref rendent à la diplomatie, à la finance, au commerce, aux armées, des services dont l'importance n'échappe à personne.

Si l'on s'étonne à bon droit de la transmission à longue distance des signaux télégraphiques compris des seuls initiés, que dire de la téléphonie sans fil? Une nouvelle technique a surgi comme par enchantement, de nombreuses manufactures et usines, et qui ne peuvent suffire aux demandes, ont placé sur le marché des appareils nouveaux, de toutes formes et de toutes marques ; plusieurs centaines de postes de transmission, entendus par plusieurs millions d'auditeurs, lancent dans l'espace, j'allais dire *broadcastent*, suivant le mot créé pour la circonstance, les programmes les plus variés, véritables concerts où les conférences et les discours alternent avec le chant et la musique... Il y en a vraiment pour tous les goûts, même les plus modestes et les moins raffinés ; les contes pour enfants succèdent aux dissertations sur les opérations financières, les sujets scientifiques coudoient les cotes de la Bourse et les fluctuations du marché monétaire, le banjo est sur le même pied que le violon ou la harpe, le jazz et l'ignoble *Fox trot* se fauillent

entre une symphonie de Haydn et un concerto de Mendelssohn...

Les grandes compagnies électriques, les grands journaux, les grands hôtels ont leurs stations de *radio* dûment enregistrées et en font des agents de publicité intense, à un degré que seule l'imagination américaine a pu rendre possible.

Les beaux jours du gramophone sont peut-être sur leur déclin... L'astre du *radio* s'est levé à l'horizon et monte rapidement vers le zénith !

Mais, disons-le tout de suite, ce qui provoque surtout l'admiration et l'étonnement du public, ce qui éveille en lui un sentiment de la plus intense curiosité, ce n'est pas le développement extraordinaire et si rapide de la téléphonie sans fil, avec toutes ses conséquences logiques connues de tous, ce n'est pas l'engouement d'une multitude d'amateurs jusqu'alors indifférents aux phénomènes électriques, ni même le fait de constater qu'un nouvel élément de jouissance et de distraction s'est implanté dans la vie domestique et sociale; de nos jours le public s'habitue vite aux nouveautés, et, depuis vingt-cinq à trente ans, il en a vu bien d'autres. Il comprend, du reste, que le monde scientifique et industriel est merveilleusement préparé pour répondre efficacement aux exigences des chercheurs. Une idée nouvelle est-elle

lancée, une découverte est-elle annoncée, qu'une nuée de travailleurs, avec l'outillage perfectionné des laboratoires et des usines modernes, se met aussitôt à l'œuvre ; le nouveau phénomène est étudié, analysé à fond, examiné sur toutes ses faces, et il en résulte toujours des nouveautés inattendues, des découvertes importantes et fécondes en applications pratiques.

Ce qui étonne le public, c'est le voile mystérieux qui cache à son esprit le mécanisme de la communication à distance par téléphone sans fil, et il se demande : Comment cela peut-il se faire ? Comment les vibrations des instruments de musique, avec leurs timbres variés et compliqués, comment la voix humaine avec toutes ses nuances délicates, peuvent-elles être transportées à des milliers de milles de distance, sans aucun intermédiaire visible, " sur les ailes du rêve," pourrait-on dire ?

Ce n'est pas notre intention, dans cet humble travail, d'analyser par le menu tous les phénomènes électriques et acoustiques que la T. S. F. met en jeu. L'étude détaillée de cette passionnante question, qui nous ferait pénétrer dans tous les secrets de ce nouveau mode de transmission de la pensée et de la parole humaines, supposerait chez le lecteur une connaissance approfondie de l'élec-

tricité, des notions plus qu'élémentaires de self-induction, de capacité, de potentiel, de transformation de l'énergie électrique, c'est-à-dire que l'explication complète de la T. S. F. ne serait donnée que dans le dernier chapitre d'un cours complet d'électrotechnique.

Ce n'est pas ce que nos lecteurs attendent de nous. D'ailleurs, ceux qui sont suffisamment préparés aux études de ce genre peuvent facilement avoir recours aux traités spéciaux et aux nombreux articles de revues publiés ici et là ; ils y trouveront tout ce dont ils ont besoin.

Nous voulons tout simplement renseigner le public amateur de la façon la plus élémentaire possible, en insistant seulement sur le mode de transmission à distance des ondes électriques, et expliquer, du mieux que nous pourrons, " comment cela peut se faire". Notre but sera d'exposer, ce qui justifie le titre de notre causerie, " les premiers principes de la T. S. F."

*

* *

Nous surprendrons peut-être quelques-uns de nos lecteurs en leur rappelant que la *télégraphie sans fil*, entendue dans le sens large de communi-

cation à distance sans intermédiaire visible, a été le premier mode de transmission de la pensée parmi les hommes ; elle est vieille comme le monde, puisqu'on s'est toujours servi du son et de la lumière comme seuls moyens de relations entre individus. Le sacristain qui met en branle la cloche d'une église et qui lance dans l'espace des ondes sonores pour appeler les fidèles au service divin, fait sans le savoir de la télégraphie sans fil ; il en est de même de l'opérateur qui, sur un navire de guerre, envoie, sous forme de signaux lumineux variables, les ordres de l'amiral aux autres unités de l'escadre. Sans vouloir enlever à la T. S. F. cette auréole mystérieuse qui lui donne un charme particulier, on peut dire que tout mystère disparaît lorsqu'on a bien compris le mécanisme des ondes électriques, lorsqu'on s'est bien rendu compte qu'elles ne diffèrent des ondes lumineuses que par des particularités accidentelles. C'est ce que nous allons nous efforcer de mettre en évidence.

Nous parlons d'ondes électriques, d'ondes lumineuses : ce terme est emprunté aux *vagues* de la mer, aux *ondes* liquides, avec lesquelles les premières ont une grande analogie.

Laissons tomber une pierre sur la surface horizontale d'une eau tranquille : une dépression se

forme au point frappé, et l'ébranlement de l'eau causé par le choc de la pierre se propage dans toutes les directions sous forme d'un sillon circulaire dont le diamètre augmente de plus en plus. Comme l'eau reprend son équilibre après le choc, on voit apparaître une crête, une ride également circulaire, une véritable vague ou *onde* qui suit le sillon et se déplace à la surface de l'eau. Si, au lieu d'un seul choc, on en suppose toute une série se succédant après les mêmes intervalles de temps, la surface de l'eau sera bientôt couverte de sillons et de crêtes qui transportent au loin le mouvement initial, et dont les distances, d'onde à onde, dépendent de la rapidité des chocs : c'est cette distance qu'on appelle la *longueur d'onde*, élément essentiel de tout mouvement vibratoire.

Il est important de remarquer que ce sont les ondes seules qui se propagent et que les molécules liquides n'ont aucun mouvement latéral de translation ; elles s'élèvent et s'abaissent alternativement, et des corps flottants, rencontrés par les vagues, n'exécutent que de légers mouvements verticaux. Tel est le cas du navire à voile, surpris par le calme plat, qui se balance sur place pendant des jours entiers sans se déplacer sensiblement dans le sens horizontal, lorsque les vagues formées au loin viennent le rencontrer ;

tel est aussi le cas du baigneur que les ondulations successives de la mer soulèvent avec une régularité rythmique, mais laissent toujours au même point de la plage. Au moyen âge, on résumait ce curieux phénomène par cette formule qui ne manque pas d'originalité : *non materia ipsa, sed forma materiæ progreditur.*

Faisons un pas de plus et étudions sommairement la propagation du son dans l'air ; ici, comme dans le cas des ondes liquides, le mouvement vibratoire se transmet de proche en proche, non pas seulement dans un seul plan horizontal, mais dans toutes les directions. Les ondes liquides étaient *circulaires*, les ondes sonores sont *sphériques*.

Pour qu'un mouvement vibratoire se propage dans l'espace, il faut un *milieu* élastique susceptible de vibrer lui-même et de transmettre un ébranlement produit en un point quelconque de sa masse.

Le milieu ordinaire de la transmission du son est l'air atmosphérique ; on prouve facilement dans les cours de Physique, que le son ne peut pas franchir le vide, et c'est par une suite de compressions et de dilatations des tranches d'air, causées par les vibrations très rapides des corps sonores, qu'il est perçu par l'organe de

l'ouïe, *sans aucun intermédiaire visible*. Comme dans le cas des ondes liquides, il n'y a pas entraînement de matière, l'air ne se déplace pas, n'est pas projeté par le corps vibrant ; ce dernier comprime et dilate une certaine masse limitée d'air, laquelle réagit sur les tranches voisines, de telle sorte que les *modifications* de pression engendrées par les oscillations du corps sonore sont transportées au loin sous forme d'ondes sphériques alternativement comprimées et dilatées.

Si l'air était un gaz coloré visible, la transmission du son ne serait un mystère pour personne. Supposons une cloche qui émet un son intense pouvant être entendu à une grande distance ; on verrait alors tout autour du centre d'ébranlement sonore se former des ondes sphériques de diamètres de plus en plus grands et se déplaçant dans l'espace avec une vitesse de 1,118 pieds par seconde ; sur la ligne droite qui joint la cloche à l'oreille d'un observateur, on constaterait que les particules d'air se rapprochent vivement quand il passe une *onde condensée*, puis s'éloignent aussi rapidement quand il passe une *onde dilatée*, et cela avec la même vitesse que les oscillations de la cloche. Tout le monde alors comprendrait comment les vibrations sonores, bruits les plus variés, sons des instruments de musique, chant et

parole articulée, peuvent agir à distance sur l'oreille et provoquer le phénomène de l'audition.

Tout comme le son, la lumière est également un mouvement vibratoire et se propage dans l'espace d'une manière tout à fait analogue, c'est-à-dire sous forme d'ondulations, avec cette différence que la vitesse de transmission est incomparablement plus grande et que le milieu qui transporte les ondes n'est pas l'air, puisque la lumière du Soleil et des étoiles nous arrivent après avoir traversé le *vide* des espaces célestes.

Quel est donc ce milieu et quelles en sont les propriétés ?

Sans entrer dans certains détails qui ne peuvent trouver place ici, disons seulement que la lumière, dans l'opinion des physiciens d'aujourd'hui, sauf peut-être Einstein et ses disciples, est le résultat de vibrations extrêmement rapides des corps lumineux, ce qui exige un milieu susceptible de transmettre au loin, au moyen d'ondes analogues aux ondes liquides et sonores, le mouvement vibratoire du corps lumineux lui-même. C'est ce milieu hypothétique, impondérable en même temps que très élastique, qui remplit tout l'univers, les espaces planétaires comme les interstices des molécules et des atomes des corps, que l'on appelle l'*éther*, dont l'existence et le mode d'action ont

été démontrés par *Augustin Fresnel*, le fondateur de l'Optique moderne.

Si donc la lumière du Soleil ou des étoiles parvient jusqu'à notre œil, c'est que les vibrations de ces astres ont ébranlé l'éther et que ce dernier, au moyen d'ondes sphériques extrêmement courtes, a propagé de proche en proche dans sa propre masse la perturbation vibratoire initiale.

L'analogie avec le son est saisissante, sans conclure toutefois à l'identité du mode de transmission ; il y a, en effet, des différences importantes qu'il faut signaler.

Le son se propage par une suite de compressions et de dilatations de l'air, les vibrations de celui-ci sont *longitudinales*, c'est-à-dire se font dans la direction même des rayons, la vitesse de propagation ne dépasse pas 1,118 pieds par seconde, et le nombre maximum de vibrations, pour l'extrême limite des sons perceptibles à l'oreille, est évalué à 38,000 par seconde.

Les vibrations lumineuses de l'éther, par contre, sont *transversales*, la vitesse de propagation, de beaucoup plus grande que celle du son, est de 300,000 kilomètres par seconde (environ 62,000 lieues) et le nombre de vibrations se compte par *trillions* ; la longueur d'onde, ce qui correspond à la distance de deux ondes sonores con-

densées consécutives ou de deux vagues liquides, qui se suivent, n'est que d'un *demi-micron* (millième de millimètre) pour la lumière jaune.

*

* *

Des ondes lumineuses aux ondes électriques, il n'y a qu'un pas. Y a-t-il relation, analogie, similitude entre la lumière et l'électricité et peut-on faire entrer ce dernier mode de manifestation de l'énergie dans la catégorie des phénomènes vibratoires? Ce pas, le génie de Maxwell l'a franchi, vingt-cinq ans avant toute confirmation expérimentale et d'après des considérations purement théoriques.

Pour Maxwell, une onde lumineuse serait le résultat de courants alternatifs de très haute fréquence, changeant de sens un quadrillion de fois par seconde, et qui se déplacent dans les diélectriques (isolants), l'air ou le vide interplanétaire. La propagation dans l'espace s'expliquerait par l'énorme induction dont les courants à alternances très élevées sont le siège. Cette manière d'envisager la nature de la lumière est connue dans la science sous le nom de *théorie électromagnétique de la lumière* ; elle suppose une étroite relation

entre cette dernière et l'électricité, elle suppose également l'identité du milieu de transmission, l'éther de Fresnel, dont les vibrations, comme pour la lumière, seraient transversales.

Les courants de déplacement de Maxwell ne pouvaient être mis en évidence par les courants alternatifs ordinaires, dont la fréquence est beaucoup trop basse. Il fallut attendre qu'un chercheur put trouver le moyen d'obtenir des vibrations électriques extrêmement rapides, comparables à celles de la lumière. C'est ce que Hertz a réalisé avec l'excitateur qui porte son nom, et l'on sait maintenant que " tout circuit présentant de la self-induction et de la capacité, et excité par des moyens particuliers, est le siège d'oscillations électriques ; " c'est donc un centre de vibrations, analogue à un corps lumineux, et qui produit dans l'éther des *ondes hertziennes* transportant dans l'espace, avec la même vitesse que la lumière, l'ébranlement initial.

Hertz, au moyen d'expériences restées célèbres, a démontré l'identité presque absolue entre les ondes lumineuses et les ondes électriques, et il a réussi à imiter tous les phénomènes de l'Optique. Comme les premières, les ondes électriques se réfléchissent, se réfractent, se polarisent, subissent l'interférence et présentent le phénomène

des battements. Plus que cela, les vibrations électriques se propagent, dans l'espace et le long des fils, avec la même vitesse, 300,000 kilomètres par seconde, que la lumière.

Nous venons de dire qu'il y a identité *presque absolue* entre les deux espèces d'ondes : il faut, en effet, signaler une différence accidentelle, et celle-ci réside dans la longueur d'onde. Les ondes lumineuses rouges, les plus longues que l'œil puisse percevoir, n'ont que six dix-millièmes de millimètre de longueur, ce qui correspond à 450 trillions de vibrations par seconde ; les plus courtes longueurs d'ondes électriques, obtenues par le professeur Bose, sont de 6 millimètres, et le nombre de vibrations atteint 50 billions par seconde. Pour impressionner la rétine et les rendre visibles à l'œil, il suffirait des vibrations 10,000 fois plus rapides. Dans la pratique de la radiotéléphonie et de la radiotélégraphie, les longueurs d'ondes employées varient de 50 à 550 mètres environ, dans le premier cas, et de 600 à 25,000 mètres, pour le second.

Entre la lumière et l'électricité, il n'y a plus donc qu'une différence de longueur d'onde ! Une simple variation de cette dernière nous ferait passer de l'une à l'autre, comme l'on passe de la même manière du rouge au vert, dans le spectre solaire,

ou du *sol* à l'*ut*, dans la *gamme sonore* ; les propriétés essentielles restent les mêmes !

Une conclusion importante s'impose, qui contient en germe *les premiers principes de la T. S. F.* : c'est que les communications par ondes électriques doivent être *possibles* au même degré et presque de la même manière que les communications par ondes lumineuses. La Providence a prodigué dans l'Univers les sources de vibrations lumineuses, Soleil, étoiles, planètes, sans parler des nombreuses sources artificielles que nous fournissent les corps incandescents ; elle nous a également gratifiés d'un *récepteur* merveilleux, l'œil humain, qui est le siège chez l'homme et les animaux de la sensation de la vision. Pour produire des effets analogues avec les ondes électriques et par les mêmes moyens de transmission, — et alors tout le mystère de la télégraphie sans fil est en quelque sorte expliqué, — que faudra-t-il donc ? Il faudra d'abord créer des centres d'émission, des sources de vibrations électriques jouant le rôle des corps lumineux. L'excitateur de Hertz est le premier en date, et, de nos jours, par une suite d'inventions et de perfectionnements de toutes sortes, on lance dans l'espace des ondes d'une puissance incomparable avec des bobines d'induction et des condensateurs, avec des lampes à arc, avec des lampes à trois

électrodes, avec des alternateurs spéciaux dont les oscillations traversent les océans, contournent les montagnes et encerclent le monde.

Que faut-il encore? Les ondes électriques, à cause de leur trop grande longueur, n'agissent pas sur l'œil et ne sont pas visibles. Il fallait donc trouver un *récepteur* particulier, capable de rendre sensible l'action des ondes d'une manière déterminée, il fallait trouver l'*œil électrique*, si l'on peut parler ainsi, analogue à l'œil humain, le récepteur des ondes lumineuses.

En 1890, le Dr Édouard Branly, membre de l'Institut de France et professeur à l'Institut catholique de Paris, annonçait au monde savant l'invention du *radioconducteur*, l'organe, l'*œil électrique* cherché, permettant à une pile locale d'agir sur un galvanomètre ou sur une cloche électrique.

La télégraphie sans fil était trouvée !

Sans doute, le tube de Branly est remplacé de nos jours par des récepteurs plus sensibles et plus commodes. Mais il sera toujours vrai de dire que Branly, le premier, a ouvert cette voie nouvelle extrêmement féconde, suivie dans tous les pays par des milliers de chercheurs, et qui a abouti aux merveilleux résultats qu'on ne se lasse pas d'admirer de nos jours. Il est le pionnier, l'initia-

teur dont le nom doit être cité en premier lieu, puisque, tout le monde le sait, c'est en utilisant le radio conducteur Branly et les antennes de Popoff que Marconi a rendu perceptibles les premiers signaux entre la France et l'Angleterre. Sans sa découverte, on ne parlerait peut-être pas encore de télégraphie sans fil ; c'est pourquoi il convient, dans l'historique de la question, de ne pas *oublier*, comme cela est arrivé à un journal anglais de Québec, ce nom désormais fameux et si glorieux pour la science française.

*

* *

TÉLÉGRAPHIE SANS FIL

Dans tout système de communication à distance, il faut deux postes, l'un, le poste d'*émission* qui engendre et *émet* les signaux, l'autre, le poste de *réception* qui les *reçoit* et les rend sensibles d'une manière déterminée. Il faudra donc, au premier poste d'une installation de télégraphie sans fil, des appareils spéciaux pouvant *produire* des vibrations électriques; il faudra, d'autre part, à la station de réception, un *détecteur* qui permette de les percevoir.

Mais ici on peut se proposer un double but. Les appareils des postes d'émission et de réception, en ^{un} premier lieu, ne sont destinés qu'aux communications par signaux analogues à ceux que l'on emploie dans la télégraphie ordinaire, c'est-à-dire des combinaisons de longues et de brèves comprises seulement par les télégraphistes bien entraînés : c'est la *télégraphie sans fil* proprement dite. Si, en second lieu, l'on veut transmettre les sons musicaux et la parole articulée, on fait de la *téléphonie sans fil*, du *radio*, suivant l'expression courante.

Nous commencerons par l'étude de la *télégraphie sans fil*, la première en date, et dont les développements ont permis la réalisation beaucoup plus délicate de la téléphonie sans fil, toujours sans quitter, bien entendu, la région des *premiers principes*.

*

* * *

I.— LE POSTE D'ÉMISSION

Comment installe-t-on un poste d'émission ?

Pour engendrer des ondes électriques analogues aux ondes lumineuses et les lancer dans l'espace

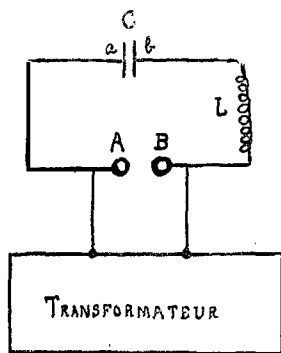
avec la même vitesse, il faut : une source d'énergie électrique, un transformateur de haute tension, un condensateur, un détecteur, une antenne ou fil aérien très élevé et une prise de terre.

Les premières sources d'énergie électrique employées ont été soit une batterie d'accumulateurs, soit une dynamo à courant continu. On élevait la tension du courant direct de cette batterie ou de cette dynamo en le faisant passer dans le circuit primaire d'une bobine d'induction munie d'un interrupteur ; on recueillait alors aux bornes du secondaire de la bobine des courants de haute tension susceptibles de produire des étincelles. Il est plus avantageux d'employer des transformateurs dont le circuit primaire reçoit le courant alternatif de 110 volts, fourni par les secteurs de distribution des villes ; le circuit secondaire, à fil plus long et plus fin, débite alors des courants alternatifs de 15,000, 20,000 ou 25,000 volts, suivant les dimensions de l'appareil.

Mais ces décharges à haute tension ne peuvent produire des ondes électriques que si on les rend oscillatoires au moyen d'un condensateur.

Rappelons qu'un condensateur est constitué par deux lames ou deux feuilles métalliques séparées par un isolant. Dans la bouteille de

Leyde, le premier type de condensateur en date, les armatures sont des feuilles d'étain, collées à l'extérieur et à l'intérieur de la bouteille, et le verre de celle-ci les isole l'une de l'autre. Pour obtenir une grande capacité, on associe ensemble un grand nombre de ces bouteilles, ou bien on empile des lames d'étain séparées par des feuilles de papier paraffiné.



(fig 1)

Si l'on relie les lames du condensateur aux bornes du secondaire d'un transformateur, l'électricité s'accumule, se *condense* pour ainsi dire sur les conducteurs et la tension des charges en présence s'élève considérablement. La décharge

de ce condensateur présente alors un caractère tout particulier : si elle se fait entre deux boules, — c'est l'éclateur, — la quantité d'énergie électrique mise en mouvement est grande, l'étincelle qui jaillit est bruyante, épaisse, mais présente surtout, dans des conditions faciles à réaliser, un caractère nettement oscillatoire ; ce sont de véritables vibrations électriques, analogues aux vibrations lumineuses. L'étincelle, à première vue, paraît unique et semble se faire dans une seule direction. En réalité, elle oscille entre les deux sphères de l'éclateur plusieurs centaines de mille fois par seconde. On s'en rend compte par le fait que l'on trouve après l'expérience, si la décharge se fait entre deux sphères, l'une d'or et l'autre d'argent, des traces d'or sur l'argent et des traces d'argent sur l'or.

Le condensateur joue donc un rôle capital dans la production des vibrations électriques.

Imaginons maintenant un circuit contenant un condensateur C, une bobine de self-induction L (un fil enroulé en spires pressées dont chacune induit sa voisine) et un éclateur dont les boules A et B sont respectivement reliées au secondaire d'un transformateur quelconque, bobine d'induction ou transformateur industriel, pouvant fournir un courant intermittent à haut potentiel (*fig. 1*).

Dès que ce transformateur entre en action, le secondaire produit dans les lames du condensateur une différence de potentiel progressivement croissante, ces lames prennent des charges égales mais de signes contraires, l'une positive, l'autre négative, et cette différence de potentiel existe également avec la même valeur entre les boules de l'éclateur. Il arrivera bientôt un moment où, à raison de la haute tension des charges en regard, le pouvoir isolant de l'air qui sépare les boules sera dépassé ; une étincelle éclate, et celle-ci, par les particules incandescentes dont elle est constituée et par l'échauffement de l'air, rend conducteur le chemin qu'elle a tracé et ferme en quelque sorte le circuit jusqu'alors interrompu. C'est dans ce circuit que se fait la première décharge du condensateur, et il n'y en aurait, à peu de chose près, qu'une seule et dans un seul sens si elle ne traversait pas la bobine de self-induction intercalée dans le circuit. Cette bobine présente une inertie électrique analogue à celle des corps matériels pesants ; le courant qui tend à circuler dans ses spires ne s'établit pas instantanément, et il en résulte une accumulation d'énergie électrique qui, une fois libérée, s'écoule dans le circuit, prolonge la durée du premier courant et en produit un nouveau de

même sens que le premier. Ce courant recharge le condensateur en sens inverse de la première charge, une nouvelle décharge, prolongée par la self-induction de la bobine et de sens contraire à la première, se fait dans le circuit et ainsi de suite, jusqu'à épuisement complet de l'énergie électrique.

Il se forme donc dans le circuit une suite de courants alternatifs de haute fréquence, de véritables vibrations ou oscillations électriques : on a alors réalisé ce qu'on appelle un *circuit oscillant* qui peut rayonner de l'énergie sous forme d'ondes électriques.

Supposons que l'étincelle de l'éclateur engendre un million de vibrations par seconde, ce qui n'est pas exagéré en radiotélégraphie : ce nombre d'oscillations s'appelle la *fréquence*. On désigne sous le nom de *période* des oscillations la durée d'une oscillation complète ; dans ce cas, la période est de 1 millionième de seconde.

Le calcul fait voir que la fréquence d'un circuit oscillant est inversement proportionnelle à la racine carrée du produit de la capacité par la self-induction, tandis que la période de ce même circuit est directement proportionnelle à ce même produit⁽¹⁾.

(1) Nous avons donné ces détails techniques pour le bénéfice de nos lecteurs qui ont une connaissance assez étendue des principaux phénomènes électriques.

En résumé, tout circuit présentant de la capacité (condensateur) et de la self-induction (bobine de self) est le siège d'oscillations électriques et s'appelle un circuit oscillant.

Les vibrations produites par les étincelles s'amortissent rapidement, c'est-à-dire que l'amplitude décroît très vite depuis la valeur maximum jusqu'à zéro. Il arrive souvent qu'il n'y en a que deux ou trois. Il faut alors une nouvelle étincelle pour donner naissance à un nouveau groupe. S'il y a, par exemple, mille étincelles par seconde, on aura mille groupes de deux ou trois vibrations, séparés par un intervalle de temps incomparablement plus grand que la durée d'un groupe. Ces groupes de vibrations qui se suivent à la même vitesse s'appellent des *trains d'ondes*. S'il y a mille étincelles par seconde, elles déterminent mille trains d'ondes qui, agissant à distance sur un téléphone, provoqueront mille fléchissements de la membrane élastique, par conséquent, un son perceptible à l'oreille.

On donne le nom d'émission à *étincelles rares* celle qui ne comprend qu'une cinquantaine d'étincelles par seconde. Comme le nombre de vibrations de la membrane téléphonique est égal à celui des étincelles, l'effet produit ressemble à un roulement de tambour, désagréable à l'oreille. On

obtient, par contre, une véritable note musicale, si le nombre des vibrations atteint cinq cents par seconde et mieux encore un nombre plus élevé, mille par exemple, parce que les sons aigus sont mieux perçus que les sons graves. On a alors ce qu'on a appelé des *étincelles musicales* ; elles sont beaucoup moins amorties que les étincelles rares, et elles permettent, en outre, de distinguer facilement, aux postes de réception, les différentes stations d'émission les unes des autres, parce que, dans la pratique, chaque poste est caractérisé par une note musicale déterminée. Ajoutons également que les notes musicales ne sauraient être confondues avec les crépitements causés par l'électricité atmosphérique, les *statics*, comme les appellent les Anglais, les *atmosphériques*, comme on dit maintenant en France.

Pour obtenir des étincelles nombreuses présentant un caractère nettement musical, on se sert d'un plateau ou d'un disque muni d'un grand nombre de plots métalliques qu'on fait tourner très rapidement, au moyen d'un moteur électrique, entre les tiges conductrices de l'éclateur. A chaque plot qui passe, il jaillit une étincelle et le nombre de celles-ci, par suite la note musicale qui prend naissance, peut être déterminé exacte-

ment en faisant varier convenablement la vitesse du plateau.

Le circuit oscillant que nous avons étudié plus haut aurait, à lui seul, une puissance de rayonnement très limitée et ferait à peine sentir son effet dans son voisinage immédiat. Pour produire des ondes électriques qui puissent se propager à une grande distance, il faut lui associer un nouvel organe essentiel. Cet organe, c'est l'*antenne*.

L'antenne, dans sa forme la plus simple, est un fil vertical de cuivre, fixé, par sa partie supérieure, à un mât ou une tour élevée, et dont l'extrémité inférieure est reliée à l'une des bornes de l'éclateur. L'autre borne communique métalliquement avec le sol : c'est la *prise de terre*. Dans ces conditions, les vibrations du circuit se transmettent à l'antenne, et celle-ci, se substituant pour ainsi dire au circuit oscillant, devient un centre de rayonnement d'ondes électromagnétiques. Elle sera d'autant plus effective qu'elle sera plus haute, parce que, dès lors, elle agit sur l'éther par une plus grande surface. Vraisemblablement, les ondes sont rayonnées horizontalement sous formes de cercles concentriques dont l'antenne occupe le centre. On admet qu'une antenne verticale constituée par un seul fil vibre

en *quart d'onde*, c'est-à-dire que l'onde qu'elle irradie est d'une longueur égale à quatre fois la longueur de l'antenne: c'est le cas, en Acoustique, des tuyaux fermés.

Comme les grandes ondes se propagent mieux que les courtes, parce qu'elles contournent plus facilement les nombreux obstacles que présentent les reliefs du sol, il y aura avantage, du moins pour les postes importants d'émission, d'employer des antennes très hautes, très longues et à grand développement, de façon à réaliser une grande surface de rayonnement ⁽¹⁾.

On emploie, dans la pratique, les formes d'antennes les plus diverses. Comme l'antenne unifilaire qui vient d'être décrite possède une puissance de radiation très faible, on se sert plutôt d'antennes à plusieurs fils, soit horizontaux, soit inclinés sur l'horizon. On construit, en plus, des antennes en forme de pyramide renversée dont les quatre angles de la base sont supportés par de longs pylônes métalliques, comme celle de Glace Bay, Cap Breton, des antennes en forme de parapluie, d'éventail, de rideau, ou encore de nap-

(1) De nos jours, malgré ces vues des électriciens du temps, l'usage des ondes courtes se généralise de plus en plus; elles franchissent de très longues distances avec beaucoup moins d'énergie électrique que les longues ondes.

pe horizontale contenant un grand nombre de fils de plusieurs centaines de mètres de longueur et supportés par des tours très élevées : telles sont les antennes de la grande station Lafayette, près de Bordeaux, et de Sainte-Assise, près de Paris.

Nous avons nommé plus haut la *prise de terre* : sa fonction très importante est de servir de contre-poids à l'antenne et son installation doit être très soignée. Pour avoir une *bonne terre*, il faut un fil conducteur en contact parfait avec les substances conductrices du sol, par exemple, une canalisation d'eau, ou une nappe d'eau souterraine. La terre proprement dite est quelquefois remplacée par une capacité ou un réseau de fils. Dans les transatlantiques, c'est la masse même du navire qui joue le rôle de la terre ; il en est de même dans les dirigeables et les aéroplanes.

*

* *

Le poste d'émission dont nous venons de parler, appelé poste à étincelles, présente de nombreux défauts, dont le principal est l'amortissement très rapide des oscillations dû en grande partie à la résistance de l'étincelle. Ces émissions d'ondes

par étincelles utilisent très mal l'énergie électrique fournie à l'oscillateur. Il ne faut pas oublier, en effet, que l'antenne dont est muni tout poste de réception ne subit d'impulsion que des trains d'ondes lancés par le poste d'émission, et l'on sait que leur durée est beaucoup plus courte que celle qui sépare deux trains d'ondes consécutifs. L'antenne de réception ne reçoit donc de l'énergie électrique que pendant une petite fraction de seconde, par rapport à la durée du passage de tous les trains.

On a alors songé à supprimer l'amortissement, c'est-à-dire à remplacer les ondes amorties par des ondes *entretenues*, d'amplitude constante, les C. W. des Anglais. On aurait alors un meilleur rendement, une bien meilleure utilisation de l'énergie électrique fournie.

Deux solutions ont été réalisées et ont produit tous les effets désirés, la première au moyen de l'arc électrique, l'autre par l'emploi d'alternateurs à haute fréquence.

On sait que si l'on intercale, dans le circuit d'un arc électrique alimenté par une source de courant continu, des selfs et un condensateur, l'arc voltaïque fait entendre un son musical correspondant à de très rapides vibrations : c'est l'*arc chantant* de Duddell. Mais cet arc produit

également des vibrations électriques entretenues dont la fréquence est fonction de la self-induction et de la capacité du circuit. Voilà donc une source d'ondes continues sans amortissement et dont la fréquence, du moins dans l'arc de Duddell, peut atteindre trente mille vibrations par seconde. Le professeur Poulsen, de Copenhague, a élevé la fréquence jusqu'à cinq cent mille vibrations par seconde, en faisant jaillir l'arc dans une atmosphère d'hydrogène et d'hydrocarbures.

Pour l'émission des signaux, on ne peut pas intercaler un interrupteur dans le circuit de l'arc, parce que celui-ci, une fois éteint, ne peut pas se rallumer de lui-même. On produit les signaux de l'alphabet Morse en modifiant, au moyen de bobines additionnelles, les vibrations de l'antenne.

Une deuxième solution consiste à employer des alternateurs qui donnent directement des courants alternatifs de haute fréquence. Les machines ordinaires, de fréquence de cinquante à cent alternances par seconde, sont faciles à construire. Pour obtenir de véritables vibrations électriques, il faut multiplier les pôles et augmenter la vitesse de rotation. Dans le cas des grandes vitesses, on est vite arrêté par la force centrifuge qui devient considérable et par des difficultés toutes particulières de construction.

A force d'ingéniosité, on est parvenu à vaincre en grande partie toutes les difficultés. Alexander a réalisé des fréquences de deux cent mille vibrations par seconde. Citons aussi les alternateurs de Béthenod, en France, et, les plus parfaits de tous, ceux de l'ingénieur Goldschmidt.

Les postes d'émission qui se servent de ces machines sont dits postes à *générateurs*. Le manipulateur peut directement lancer ou intercepter les ondes suivant les combinaisons des signaux Morse. Plusieurs postes importants de télégraphie sans fil emploient ces générateurs qui donnent une belle note musicale. Telles sont les stations de New-Brunswick et d'Annapolis, aux États-Unis.

Nous dirons plus loin comment ces vibrations, trop nombreuses pour être reçues par la membrane d'un téléphone, sont rendues *audibles* au moyen d'un dispositif particulier appelé hétérodyne.

*

* *

II.— LES POSTES DE RÉCEPTION

Les organes essentiels d'un poste de réception sont une *antenne* à peu près semblable à celles des

stations d'émission et chargée de capter les ondes, un *détecteur* qui les perçoit et d'autres organes d'accord dont nous parlerons bientôt.

Le détecteur est l'*œil électrique* : c'est lui qui rend les signaux sensibles et permet de les déchiffrer.

Le premier détecteur en date est le radioconducteur Branly, appelé aussi cohéreur, dont nous dirons quelques mots, bien qu'il ne soit plus employé de nos jours, à cause de son grand intérêt historique et parce qu'il a été le point de départ de tous les développements de la télégraphie sans fil.

Il est fondé sur la conductibilité variable des limailles métalliques.

Imaginons un peu de limaille d'argent ou de nickel, placée sous une certaine pression entre deux tiges à pistons, le tout dans un petit tube isolant : c'est ce qu'on appelle quelquefois le *tube de Branly* ou *tube à limaille*. Le docteur Édouard Branly, professeur de Physique à l'Institut catholique de Paris, a découvert, en 1890, que les quelques grains de limaille d'un tube intercalé dans un circuit contenant une pile et un galvanomètre ou une cloche électrique, opposent au passage du courant une résistance considérable : la limaille est en quelque sorte non conductrice,

le galvanomètre reste au zéro ou la cloche demeure silencieuse. Mais si dans le voisinage on fait éclater une étincelle lançant dans l'espace des ondes électriques, le galvanomètre indique immédiatement une déviation ou la cloche résonne, ce qui montre que la limaille, comme si elle était devenue brusquement conductrice, a livré passage au courant de la pile. C'est pour cette raison que le docteur Branly a donné au tube le nom de *radioconducteur*, faisant entendre par là, quelle que soit la théorie que l'on adopte à ce sujet, que la limaille se comporte comme un corps conducteur sous l'influence des *radiations* électriques. Le même savant a reconnu, en plus, qu'un léger choc ramène le tube à son état primitif de résistance, de sorte qu'il peut fonctionner de nouveau à l'arrivée de nouvelles ondes.

Dans la pratique, le récepteur Branly se compose de deux circuits distincts : le premier ne contient que le radioconducteur, une pile à bas voltage et un relais très sensible ; le deuxième, dont les extrémités sont branchées aux bornes du relais, comprend une pile plus forte, un électro-aimant frappeur pour décoherer la limaille après chaque réception des ondes, et un récepteur Morse ordinaire, semblable à ceux que l'on emploie dans la télégraphie avec fil. Les ondes électriques, en

agissant sur le radioconducteur, permettent au courant de la pile de fermer le deuxième circuit par le fonctionnement du relais ; la deuxième pile de ce circuit entre alors en action et fait résonner une cloche électrique ou met en mouvement le Morse et le marteau frappeur.

Il est important de faire remarquer que la deuxième pile, suffisante pour actionner un Morse ordinaire et l'électro-aimant frappeur, peut être remplacée par une source plus importante de courant, une dynamo, par exemple, et que le courant de celle-ci, à la fermeture du relais, peut allumer des lampes électriques, faire tourner des moteurs, etc., en un mot, produire tous les effets variés des forts courants, et cela, à distance, au moment précis voulu par l'expérimentateur : c'est le principe de la *télémechanique*, si brillamment appliqué dans les mémorables expériences du docteur Branly.

Voilà le premier *détecteur* d'ondes, le premier récepteur de signaux électriques sans fil conducteur, et c'est cette merveilleuse découverte qui fut le début d'une ère nouvelle, le premier pas de tous les développements en T. S. F. que nous admirons aujourd'hui.

Nous avons déjà signalé le fait, quelques pages plus haut, que le physicien russe Popoff fut

le premier qui imagina d'associer un fil aérien, la *première antenne*, à un radioconducteur Branly pour l'étude de l'électricité atmosphérique, et que Marconi se servit de l'antenne et du tube à limaille pour réaliser les premières communications entre la France et l'Angleterre. N'oublions pas non plus que, à partir de 1890, le détecteur à limaille fut le *seul* employé pendant au delà de douze ans. Nous ne saurions trop le répéter, il est regrettable que, malgré l'évidence de ces faits, l'on semble encore s'obstiner, dans certains quartiers, à passer sous silence le nom de Branly, dans l'historique de cette grande invention de la télégraphie sans fil.

La découverte de Branly est donc entrée dans la pratique courante lorsqu'on eut l'idée d'intercaler un tube à limaille dans un circuit antenne-terre. Les meilleurs postes de ce genre ont établi des communications, en mer entre navires et avec les stations côtières, à des distances pouvant aller jusqu'à trois cents à quatre cents kilomètres.

Ajoutons que ces postes permettent l'inscription des dépêches sur bandes de papier, comme dans les appareils de télégraphie ordinaire ; ils permettent également les *appels* par cloches électriques, ce qui dispense l'opérateur de demeurer

rer continuellement à son poste, jour et nuit, le casque téléphonique sur la tête.

Malgré ces avantages incontestables, les récepteurs Branly ont été remplacés par de nouveaux *détecteurs d'ondes*, de plus grande sensibilité et de plus grande portée.

Nous laisserons de côté le *détecteur électrolytique* du commandant Ferrié, longtemps en usage à la station de la Tour Eiffel, à Paris, dont le principe repose sur la polarisation d'électrodes dissemblables dans de l'eau acidulée. Nous omettrons de même le *détecteur magnétique* de Marconi, fondé sur la curieuse propriété des ondes électriques de détruire l'hystérésis de l'acier.

Nous nous bornerons à décrire sommairement le *détecteur à cristaux*, dont on se sert encore dans de nombreux postes d'amateurs.

Il se compose d'un morceau de cristal, surtout de galène (sulfure de plomb), sur lequel appuie légèrement une fine pointe métallique ; on emploie aussi le contact d'un minéral et d'une matière semi-conductrice, et même le contact de deux cristaux. Lorsque ce système est placé avec un téléphone dans le circuit antenne-terre, la pointe métallique communiquant avec l'antenne et le cristal avec la terre, l'expérience démontre que ce contact ne laisse passer que les *phases*

positives des courants alternatifs qui constituent les ondes électriques à haute fréquence, et arrête complètement les *alternances négatives*. Les ondes électriques sont *rectifiées* par l'action du détecteur, et l'effet produit est une suite de pulsations de même sens qui font vibrer la membrane du téléphone. On entend alors une suite de sons de longueurs variables conformément à l'alphabet Morse et la réception se fait *au son* comme avec un *parleur* ordinaire.

Ce détecteur, qui fonctionne sans pile, est d'une extrême sensibilité, mais il exige de fréquents réglages.

Le meilleur de tous, presque exclusivement employé de nos jours, tant en radiotélégraphie qu'en radiotéléphonie, même dans les stations les plus modestes d'amateurs, est sans contredit la *lampe à trois électrodes* ou l'*audion* de Lee de Forest. Nous traiterons de cette fameuse lampe lorsqu'il s'agira de la réception des ondes entretenues et surtout au chapitre de la transmission de la parole humaine et des sons musicaux, c'est-à-dire de la *téléphonie sans fil*. Pour le moment, étudions quelque peu les phénomènes de résonance, de syntonie et l'accord des circuits et des postes.

III.— RÉSONANCE ÉLECTRIQUE

Aux deux stations d'émission et de réception, nous avons insisté sur la nécessité qu'il y a de dresser dans les airs des fils très longs, de formes et de dispositions variées, qu'on appelle des antennes. L'antenne du premier poste est loin de jouer un rôle purement passif ; elle se comporte comme un centre d'émission d'ondes électriques. Elle rayonne dans l'espace, comme une corde sonore ébranlée, des vibrations dont le nombre, par suite la longueur d'onde(1), dépend de ses dimensions. La longueur d'onde est égale, avons-nous dit, à quatre fois la longueur de l'antenne.

Au poste de réception, l'antenne, du moins ordinairement, n'est pas moins nécessaire. Elle capte les ondes lancées par le poste d'émission ; elle entre elle-même en vibrations et celles-ci, redressées par le détecteur, mettent le téléphone en action.

Les choses se passent de la même façon, et avec la plus saisissante des analogies, qu'entre deux cordes sonores : les vibrations de l'une font vibrer

(1) Rappelons que la longueur d'onde est l'espace parcouru par la perturbation électrique pendant la durée d'une vibration ; plus les vibrations sont nombreuses par seconde, plus les ondes sont courtes, et inversement.

l'autre à une certaine distance, pourvu que toutes deux donnent une note musicale de la même hauteur.

Mais alors, à ce titre, les communications par ondes électriques se trouvent singulièrement limitées. Il faudrait que les antennes en opération aux deux postes aient même période de vibration, par suite, même longueur. Si l'on veut, par exemple, entendre les signaux de la grande station d'Arlington, il faudrait des tours aussi élevées et des fils aussi longs que ceux de cette dernière, et l'on sait que peu de gens peuvent se payer le luxe d'une pareille installation dans le voisinage de leur demeure.

Il faut donc trouver le moyen de recevoir les signaux des grandes stations avec de petites antennes, ou inversement ; il est également désirable que l'on puisse faire un choix, un triage entre les ondes de différentes longueurs, de façon à recevoir les unes à l'exclusion des autres : c'est le problème de la *syntonie* ou de l'accord entre les stations, problème à peu près complètement résolu de nos jours et que nous allons étudier. Mais auparavant, nous demandons à nos lecteurs la permission de faire une petite digression que nous jugeons indispensable et de dire quelques mots, en matière d'introduction à la syntonie, d'un

phénomène capital en radiotélégraphie : nous voulons parler de la *résonance électrique*.

Il peut paraître curieux que l'on emploie ce terme en électricité, puisque les circuits oscillants sont absolument silencieux ; mais ils présentent une telle analogie avec certains phénomènes acoustiques, la comparaison est si frappante que la dénomination de résonance leur est justement appliquée.

Nous avons déjà étudié la résonance musicale dans la première série de nos *Propos scientifiques*, page 65, et nous disions que c'est le phénomène par lequel un corps sonore quelconque se met à vibrer par *influence* quand le son qu'il peut rendre lui-même est émis dans le voisinage. Un diapason, par exemple, qui exécute le même nombre de vibrations qu'un tuyau donné, fait vibrer ce dernier lorsqu'on l'approche de sa bouche. Mieux encore, plaçons-nous devant un piano ouvert, dont on a soulevé la pédale, et chantons à proximité de toutes les cordes libres une note musicale quelconque. Aussitôt, et avec un succès qui surprend à la première expérience, la corde qui donne la même note entre en vibrations et prolonge par résonance le son émis. Si, en particulier, on prononce, sur un ton de hauteur déterminé, la voyelle A, le piano répète A sur le même ton,

parce que tous les harmoniques constitutifs de cette voyelle ébranlent et font vibrer les cordes correspondantes.

Les autres phénomènes vibratoires peuvent offrir des exemples analogues de résonance, particulièrement en Mécanique.

L'on sait qu'un pendule, une masse pesante suspendue à un fil dont l'autre extrémité peut osciller autour d'un point fixe, présente une fréquence propre d'oscillations qui dépend de sa longueur. Si, dès lors, on imprime à ce pendule une suite de chocs périodiques de *fréquence égale* à celle du pendule, chaque impulsion s'ajoute à la précédente et dans le même sens, et l'on obtient bientôt une amplitude d'oscillations considérable, même avec des chocs initiaux très légers : il y a *résonance* entre les deux séries de mouvements, celui du pendule et celui que les chocs ont imprimé.

Il est certaines circonstances particulières où il est nécessaire d'en tenir compte. C'est ainsi qu'un bataillon qui passe sur un pont métallique au pas cadencé peut provoquer des oscillations dangereuses pouvant aller jusqu'à la rupture, si la cadence du pas a la même fréquence que celle du pont. Un commandant bien avisé doit alors se hâter de faire rompre le pas. On a prétendu,— et cette opinion n'est peut-être pas exagérée,—

que le poids d'un seul homme, qui imprimerait au pont de Brooklyn des impulsions rythmées de même fréquence que celle du tablier métallique, augmenterait l'amplitude des mouvements à un degré suffisant pour rompre les fils de suspension.

Appliquons maintenant ces principes aux circuits électriques oscillants. Puisque ceux-ci sont le siège de véritables vibrations, rien de surprenant si on y rencontre des effets de résonance, par lesquels on augmente considérablement l'amplitude des oscillations.

Considérons deux circuits pouvant agir l'un sur l'autre par induction, par exemple deux bobines que l'on peut plus ou moins rapprocher ou dont l'une peut entrer plus ou moins dans l'autre. Si alors on fournit un courant à l'un de ces circuits (celui d'un transformateur, v. g.), et si les fréquences propres des deux circuits sont égales ou très voisines, on constate alors que le courant du deuxième circuit augmente dans des proportions extraordinaires, ce qui est rendu sensible par la déviation d'un ampèremètre. Les deux circuits sont en *résonance*, et l'effet produit est incomparablement plus grand que si les fréquences eussent été différentes: on a réalisé la *syntonie*, les deux circuits sont *accordés*.

On voit toute l'importance d'une pareille disposition et nous avons maintenant en notre possession tous les éléments nécessaires pour faire très facilement comprendre le principe de la *syntonie*.

IV.— LA SYNTONIE

Nous avons dit plus haut en quoi consiste le problème de la syntonie. Il s'agit simplement d'*accorder* des postes de dimensions fort différentes de façon qu'il soit possible de recevoir, avec une même antenne, non seulement des ondes de longueurs variées, mais encore de faire un triage dans la complexité extrême des vibrations qui passent et d'éliminer les postes gênants pour mieux entendre ceux qui nous intéressent au moment voulu.

C'est par la résonance électrique que l'on a obtenu un si beau résultat, et si la syntonie, dans la pratique courante, n'a pas encore toute la perfection désirable, on peut affirmer du moins qu'elle a été la cause de grands progrès dans le régime des communications et qu'elle en a augmenté dans une large mesure la portée.

La syntonie comprend deux opérations importantes : accorder ensemble, d'une part, deux stations éloignées présentant des caractéristiques

vibratoires fort différentes, puis, d'autre part, syntoniser également dans l'intérieur d'un même poste les circuits qui le constituent.

Dans les premiers postes de télégraphie sans fil, on intercalait directement l'éclateur dans le circuit antenne-terre, ce qui avait le grave inconvénient de produire un amortissement considé-

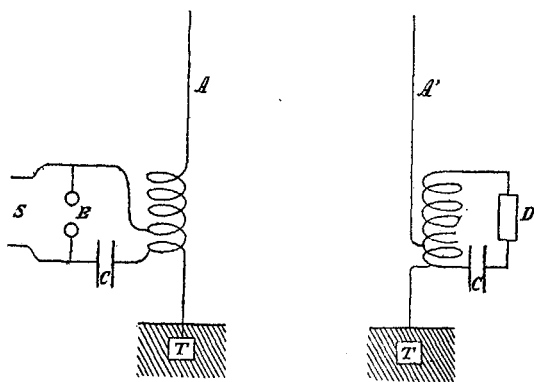


FIG. 2

nable ; au poste de réception, on plaçait également le détecteur en série dans l'antenne.

On a modifié très heureusement les installations primitives par l'emploi des systèmes d'émission et de réception *indirectes*, soit par *dérivation*, soit par *induction*.

La figure 2 représente le montage employé dans le système à dérivation: c'est ce qu'on appelle quelquefois un *circuit simple* ou le montage en *Oudin*.

L'antenne de transmission A est reliée directement à la terre T par un solénoïde, une self, constituant un circuit *ouvert*; le circuit *fermé* de l'éclateur E contient un condensateur C et quelques spires du même solénoïde dont on fait varier le nombre à volonté par un curseur mobile. Pour obtenir le maximum d'amplitude vibratoire, il faut que les deux circuits soient en *résonance*, c'est-à-dire aient des fréquences de vibrations les plus voisines possibles. On les accorde alors au moyen de bobines de self et de condensateurs, non représentés dans la figure; en effet, comme nous l'avons déjà dit, le nombre de vibrations d'un circuit oscillant dépend des valeurs relatives de la self-induction et de la capacité. Au poste de réception, l'antenne A' est reliée à la terre T par quelques spires d'une bobine semblable à celle de l'autre poste, et le circuit fermé comprend toutes les spires et le détecteur D. On accorde ces deux circuits de la même manière et par les mêmes moyens qu'au poste d'émission.

Dans le système par induction,— c'est le *montage en Tesla*,— l'éclateur E (fig. 3) du poste d'émission est dans le circuit primaire d'un transformateur dont le secondaire est intercalé dans le circuit antenne-terre. Au poste de réception, par une disposition analogue, le détecteur D fait partie du circuit secondaire d'un Tesla dont le primaire communique, d'une part, avec l'antenne A' et, d'autre part, avec la terre T.

Une fois la résonance obtenue dans chacun des deux postes, il ne reste plus qu'à les accorder entre eux. Il n'est donc pas nécessaire de rallonger ou de raccourcir l'antenne d'un poste de réception pour lui donner la même longueur que celles d'où viennent les ondes, ce qui serait fort peu commode et pratiquement impossible ; on arrive au même résultat en faisant varier, par l'emploi de bobines d'induction et de condensateurs, la self-induction et la capacité.

Est-ce à dire pour cela qu'on obtiendra par la syntonie le secret des communications et qu'un poste peut lancer des signaux qu'une seule station déterminée pourra entendre, à l'exclusion de toutes les autres ? Malheureusement, il n'en est rien, parce que tout poste peut toujours s'accorder sur toutes les longueurs d'ondes et recevoir des

dépêches qui ne lui sont pas destinées. C'est ainsi que, pendant la Grande Guerre, la station de la Tour Eiffel entendait couramment les conversations secrètes des sous-marins allemands avec les postes de leurs ports d'attache. La syntonie

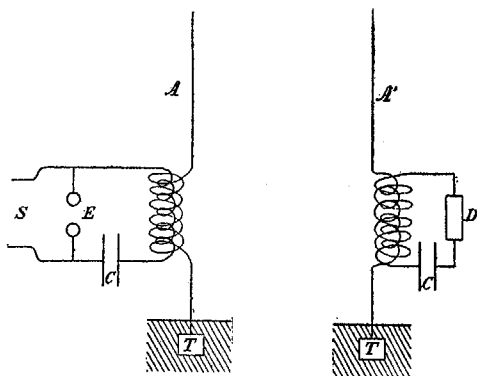


FIG. 3

a donc le défaut de ses qualités ; si elle permet d'augmenter beaucoup la portée des communications, si elle fait taire un poste gênant et manifeste une préférence marquée pour d'autres, il faut avouer que, grâce à elle, la télégraphie sans fil manque absolument de discrétion. Il est vrai que l'on peut recourir aux codes secrets ; mais

le remède est loin d'être efficace, parce que, paraît-il, il n'est pas de cryptogrammes, si compliqués qu'ils soient, qu'un habile expert ne puisse déchiffrer.

Nous dirons plus loin quelles sont les formes diverses de bobines d'accord et de condensateurs que l'on emploie dans la pratique de la radiotélégraphie et de la radiotéléphonie.

Ajoutons, pour terminer ce sujet, qu'on obtiendrait un plus grand secret dans les communications, si l'on pouvait lancer les ondes électriques dans une direction déterminée, comme l'on dirige les ondes lumineuses au moyen de miroirs courbes. L'expérience a déjà été tentée, en particulier par Marconi, et les résultats obtenus, bien que non décisifs, n'en sont pas moins encourageants.

En premier lieu, il faut renoncer à l'emploi de miroirs, comme en Optique, à cause des effets considérables de *diffraction* des ondes électriques. On sait qu'on appelle *diffraction* cette propriété qu'ont les ondes de contourner les obstacles, et cet effet augmente avec la longueur d'onde de la source considérée. Il est déjà très marqué pour les ondes sonores dont les longueurs varient entre quelques fractions de pouce et une trentaine de pieds. On constate tous les jours que deux personnes, séparées par un obstacle pas trop développé,

peuvent converser ensemble avec la plus grande facilité. La diffraction est encore beaucoup plus importante pour les ondes électriques, puisque les longueurs des ondes employées en télégraphie et en téléphonie sans fil s'étendent depuis cinquante mètres jusqu'à vingt-cinq mille mètres. C'est cette particularité qui fait que ces ondes contournent les collines et franchissent l'énorme distance qui sépare l'Europe de l'Amérique, malgré la courbure des mers, laquelle est comparable à une masse d'eau haute de quatre cents kilomètres.

Pour les ondes lumineuses, la diffraction existe également, mais elle est ordinairement insensible, et l'on ne peut la constater qu'avec des instruments très délicats. Si ces ondes donnent des ombres nettes sans diffraction apparente, cela tient à leur longueur qui est extrêmement petite : elle se mesure en *microns*, c'est-à-dire en *millièmes de millimètre*. C'est pour cela que l'on peut les recevoir sur des surfaces réfléchissantes à dimensions restreintes et les diriger dans une seule direction sous forme de rayons parallèles entre eux, comme on le fait avec les projecteurs des locomotives et des phares.

Si l'on voulait imiter ces phénomènes de réflexion avec les ondes électriques, il faudrait donner aux

diamètres des miroirs des centaines de milles de longueur. Il ne faut donc pas y songer.

Cela ne veut pas dire que les ondes électriques ne puissent pas se réfléchir. L'expérience prouve, au contraire, qu'elles ne traversent pas les surfaces métalliques conductrices et que celles-ci les réfléchissent comme de véritables miroirs, tandis que les corps mauvais conducteurs, les cloisons de bois, les murs de pierres, les carreaux des fenêtres, leur livrent passage, comme les corps transparents pour la lumière.

On a trouvé une autre solution de ce problème de la direction des ondes dans une disposition particulière des antennes. L'expérience, en effet, a fait voir que, si l'on installe une antenne horizontale à quelque distance du sol, et que l'on place un éclateur à l'une de ses extrémités, les ondes rayonnées ont une *direction* privilégiée qui est celle même suivant laquelle le fil est orienté, de l'extrémité libre vers celle où se trouve l'éclateur, tandis que le rayonnement est minimum dans une direction perpendiculaire. Les deux puissantes stations de la Compagnie Marconi, installées en 1907, l'une à Glace Bay, Cap Breton, et l'autre à Clifden, Irlande, en vue de communications océaniques, ont été disposées de manière

à diriger les ondes dans une direction déterminée.

Les antennes, opposées exactement l'une à l'autre, se composent d'un grand nombre de fils horizontaux de trois cents mètres de longueur et situés à soixante-dix mètres de hauteur au-dessus du sol. La solution du problème de la direction n'est certainement pas complète par ce moyen, mais il y a amélioration notable, ce qui est loin d'être négligeable.

*

* *

V.— LA LAMPE À TROIS ÉLECTRODES

C'est avec intention que nous avons omis plus haut, au chapitre des détecteurs d'ondes, la lampe à trois électrodes ou l'audion, le meilleur de tous, parce qu'à son étude se rattache celle de la réception des ondes entretenues et surtout parce qu'elle est l'organe essentiel de la téléphonie sans fil qui va bientôt occuper notre attention.

Extérieurement, la lampe à trois électrodes ne diffère à peu près pas des lampes électriques ordinaires : dans les deux cas, c'est un globe de verre sphérique ou périforme dans l'intérieur duquel

on a fait un vide très poussé. Les trois électrodes de la lampe sont : le *filament*, la *grille* et la *plaque*. La figure 4 fait voir un modèle d'audion employé en radiotéléphonie. Le filament en tungstène, analogue à ceux des lampes ordinaires, est au

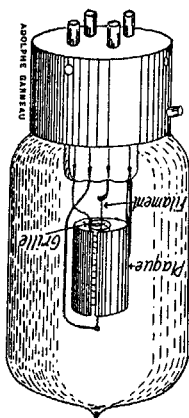


FIG. 4

centre et demande ordinairement un courant de six volts, fourni par une batterie d'accumulateurs (la batterie A), pour s'échauffer au rouge blanc. Autour du filament, on place la *grille*, c'est-à-dire un grillage métallique à mailles plus ou moins serrées, d'où son nom, et qu'on remplace dans la pratique par un fil enroulé en hélice. Enfin, enveloppant les deux premières électrodes, est

disposée la *plaque* sous forme d'un cylindre de nickel ou d'aluminium. Ces trois électrodes communiquent avec l'extérieur par des bornes fixées dans le pied de la lampe. La figure 5 indique comment le filament, la grille et la plaque sont représentés schématiquement en F, G et P.

Voilà ce qui constitue ce merveilleux détecteur d'ondes, d'une géniale simplicité, qui a fait entrer la radiotéléphonie dans le domaine de la pratique courante, avec tout le succès et tout le développement que l'on sait.

Les propriétés de l'audion reposent sur ce qu'on appelle l'*effet Edison*, ou l'effet de soupape que l'illustre inventeur américain a découvert entre deux électrodes, l'une chaude et l'autre froide, dans un milieu à basse pression. Fleming, en Angleterre, utilisant l'effet Edison, construisit un nouveau détecteur d'ondes électromagnétiques connu sous le nom de *valve de Fleming* et qui ne contenait que deux électrodes, le filament et la plaque. Enfin la lampe prit la disposition actuelle lorsque l'ingénieur américain Lee de Forest eut l'idée d'ajouter une troisième électrode, la grille, ce qui réalisa un grand progrès et fut le point de départ des nombreux circuits et montages bien connus des amateurs de T. S. F.

Pour expliquer comment une lampe à trois électrodes peut fonctionner comme *détecteur* d'ondes, il nous faut dire quelques mots de la *théorie des électrons*.

Nous surprendrons peut-être bon nombre de nos lecteurs en leur disant que, suivant les conceptions actuelles des électriciens, les atomes des corps seraient de véritables systèmes planétaires en miniature, analogues à celui dont la Terre fait partie. On sait que le Soleil occupe le centre de notre monde et qu'autour de lui tournent, dans des orbites et avec des vitesses différentes, des planètes en nombre déterminé et suivant des lois bien définies, établies avec infiniment de sagesse par le Créateur. Semblablement, on suppose que l'atome est formé d'un noyau central chargé d'électricité *positive* et qu'autour de lui circulent avec de grandes vitesses des corpuscules d'*électricité négative* qu'on appelle des *électrons*. Le noyau central positif joue donc le rôle du Soleil et les électrons en sont les satellites. On admet également que les électrons ne peuvent sortir de leur orbite et se soustraire à l'influence du noyau central que si les conditions normales de température et d'attraction sont modifiées. C'est ce qui arriverait si, d'une part, les électrons, porteurs d'électricité négative, étaient fortement attirés par une source

extérieure d'électricité positive (deux charges de noms contraires s'attirent), et si, d'autre part, la température, qui a pour effet d'augmenter leur vitesse de gravitation, devenait suffisamment élevée. Or, ces conditions sont précisément réalisées dans une lampe à trois électrodes, lorsque le filament est porté au rouge blanc et que l'on charge la plaque d'électricité *positive*.

Reportons-nous maintenant au montage de la figure 5, et supposons pour un moment qu'il n'y ait dans la lampe que deux électrodes, le filament F et la plaque P. Ces deux électrodes font partie d'un circuit contenant une pile à haut voltage, 40 à 80 volts, un téléphone T et un milliampèremètre. Si le filament est froid, le milliampèremètre n'indique aucune déviation, parce que le courant de la pile ne peut traverser le vide de la lampe: le circuit reste ouvert. Mais si le filament est rendu incandescent par un courant de 4 à 6 volts fourni par un accumulateur, les électrons sont lancés en dehors de leurs orbites, d'autant plus qu'ils sont attirés par la charge positive de la plaque. Ces électrons, dès lors, constituent, comme l'indiquent les flèches de la figure, de véritables ponts conducteurs sur lesquels le courant de plaque traversera la lampe. Le milliampèremètre dévie immédiatement et le téléphone

entre en vibrations. Si la plaque avait été chargée négativement, les électrons négatifs, non attirés, n'auraient pu quitter le filament et le circuit plaque-filament serait resté ouvert. La lampe est donc une soupape, conformément à l'effet Edison, qui ne laisse passer un courant que dans une seule direction.

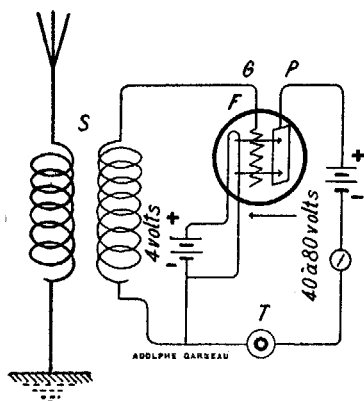


FIG. 5

Considérons maintenant la lampe telle qu'elle est réellement construite, et supposons que la grille G fasse partie d'un circuit couplé à l'antenne par le transformateur S (fig. 5). Les ondes électriques d'un poste éloigné, assimilables à des courants alternatifs de haute fréquence, vont produire des variations dans le potentiel de la

grille ; celle-ci sera tantôt positive, tantôt négative, suivant les alternances qui passent. L'alternance positive, ajoutant son action à celle de la plaque, attirera un plus grand nombre d'électrons du filament et ceux-ci, passant par les mailles de la grille, pourront poursuivre leur chemin jusqu'à la plaque et fermer le circuit : le courant de plaque augmentera alors d'intensité. L'alternance négative, par contre, repoussant les électrons, fera cesser le courant de plaque en coupant le circuit. Le téléphone ne recevra donc le courant de plaque que pendant l'une des alternances des vibrations, et nous aurons une suite d'impulsions toutes de même sens qui en feront vibrer la membrane. On comprend, dès lors, que la lampe constitue un détecteur d'ondes d'une grande sensibilité et qui n'exige aucun réglage.

Une des qualités les plus précieuses de la lampe à trois électrodes est de jouer en outre le rôle d'*amplificateur*.

Nous avons vu que c'est le courant de plaque qui traverse le téléphone et ce courant, fourni par la batterie B d'au moins $22\frac{1}{2}$ volts, possède une énergie beaucoup plus grande que la charge très faible de la grille. Le courant de plaque étant soumis à toutes les variations du potentiel de la grille, il s'en suit que celles-ci seront la cause de

variations beaucoup plus intenses dans le courant de plaque: il y aura donc *amplification*. En résumé, la grille se comporte comme un relais très sensible, sans inertie, et qui laisse passer, dans les conditions plus haut mentionnées, un courant aussi fort que l'on veut.

Dans la pratique, on relie le circuit de plaque d'une première lampe à la grille d'une deuxième et l'on développe alors, dans le circuit de plaque de celle-ci, une amplification considérable, que l'on augmentera encore avec une troisième lampe, comme dans certaines installations.

Les lampes placées comme nous venons de le dire constituent des amplificateurs à *basse fréquence*. On peut aussi amplifier les ondes incidentes avant la détection et l'on a alors l'amplification à *haute fréquence* qui présente l'avantage de donner à des ondes trop faibles l'énergie nécessaire pour agir sur la lampe détectrice. On obtient d'excellents résultats en employant deux ou trois étapes d'amplification à haute fréquence, les ondes sont ensuite détectées puis amplifiées de nouveau à *basse fréquence* par deux ou trois lampes.

Enfin, la lampe n'est pas seulement un détecteur très sensible, mais encore elle peut jouer le

rôle de génératrice d'ondes à *amplitude constante*, c'est-à-dire qu'elle peut émettre, comme l'arc de Poulsen et l'alternateur à haute fréquence, des *ondes entretenues*. En effet, si l'on intercale une lampe dans un circuit oscillant formé d'une self et d'un condensateur, on constate qu'elle *émet* et *entretient* des ondes continues dont la longueur dépend de la self et de la capacité employées. C'est cette propriété capitale qui a permis la réalisation pratique de la téléphonie sans fil. Nous dirons plus loin, lorsque nous traiterons de cette dernière question, quel montage il faut employer pour faire d'une lampe à trois électrodes une *génératrice d'ondes*. Mais actuellement, nous en savons assez pour comprendre comment on utilise cette importante propriété dans la réception des ondes entretenues.

Disons tout de suite que l'on ne peut pas percevoir directement les ondes électromagnétiques avec un téléphone, à cause de leur énorme fréquence qui varie de un million à quinze mille périodes par seconde. Dans ces conditions, l'inertie de la membrane téléphonique et l'impédance des enroulements constituent pour elles un obstacle infranchissable. Mais le téléphone sera traversé par un courant sensiblement continu si on le place à la suite d'un détecteur qui ne laisse passer principa-

lement que les alternances positives des oscillations.

S'il s'agit des ondes amorties, produites par les postes à étincelles, chaque train d'ondes, nous l'avons déjà dit, fléchit la membrane du téléphone et celle-ci donnera un son qui correspond au nombre de trains qui passent par seconde. Mais il n'en est pas de même pour les ondes entretenues. Ici, il n'y a plus de trains d'ondes, ou plutôt il n'y a qu'un seul train, une seule série de vibrations de même amplitude unissant les deux postes en communication. Il en résulte que l'arrivée d'un signal produit un *toc* unique dans le téléphone, il n'y a plus de vibrations et les signaux longs et brefs de l'alphabet Morse ne peuvent plus se distinguer les uns des autres.

Pour recevoir les signaux engendrés par les postes puissants à arc ou à générateur, il faut avoir recours à l'emploi de l'*hétérodyne* (du grec, force étrangère).

VI.— L'HÉTÉRODYNE

L'*hétérodyne* n'est rien autre chose qu'une application des plus ingénieuses du phénomène des battements, bien connu en Acoustique.

En quoi consiste ce phénomène des battements ?

Supposons deux tuyaux d'orgue montés sur une même soufflerie et exécutant chacun 256 vibrations par seconde. Ces deux tuyaux déterminent dans l'air des effets concordants, les ondes condensées de l'un coïncident avec les ondes condensées de l'autre, et il en est de même des ondes dilatées, de sorte que les intensités des deux sons s'ajoutent et l'on a la sensation de l'unisson parfait. Abaissons maintenant le son de l'un des tuyaux, par exemple en approchant le doigt de sa bouche, et admettons que le nombre de ses vibrations soit réduit à 255 par seconde. Il est clair que, dans ces conditions, l'accord ne pourra pas se maintenir ; au bout d'une demi-seconde, le premier tuyau aura exécuté une demi-vibration de plus que l'autre, et leurs phases seront en opposition. L'un produit une onde condensée pendant que l'autre engendre une onde dilatée : il en résulte des effets inverses sur une même masse d'air, celle-ci cesse de vibrer et il y a un instant de silence. C'est ce que les physiciens appellent *l'interférence du son*, c'est-à-dire, fait en apparence paradoxal, la destruction d'un son par un autre son.

Ce moment de silence une fois passé, la coïncidence des deux ondes tend à se faire de

plus en plus pendant la deuxième moitié de la seconde, et, à la fin de celle-ci, les ondes condensées et les ondes dilatées se superposant respectivement, l'intensité du son est doublée comme à l'origine de l'expérience.

Supposons maintenant que l'on abaisse encore le son du deuxième tuyau et qu'on lui fasse exécuter seulement 250 vibrations par seconde. En poursuivant le même raisonnement que tout à l'heure, on voit que l'interférence aura lieu six fois par seconde, il y aura six extinctions et six renforcements ; ce sont ces derniers, ces coups de force, séparés par des moments de silence et qui se suivent à intervalles égaux, qu'on appelle des *battements*, et l'on comprend que leur nombre est toujours égal à la *différence* des nombres de vibrations des deux sons qui agissent l'un sur l'autre. Si cette différence est faible, 10 à 20 battements par seconde, ils produisent sur l'oreille un effet désagréable, une dissonance, comme l'appellent les musiciens, tandis qu'ils sont peu perceptibles si leur nombre dépasse la centaine : on a alors les accords consonants.

L'énergie électrique, dans l'émission radiotélégraphique, est transmise sous forme de vibrations ; elle est donc soumise aux lois de tous les mouvements vibratoires, et l'on doit pouvoir lui appli-

quer, comme pour le son, le phénomène des battements : c'est de là qu'est née l'*hétérodyne*.

S'il n'est pas possible, comme nous l'avons déjà dit, de faire agir directement les vibrations des ondes entretenues sur la membrane téléphonique, à cause de leur nombre extrêmement élevé, il sera toujours facile de la rendre sensible à des battements que l'on peut limiter à volonté, et voici comment on procède :

Nous avons vu plus haut et nous expliquerons dans la suite qu'une lampe à trois électrodes, par un montage particulier, peut devenir une génératrice d'oscillations entretenues. Si celles-ci prennent naissance dans un circuit oscillant fermé, constitué par une self et un condensateur variable, on obtient alors un véritable petit poste d'émission dont on est maître de faire varier la longueur d'onde au moyen du condensateur, et que l'on peut installer à proximité de la boîte de réception : c'est ce petit poste local que l'on appelle *hétérodyne* et c'est son action sur le poste principal qui produira les *battements* nécessaires à la réception des ondes entretenues.

Supposons que l'antenne d'un poste de réception capte des ondes dont la fréquence de vibrations est de 100,000 périodes par seconde ; supposons,

de plus, que l'on fasse produire à l'hétérodyne, en agissant sur le condensateur de son circuit, 99,500 vibrations par seconde. D'après ce que nous savons maintenant, ces deux systèmes d'ondes agissent l'un sur l'autre de la même manière que les ondes des tuyaux sonores dont nous avons déjà parlé ; nous obtiendrons 500 battements par seconde, et ceux-ci, détectés de la manière ordinaire, feront rendre au téléphone un son musical correspondant à ce nombre de vibrations, parce que la membrane s'infléchira à chaque renforcement des vibrations.

Voici donc un procédé extrêmement original et ingénieux pour recevoir les ondes entretenues : celles-ci n'agissent pas directement sur le téléphone mais seulement par suite de leur *interférence* avec les ondes créées par l'hétérodyne. On peut donc régler convenablement le nombre des battements pour permettre à la membrane téléphonique de se mouvoir dans les limites de fréquence pour lesquelles elle est susceptible de vibrer, et dans le champ, en même temps, des sons perceptibles à l'oreille.

Les avantages de la réception par la méthode de l'hétérodyne sont nombreux et importants. Cette méthode permet une meilleure syntonie, par conséquent des accords plus précis pour les

courtes longueurs d'ondes ; elle permet d'obtenir aussi une grande amplification et elle augmente considérablement le rendement du détecteur. Elle se prête également à la réception des ondes amorties qui sont transformées en son *soufflé*, lorsque les longueurs de ces dernières sont voisines de celles engendrées par l'hétérodyne.

On pourrait objecter que l'installation de l'hétérodyne dans le voisinage du poste de réception constitue une complication qu'il serait bon d'éviter, d'autant plus qu'elle nécessite un deuxième réglage pour l'obtention du nombre voulu de battements.

Cet inconvénient est heureusement supprimé depuis que l'on a reconnu que la lampe détectrice peut elle-même jouer le rôle d'hétérodyne et devenir par là-même *autohétérodyne*, sans qu'il soit nécessaire d'avoir recours à un poste séparé. En effet, si l'on intercale dans le circuit plaque une bobine de self couplée d'une façon déterminée avec le circuit grille (qui est le circuit secondaire de l'appareil de réception), on constate que la lampe, outre sa fonction de détectrice, engendre des oscillations entretenues dont la période diffère peu de celle du circuit grille dans lequel elles prennent naissance ; il y aura donc *interférence*, par conséquent aussi il se produira des *battements*

que la lampe va détecter et qui seront entendus dans le téléphone sous forme d'un son musical. Non seulement on obtient une simplification de montage et de manœuvre, mais encore une amplification maximum, supérieure à celle d'une hétérodyne séparée, pour les ondes entretenues aussi bien que pour les ondes amorties.

On a souvent qualifié de *merveilleuse* la lampe à trois électrodes ; l'expression n'est certes pas exagérée et, par ce fonctionnement comme un détecteur-amplificateur-autohétérodyne, elle apparaît pratiquement douée de propriétés extraordinaires que l'imagination la plus vive n'aurait pas rêvées au début de son usage en T. S. F. Il est possible qu'elle nous livre encore des secrets qui étonneront les techniciens ; les développements prodigieux des dernières années justifient en quelque sorte toutes les espérances et toutes les prévisions.

*

* *

LA TÉLÉPHONIE SANS FIL

Jusqu'à présent, nous n'avons considéré que la télégraphie sans fil, c'est-à-dire la transmission de signaux particuliers au moyen des ondes hert-

ziennes. Ce nouveau mode de communication, sans nuire à la télégraphie ordinaire, a déjà rendu des services inappréciables à l'humanité. Outre l'établissement de services réguliers de dépêches commerciales et diplomatiques, entre postes éloignés et même au-dessus des mers, il a permis de réaliser ce qui était impossible à la télégraphie ordinaire, par exemple : communications entre les navires et avec les postes côtiers, d'où appels et secours en cas de naufrage ; communications entre postes militaires et avec les ballons dirigeables et les aéroplanes ; communications, en temps de guerre, entre les métropoles et leurs colonies, au cas où les câbles seraient coupés, ainsi qu'avec leurs flottes au milieu des océans.

Ajoutons que l'envoi des signaux horaires par les grandes stations peut dispenser les marins de l'usage des chronomètres pour *faire le point* et mesurer les longitudes ; les navires, de leur côté, peuvent transmettre aux stations météorologiques des renseignements précieux pour l'étude de la marche des tempêtes, en vue de la prévision du temps.

Voilà certes un bilan de tout premier ordre.

Toutefois, la télégraphie sans fil n'envoie de dépêches que par signaux de l'alphabet

Morse ; la réception au son de ces bruits longs et brefs qui se succèdent souvent avec une grande rapidité exige une longue habitude que peu d'amateurs peuvent acquérir, et suppose les services, dans les stations et sur les navires, de télégraphistes professionnels. Les choses seraient grandement simplifiées et l'utilisation des ondes hertziennes, comme moyen populaire de communication, se généraliserait considérablement si l'on pouvait transmettre la parole, que tout le monde peut comprendre, en un mot, si l'on pouvait faire de la *téléphonie sans fil*.

Le problème s'est posé dès le début, et l'on a fait de nombreuses tentatives, même avec les ondes amorties, bien que ces dernières soient à peu près impropres à un pareil usage, puisqu'elles se composent de trains d'ondes séparés par de longs intervalles pendant lesquels toute transmission est impossible.

L'étude approfondie de la question a fait voir, et c'est le savant français Blondel qui l'a démontré le premier, que la téléphonie sans fil ne peut être réalisée qu'au moyen d'ondes *entretenues et de très haute fréquence*.

On s'est d'abord adressé aux postes d'émission à arc et aux alternateurs à haute fréquence, avec lesquels on a obtenu de bonnes communi-

cations à longue distance ; mais c'est la lampe à trois électrodes, merveilleuse une fois de plus, employée comme source d'ondes entretenues, qui a permis de résoudre le problème d'une façon définitive et complète, avec un succès et une rapidité sans précédents dans l'histoire des sciences.

La téléphonie sans fil comprend, en premier lieu, un poste d'émission où l'on produit des ondes électriques entretenues, modifiées par les modulations de la voix ou des sons musicaux, et, d'autre part, un poste de réception où ces ondes sont détectées, amplifiées et rendues perceptibles dans un téléphone. Comme dans la téléphonie ordinaire, on parle devant un *microphone* et l'on écoute avec un *téléphone*. Bien que ces deux appareils soient très répandus et utilisés par un grand nombre de personnes, il ne sera pas inutile, croyons-nous, de rappeler brièvement les principes sur lesquels repose leur fonctionnement.

Les récepteurs téléphoniques employés en radiotéléphonie se composent essentiellement d'un aimant en forme d'anneau ouvert dont les deux extrémités très rapprochées, — les pôles de l'aimant, — sont recouvertes de bobines à fil très long et très fin, par suite à grande résistance ; très près de ces pôles est disposée une membrane vibrante

en fer fixée par son pourtour. Chaque fois qu'un courant électrique est lancé dans les bobines polaires du téléphone, l'aimantation des noyaux est subitement modifiée, et la membrane de fer, plus ou moins attirée, entre immédiatement en vibrations. La conséquence en est,—fait capital à retenir,— que tout téléphone dans lequel passe un courant fait entendre un bruit, un crépitement caractéristique, et s'il s'agit de courants rythmés, d'une suite d'impulsions électriques qui se suivent à intervalles périodiques, comme celles qui seraient produites par les modulations de la voix humaine ou par les sons musicaux, la membrane téléphonique obéira exactement à toutes ces impulsions, se mettra en vibrations avec la même fréquence, et les sons seront reproduits avec une fidélité parfaite.

Dans le téléphone primitif tel qu'inventé par Graham Bell, les deux appareils de transmission et de réception étaient exactement les mêmes et les vibrations du premier, sous l'influence de la parole, produisaient des courants électriques rythmés qui circulaient ensuite dans la ligne jusqu'à l'autre téléphone. Les sons perçus étaient très faibles et la portée des communications très restreinte. Les grands progrès réalisés de nos jours sont dus à l'emploi du microphone qui constitue,

avec une bobine d'induction et une pile, tout le système de transmission.

Le microphone est tout simplement une résistance variable intercalée dans un circuit électrique. Si l'on examine les modèles dont on fait usage aujourd'hui, on voit que cette résistance est constituée par des granules de charbon dont les contacts peuvent varier facilement sous l'influence des vibrations d'une membrane sur laquelle ils s'appuient légèrement. Ces grains de charbon font partie du circuit d'une pile dans lequel on place également le primaire gros et court d'un petit transformateur ; le secondaire de celui-ci, à fil long et fin, communique avec le fil de ligne et un téléphone ordinaire au poste de réception. Si l'on parle devant la membrane du microphone, les vibrations de celle-ci se communiquent aux grains de charbon, les contacts sont modifiés suivant le nombre, l'intensité et le timbre des vibrations, et il en résulte des variations correspondantes de résistance, donc aussi des variations dans l'intensité du courant qui traverse le microphone et le primaire du transformateur. Des courants induits se développent alors dans le secondaire, circulent dans la ligne et vont, à l'autre poste, faire vibrer un téléphone de la mé-

me manière, avec la même fréquence et les mêmes particularités vibratoires.

Cela posé, voyons très brièvement comment on peut transmettre la parole et les sons musicaux d'un poste d'émission à un poste de réception de téléphonie sans fil.

Nous avons dit plus haut qu'il était nécessaire d'employer des ondes entretenues de très haute fréquence, et qu'on les produisait avec la lampe à trois électrodes. Comment celle-ci peut-elle devenir la source de ces ondes, et quel dispositif faut-il adopter pour arriver à ce résultat ?

La figure 6 nous donne l'un des montages permettant de réaliser l'entretien d'oscillations continues dans une antenne.

L'antenne A et la terre T sont reliées aux extrémités d'une bobine B_1 appelée *bobine de plaque*, laquelle fait partie d'un premier circuit, le circuit plaque-filament, comprenant une batterie d'accumulateurs à haut voltage Acc et un manipulateur M. Un deuxième circuit, appelé circuit grille-filament, contient une deuxième bobine B_2 , appelée *bobine de grille*, couplée par induction à la bobine B_1 .

Allumons la lampe et fermons le manipulateur M: immédiatement, grâce aux électrons lancés par le tungstène rougi, le courant qui s'établit dans le

circuit plaque-filament engendre dans la bobine B_1 une force électromotrice de self-induction qui fait osciller l'antenne ; c'est un mouvement

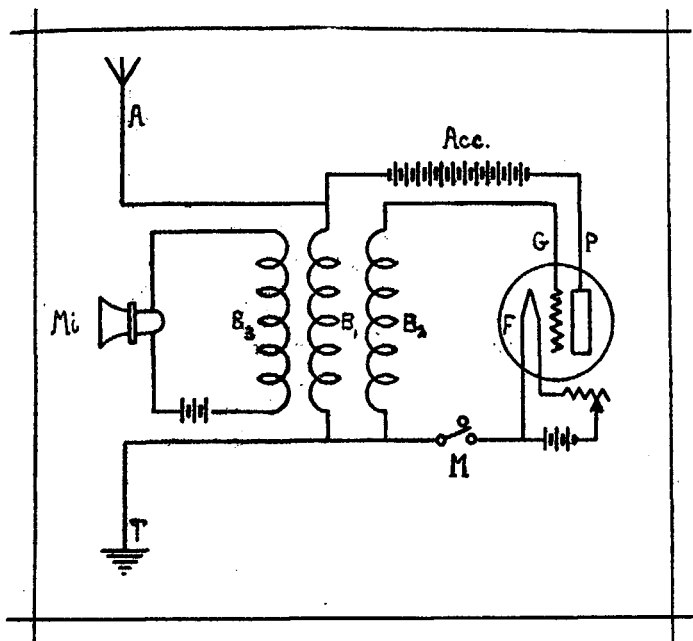


FIG. 6

d'électricité, une sorte d'impulsion comparable à un choc imprimé à un pendule. Mais, en même temps, la bobine B_1 , développe dans la bobine de grille B_2 un courant inverse d'induction qui, par l'abaissement du potentiel de la grille, arrête

momentanément le courant de plaque ; cet arrêt est lui-même la cause d'un nouveau courant d'induction contraire au premier et qui provoque un nouveau courant de plaque, lequel agit comme le premier, et ainsi de suite. Il s'en suit une série d'oscillations qui font vibrer l'antenne. La perturbation initiale ne s'amortit donc pas et elle est entretenue par les effets d'induction qui agissent sur la lampe ; l'on obtient de la sorte une source d'ondes non amorties qui rayonnent dans l'espace et dont l'énergie est empruntée au courant de plaque.

On voit, en résumé, que la grille se comporte comme une soupape ouvrant et fermant périodiquement le courant de la batterie d'accumulateurs qui alimente le circuit plaque-filament, et ce résultat est obtenu par le couplage inductif des deux bobines B_1 et B_2 .

Toutefois, pour réaliser un bon fonctionnement de la lampe comme source d'oscillations entretenues, il est nécessaire d'observer, dans le couplage des bobines, certaines conditions, appelées *conditions d'entretien*, qui permettent non seulement d'entretenir les oscillations dans l'antenne, mais encore d'en accroître l'amplitude, faute de quoi, quand on dépasse une certaine *limite*, elles *décrochent*, suivant l'expression adoptée,

c'est-à-dire qu'elles cessent brusquement. Pour obtenir la plus grande intensité possible dans l'antenne, il faut que, par le réglage des bobines, on se tienne très près de la *limite d'entretien*, sans toutefois compromettre la stabilité du fonctionnement et sans provoquer le *décrochage* des oscillations.

Le couplage des bobines peut se faire de plusieurs manières, soit par induction électromagnétique, comme dans la figure 6, soit par capacité entre la grille et la plaque au moyen d'un condensateur, soit par les deux à la fois. Dans les postes de faible puissance, le voltage du circuit plaque-filament est ordinairement de 300 à 500 volts, tandis qu'il atteint plusieurs milliers dans les stations puissantes.

Pour augmenter l'énergie oscillatoire d'un poste d'émission, on emploie plusieurs lampes à vide montées en parallèles, c'est-à-dire que l'on relie respectivement entre eux les filaments, les grilles et les plaques des différentes lampes.

Nous sommes donc en mesure de produire à volonté des ondes entretenues à haute fréquence, et c'est au moyen de ces ondes que l'on peut transmettre la voix parlée et les sons musicaux, c'est-à-dire faire de la *téléphonie sans fil*.

On y arrive, comme on le voit dans la figure 6, par l'addition au montage déjà décrit d'un microphone ordinaire à granules de charbon M_i ; celui-ci est placé dans un circuit comprenant une pile et une bobine B_3 couplée avec la bobine de plaque B_1 qui fait partie du circuit antenne-terre.

Lorsqu'un son est émis devant le microphone, les vibrations de la membrane produisent sur les granules de charbon des déplacements des points de contacts, d'où variations de résistance qui se traduisent par des variations dans l'intensité du courant qui traverse le microphone et la bobine B_3 . Ces variations de courant, en nombre égal aux vibrations de la membrane microphonique, agissent par induction sur la bobine B_1 et engendrent des *variations d'amplitude* de même fréquence et de même rythme dans les oscillations entretenues émises par l'antenne. Ce sont ces variations d'amplitude qui feront vibrer le téléphone à l'autre poste.

En effet, supposons que l'on émette devant le microphone une note musicale de 300 vibrations par seconde ; celles-ci vont produire 300 variations dans le courant microphonique, par suite 300 augmentations d'amplitude dans les ondes entretenues lancées par l'antenne. Au poste de réception, la membrane téléphonique, après dé-

tection, subira 300 fléchissements par seconde, par conséquent reproduira le son musical en question. Non seulement les sons purs seront transportés de cette façon par les ondes électriques du poste d'émission, mais il en sera de même des vibrations bien plus compliquées de la voix humaine, avec ses harmoniques et son timbre particulier.

Notons que, dans les postes d'émission de grande puissance, pour utiliser les microphones ordinaires qui donnent le meilleur rendement, on fait plutôt modifier par ces derniers la tension de la grille, dans le circuit de laquelle on les place.

Les grands postes américains ont adopté maintenant avec succès une ingénieuse disposition par laquelle les variations de potentiel de toutes les grilles des lampes d'émission montées en parallèles sont sous le contrôle d'un tube à vide spécial, appelé tube *modulateur* ; ce tube, le seul influencé par le microphone, se comporte ensuite comme un *chef d'orchestre* dont les commandements sont toujours parfaitement obéis par les autres lampes.

On voit que, à la station de réception, il ne sera pas nécessaire d'employer le montage avec hétérodyne. Les postes ordinaires destinés à la réception des ondes amorties conviennent également bien pour la téléphonie sans fil, parce que les

variations d'amplitude engendrées par les sons musicaux ou par les modulations de la voix se comportent comme des trains d'ondes causés par des vibrations amorties irrégulières.

En pratique, comment sont installés les postes de réception de téléphonie sans fil, ou, comme on dit maintenant, les postes de *radio* ?

Les montages employés sont extrêmement nombreux et il serait impossible de tous les passer en revue ; nous n'avons même pas l'intention de décrire les plus employés, ni les principes variés sur lesquels ils reposent. Pour rester dans les limites des premiers *principes* que nous nous sommes imposées, nous nous arrêterons, à titre d'exemples, à deux circuits, longtemps en faveur chez un grand nombre d'amateurs, du type à *réaction* ou *régénératif* : le montage en *Tesla* et le circuit simple ou montage en *Oudin*.

Rappelons sommairement que, pour entendre des stations employant des longueurs d'ondes différentes et en même temps pour accroître la portée des communications, il faut accorder le poste de réception sur une longueur d'onde déterminée, c'est-à-dire produire la *syntonisation* basée sur les phénomènes de résonance électrique ; nous avons expliqué d'une manière tout à fait générale, que ce résultat était obtenu en faisant

varier la self-induction et la capacité des circuits

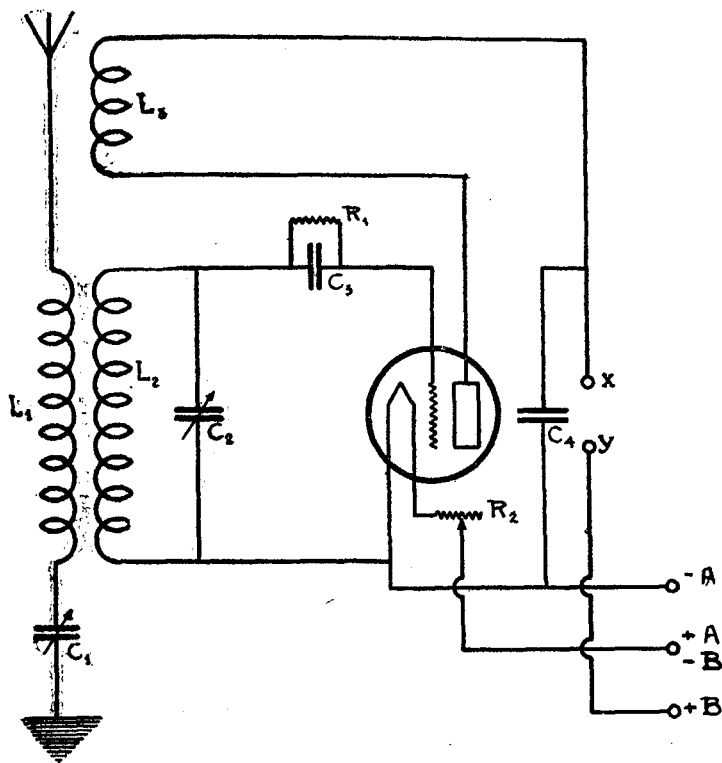


FIG. 7

au moyen de bobines d'induction et de condensateurs.

Voyons comment les choses sont pratiquement disposées dans les deux montages que nous avons choisis comme exemples.

La figure 7 est le schéma d'un montage en Tesla, dans lequel on emploie des bobines dites en *nids d'abeilles* (honey comb). Ce montage comprend deux circuits inductifs, l'un primaire, l'autre secondaire, avec bobine de réaction.

Le circuit primaire est constitué par l'antenne, la bobine de self L_1 et le condensateur variable C_1 , le tout relié à la terre ; c'est ce condensateur qui permet d'accorder le circuit sur les différentes longueurs d'ondes reçues.

Le circuit secondaire comprend la self L_2 , sur laquelle est *shunté* le condensateur variable C_2 , puis la grille et le filament de la lampe. Au moyen de ce condensateur, et en faisant varier la distance et la position angulaire de la bobine L_1 par rapport à L_2 , on met les deux circuits en résonance et l'on obtient alors sur la grille le maximum de variations de tension.

La bobine de réaction L_3 , de distance et de position variables par rapport à la bobine secondaire L_2 , fait partie d'un troisième circuit dans lequel peut circuler le courant de la batterie B de $22\frac{1}{2}$ volts, dont on voit les bornes en + B et en - B, et qui comprend le téléphone placé en

XY, la plaque et le filament de la lampe. En + A et - A sont les bornes d'un accumulateur de 6 volts destiné au chauffage du filament.

Une fois la lampe allumée et le poste accordé, les oscillations induites dans la bobine L_2 , par les ondes que l'antenne a captées, agissent sur la grille, mais ne donneraient lieu à aucun son dans le téléphone, à cause de la trop grande fréquence de ces vibrations, si elles n'étaient modifiées par le microphone du poste d'émission, comme nous l'avons expliqué plus haut. Mais les variations d'amplitude, dues aux modulations de la voix ou aux sons musicaux, donneront naissance, pour chacune de leurs alternances positives, à un nombre égal de courants de la plaque au filament, lesquels, en circulant dans le téléphone en XY, produiront un nombre égal de vibrations, par conséquent un son identique à celui qui a été émis devant le microphone du poste de transmission.

Quel est maintenant le rôle de la bobine de réaction L_3 et en quoi consiste la régénération ?

Suivant une explication très plausible que l'on peut adopter, la lampe se comporte comme un condensateur dont la plaque et le filament seraient les armatures ; la décharge de ce condensateur engendre des oscillations dans tout le circuit, et en particulier dans la bobine L_3 , lesquelles oscil-

lations, en agissant par induction sur la bobine L_2 du circuit secondaire, provoquent dans la grille de plus fortes variations de tension, par suite des courants plus intenses de la plaque au filament ; il en résulte une nouvelle décharge du condensateur et de nouvelles oscillations amplifiées dans la bobine de réaction, puis nouvelle réaction sur la bobine L_2 et ainsi de suite. La régénération consiste précisément dans cet effet *cumulatif* que l'on obtient par cette disposition.

On sait qu'une forte self, par exemple une bobine enroulée sur un noyau de fer, arrête les oscillations électriques et les courants alternatifs, tandis qu'un condensateur les laisse passer facilement ; l'inverse a lieu pour les courants continus. C'est pour cela que l'on place le condensateur fixe C_4 en dérivation sur le téléphone placé en XY. La grande impédance des enroulements de ce dernier ne permettrait pas aux oscillations du circuit de réaction de s'établir, si elles ne pouvaient se frayer un chemin par le condensateur en question. Par contre, le téléphone ne s'oppose pas au passage des courants, tous de même sens, qui originent de la batterie B et circulent entre la plaque et le filament.

Enfin, il nous faut expliquer pourquoi on place dans le circuit de la grille le condensateur fixe C_3 en dérivation sur la résistance R_1 .

Si l'on se reporte à la théorie des *électrons* par laquelle nous avons expliqué le fonctionnement de la lampe à trois électrodes, on n'a pas oublié que la grille, pendant le court instant qu'elle est positive, attire les électrons émis par le filament incandescent et ajoute son action à celle de la plaque pour former ces ponts conducteurs qui livrent passage au courant de la batterie B. Mais on n'arrive à ce résultat que si l'on empêche les électrons de s'écouler par la bobine L_2 , au lieu de traverser les mailles de la grille et continuer leur chemin jusqu'à la plaque ; c'est le condensateur de grille qui est chargé de ce soin et c'est lui qui, en fermant la route aux électrons, les retient dans la lampe et prévient de la sorte la perte d'énergie qui serait la conséquence de leur dispersion.

D'un autre côté, les électrons tendent à s'accumuler sur la grille, et une charge négative trop grande sur celle-ci paralyserait le fonctionnement de la lampe ; on évite ce défaut en permettant aux électrons de se décharger lentement à travers la résistance R_1 de plusieurs millions d'ohms montée en dérivation sur le condensateur C_3 : c'est

la résistance de grille ou le *grid leak*, indispensable dans toutes les boîtes de réception.

Nous avons déjà mentionné les bobines en *nids d'abeilles* (honey comb), très employées dans plusieurs montages ; elles sont ainsi nommées parce que l'enchevêtrement des spires qui caractérise l'enroulement du fil leur donne l'apparence d'un rayon de miel. Le but de cet enroulement particulier est de conserver le maximum de self-induction tout en faisant disparaître presque complètement la capacité très grande que présenterait une bobine à long fil et à couches superposées ; on comprend, en effet, que, dans un même enroulement, deux fils isolés, immédiatement l'un au-dessus de l'autre, constituent un véritable condensateur dont il faut détruire l'effet.

On arrive au même résultat au moyen de bobines plates dites en *fond de panier* (*spider web*, toile d'araignée), présentant l'avantage de pouvoir être séparées en plusieurs parties, ce qui favorise des accords faciles sur des longueurs d'ondes très différentes.

La figure 8 représente un *circuit simple*, ou *montage en Oudin*, deuxième exemple que nous avons choisi. Dans ce système, on a supprimé le condensateur du circuit de grille et il n'y a qu'une seule bobine L_1 fractionnée en plusieurs sections ;

la partie effective, déterminée par la position de la manette que l'on voit sur la figure, est intercalée à la fois dans le circuit primaire ou antenne-terre

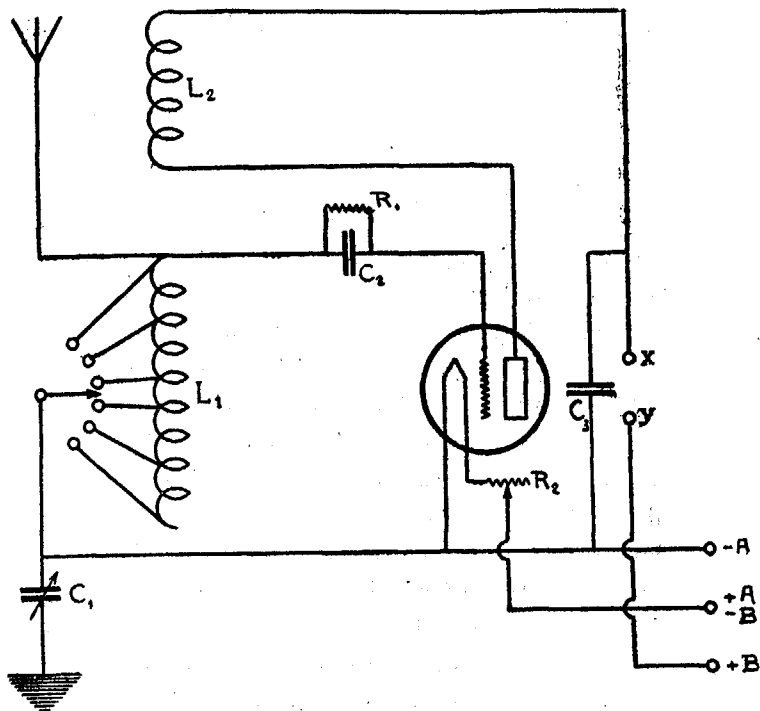


FIG. 8

et dans le circuit secondaire ou circuit de grille. En manœuvrant cette manette d'une manière convenable et en agissant sur le condensateur

variable C_1 , on accorde le primaire sur la longueur d'onde du poste que l'on veut entendre, et les deux circuits primaire et secondaire se trouvent alors syntonisés. La bobine L_2 ou bobine de réaction fonctionne comme dans l'exemple précédent.

En pratique, on monte un circuit simple au moyen d'un *variocoupleur*. On appelle ainsi un système composé d'une bobine fixe, L_1 dans la figure 8, dont les différentes sections aboutissent à des bornes fixées sur le panneau du poste, et d'une bobine mobile, la bobine de réaction L_2 , placée dans l'intérieur de la première et pouvant tourner sur elle-même entre deux positions extrêmes du maximum et du minimum d'induction, suivant que les spires des deux bobines sont parallèles ou rectangulaires.— Notons que le variocoupleur diffère du *variomètre* par cette particularité que, dans ce dernier, les deux enroulements qui agissent l'un sur l'autre se font suite, c'est-à-dire sont constitués par le même fil.

Les montages que nous venons d'étudier ne comportent qu'une seule lampe détectrice avec régénération. On augmente beaucoup l'intensité des sons et la portée des communications par l'adjonction de *lampes amplificatrices* à haute et à basse fréquence.

On voit dans la figure 9 le schéma de deux étapes d'amplification à basse fréquence et à transformateurs. Cette figure fait suite aux deux précédentes, et les deux bornes X et Y sont placées sur les bornes de mêmes dénominations, le téléphone étant supprimé.

Le circuit plaque-filament du détecteur se trouve alors fermé par l'enroulement primaire d'un premier transformateur à noyau de fer Tr, dont le secondaire fait partie du circuit grille-filament d'une première lampe amplificatrice ; le circuit plaque-filament de cette lampe, qui comprend le primaire d'un deuxième transformateur Tr, est alimenté par une batterie de 90 volts et plus, dont on voit les bornes en + B et -B. Le secondaire de ce transformateur est relié à la grille d'une deuxième lampe amplificatrice, et le téléphone, connecté aux bornes en T, est intercalé dans le circuit plaque-filament monté sur la même batterie B.

Pour comprendre comment, par ce dispositif, on réalise une amplification croissante d'étape en étape, il suffit de rappeler, comme nous l'avons déjà expliqué, qu'à toute *variation de potentiel de la grille correspondent des variations beaucoup plus intenses dans le courant de plaque* ; ces variations augmentant d'une lampe à l'autre, on obtient des

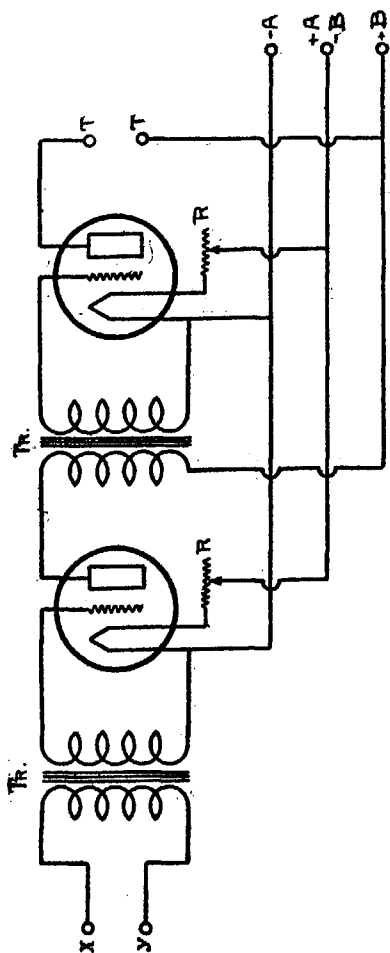


FIG. 9

courants de plaque de plus en plus forts et il y a alors amplification considérable. Tous les postes d'amateurs sont munis d'amplificateurs de ce genre, jamais, croyons-nous, plus de trois, et l'on y ajoute aussi, dans les postes plus importants, plusieurs étapes d'amplification avant la détection, c'est-à-dire à haute fréquence ou *radiofréquence*, comme on dit quelquefois.

*

* *

Le 3 novembre 1924, la station radiotéléphonique de Pittsburgh (KDKA) signalait le fait qu'elle fut la première à inaugurer, quatre ans auparavant, le 3 novembre 1920, la série des concerts réguliers au moyen de la téléphonie sans fil. Depuis cette date, quel chemin parcouru, quels progrès réalisés, et surtout quels développements opérés dans le monde du *radio* ! Les États-Unis, le pays des *records*, viennent en premier lieu parmi les autres nations, et l'on peut dire que le continent américain est littéralement couvert d'un réseau de stations, depuis les grandes villes jusqu'aux plus humbles villages. Outre le nombre phénoménal des amateurs, et qui s'accroît sans cesse, il faut aussi noter les perfectionnements

remarquables que l'on constate aujourd'hui dans les postes d'émissions, au point de vue de la portée, de l'intensité et de la qualité des sons lancés dans l'espace.

Nous devons aux lecteurs du *Canada français* de les tenir au courant de cette nouvelle et merveilleuse application de la science électrique, et nous avons estimé qu'il était essentiel avant tout de poser les fondements sur lesquels s'appuie l'édifice varié et complexe de la radiotélégraphie et de la radiotéléphonie. Voilà pourquoi nous avons laissé de côté les nombreux montages, les innombrables circuits qui se partagent la faveur du public, pour n'insister que sur les *premiers principes*, point de départ de toute étude ultérieure.

Nous serons récompensés de nos efforts si notre humble travail, que nous avons voulu présenter aussi élémentaire que possible, contribue à rendre faciles et attrayantes les études plus complètes qu'on voudrait entreprendre.

LA ROTATION DE
LA TERRE

LA ROTATION DE LA TERRE

Nous n'avons pas l'intention, dans cette brève causerie, de démontrer le mouvement de rotation de la Terre ; les preuves nombreuses et concluantes, données par les astronomes et les physiciens, sont clairement exposées dans tous les traités d'Astronomie ou de Cosmographie.

Pour ceux qui ne veulent pas l'admettre, — il y en a peut-être encore, — une pareille tentative serait à peu près inutile. Les démonstrations que nous pourrions développer, qu'il nous soit permis de le dire en toute sincérité, ne sont pas toujours à la portée de tout le monde ; elles exigent, pour être bien comprises, certaines notions assez délicates de Physique que le public n'est pas obligé de connaître. Un argument n'a de réelle valeur que si on peut le comprendre, et un bon nombre de gens n'ont pas toujours la préparation scientifique nécessaire pour en saisir la force démonstrative qui fait jaillir la conviction et entraîne l'assentiment de l'esprit.

Telles sont les preuves tirées des lois de la gravitation et de la force centrifuge ; telle est aussi la fameuse expérience du pendule de Fou-

cault. Certaines personnes comprennent mal que la déviation du plan pendulaire nous fasse pour ainsi dire voir la Terre tourner ; elle s'expliquent encore moins pourquoi cette déviation, de 15° par heure au pôle, nulle à l'équateur, se fait en sens inverse dans l'hémisphère austral, et comment enfin,— ce qui les laisse parfaitement indifférentes,— la durée de la rotation de ce même plan varie, aux différents endroits du globe, en raison inverse du *sinus* de la latitude.

Il ne sera question ici que de deux objections qui, malgré leur antiquité et les réponses qu'elles ont suscitées depuis longtemps, ne laissent pas cependant de jeter le trouble dans certains esprits.

Il est impossible, dira-t-on, qu'un mouvement comme celui de la Terre ne soit pas rendu sensible de quelque manière : on devrait sentir et voir la Terre tourner.

Il suffit d'un exemple très simple pour expliquer l'illusion de l'immobilité de notre globe.

Supposons un bateau entraîné doucement par le courant peu rapide d'un fleuve. Si le mouvement s'exécute sans secousses, un voyageur, placé sur ce bateau et qui ne fixe pas ses yeux sur les objets environnants, soit sur le fleuve, soit sur le rivage, ne peut en aucune façon s'apercevoir du déplacement qu'il subit ; il se croira en repos sur des

eaux tranquilles. Le seul moyen de sentir le mouvement qui l'emporte sera de regarder autour de lui ; il apercevra alors les arbres qui bordent la rive se déplacer en sens contraire de son propre mouvement. Dans l'intérieur du bateau, il lui est impossible d'avoir conscience du mouvement et du sens du déplacement.

Sur notre globe animé de sa rotation diurne, il se passe quelque chose d'absolument analogue.

La Terre tourne avec la plus grande régularité et sans aucune secousse ; tous les objets qui environnent l'observateur se déplacent comme lui et avec la même vitesse. Il n'y a donc aucun point de repère extérieur auquel il puisse rapporter le mouvement qui l'entraîne ; il ne manque rien pour que l'illusion de son immobilité soit parfaite, et cette illusion persiste tant qu'il ne fait que regarder autour de lui.

Mais s'il lève les yeux, s'il aperçoit les étoiles par une belle nuit sans nuages, il se retrouve dans les conditions du voyageur qui regarde autour de lui. Les astres qui brillent sur la voûte des cieux deviennent alors des points de repère qui lui permettent de juger du mouvement auquel il participe lui-même, et le ciel paraît tourner en sens contraire de son propre déplacement.

Tout le monde a constaté que l'on est souvent le jouet d'une illusion semblable, lorsqu'on regarde le quai dont un bateau s'éloigne lentement et sans trépidations. Bien que l'on sache absolument que le quai n'a pas bougé, on a quelquefois beaucoup de peine à se convaincre de son propre mouvement, et toutes les apparences semblent nous faire croire au déplacement du quai en sens contraire. Le même phénomène s'observe aussi dans les gares de chemins de fer, et il rend bien compte de l'apparente immobilité de la Terre par rapport à la sphère céleste.

L'objection suivante, lorsqu'elle est habilement présentée, fait une certaine impression chez ceux qui ne saisissent pas bien les principes mécaniques de l'indépendance des effets des forces et de l'inertie de la matière.

Si la Terre tourne, dit-on, un corps tombant d'une certaine hauteur ne suivrait pas la verticale, mais serait déplacé en arrière, pendant que le point de la surface terrestre situé au-dessous de lui, animé de toute la vitesse de la rotation diurne, franchirait un certain espace.

Il en sera de même pour un corps lancé verticalement de bas en haut : il ne devrait jamais revenir au point de départ, parce que ce dernier

se serait considérablement déplacé pendant la durée du mouvement d'aller et de retour.

Supposons, pour fixer les idées, qu'un acrobate, en sautant en l'air, ne reviennent toucher le sol qu'après cinq secondes. Suivant les calculs des astronomes, la vitesse de rotation d'un point de la Terre, à la latitude de Québec, est d'un peu plus de mille pieds par seconde ; il en résulterait donc, dans l'hypothèse du mouvement de notre globe, que l'acrobate en question retomberait à une distance de cinq mille pieds du point où il avait quitté le sol.

Dans ces conditions, les voyages en ballons et en aéroplanes seraient impossibles, et les excursionnistes aériens partis de France, par exemple, seraient exposés à ne prendre terre qu'en Amérique. Cyrano de Bergerac, au XVII^e siècle, admettait ces étranges conditions, puisqu'il raconte que, parti de France pour son voyage dans la Lune, il atterrit au Canada, à cause du mouvement de rotation de la Terre.

Enfin, pour tout dire, on a donné à cette objection une forme plus poétique, plus sentimentale, en disant que la tourterelle n'oserait jamais quitter son nid, dans la crainte de ne pas retrouver ses tourtereaux au retour.

Cette difficulté se résout d'elle-même en rappelant, comme on le voit dans tous les cours de Mécanique, qu'un corps en mouvement, en vertu du principe de l'inertie, ne peut pas s'arrêter de lui-même, mais seulement sous l'influence d'une cause extérieure ; de même aussi, lorsque deux ou plusieurs forces agissent sur un même mobile, chacune d'elles produit son effet comme si elle était seule.

Voyons maintenant, à la lumière de ces principes, comment on peut expliquer, en admettant le mouvement de la Terre, les phénomènes décrits plus haut.

Supposons d'abord qu'on laisse tomber un corps pesant le long du mât d'un vaisseau voguant à toute vapeur ; le corps va-t-il tomber en arrière, ou suivre le mât comme si le navire était en repos ?

Tout le monde sait que la chute se fait de la deuxième manière.

Et pourquoi ?

Uniquement parce que le corps pesant, qui participe, avant sa chute, à la vitesse du navire, conserve cette même vitesse en tombant, et que la nouvelle force qui agit sur lui, la pesanteur, n'empêche pas la première d'agir. Le corps en question suit donc le vaisseau pour obéir à la première

force, et tombe au pied du mât pour obéir à la seconde.

De même, si on laisse tomber une pièce de monnaie dans une voiture de chemin de fer lancée à toute vitesse, on constate par expérience qu'elle tombe vis-à-vis du point de départ, en suivant la verticale, comme si le wagon était en repos. La pièce de monnaie, en quittant la main qui l'abandonne à elle-même, continue, pendant sa chute, à se déplacer avec la vitesse du train ; il n'y a aucune raison pour qu'elle s'arrête, et, en vertu de l'inertie de la matière, son mouvement se conserve pendant toute la durée de la chute.

Cette loi de l'inertie explique les effets désastreux des collisions et des tamponnements ; les voyageurs, dans un train qui s'arrête brusquement, gardent la vitesse dont ils étaient animés, et vont frapper, avec les résultats que l'on connaît, l'extrémité de la voiture.

Nous en avons dit assez pour résoudre l'objection proposée plus haut. Un corps que l'on laisse tomber à la surface du sol continue à tourner avec la Terre pendant sa chute, et tout se passe comme si la Terre était immobile.

L'acrobate qui saute en l'air sous l'influence d'une impulsion musculaire ne cesse pas de

tourner avec la Terre, même lorsque ses pieds ne touchent plus le sol ; il en est de même des aérostats en voyage, et l'on comprend qu'il est inutile de s'apitoyer sur le sort de la tourterelle et de ses petits ; elle les retrouvera certainement à son retour, et son vol dans les airs ne l'a pas empêchée de suivre le mouvement la Terre aussi rapidement que son nid.

D'ailleurs, l'atmosphère qui entoure le globe participe au mouvement de ce dernier. Peut-on se figurer l'épouvantable ouragan,— un vent d'une vitesse de plus de mille pieds à la seconde,— qui assaillirait celui qui quitterait momentanément le sol, si on admet que son mouvement de translation est subitement anéanti ? Ajoutons, pour résoudre complètement la question, qu'un corps qui tombe n'est pas dévié en arrière de la verticale, mais en avant, c'est-à-dire dans le sens de la rotation de la Terre, comme on l'a démontré directement par de délicates expériences effectuées dans des puits de mines. Cette déviation vers l'est est d'environ un pouce pour une chute de cinq cents pieds.

Comme on le voit, un peu de mécanique suffit pour dissiper tous les doutes et rendre compte de ce qui, chez certains esprits, paraît inexplicable.

LES SAISONS

LES SAISONS

La Terre, au point de vue astronomique, est un satellite du Soleil et fait partie, au même titre que les autres planètes, de ce qu'on est convenu d'appeler le *système solaire*. La science lui reconnaît deux mouvements principaux : l'un de *translation* autour de l'astre radieux, ce qui détermine l'année, l'autre de *rotation* sur elle-même, dont la durée est la mesure du jour et qui s'effectue en vingt-quatre heures.

Conformément aux lois de Képler, la Terre décrit autour du Soleil une orbite elliptique dont cet astre est l'un des foyers, et le plan de cette ellipse s'appelle le *plan de l'écliptique*. L'axe de rotation de la Terre n'est pas perpendiculaire sur le plan de l'écliptique : ce dernier plan fait avec l'équateur terrestre un angle constant de $23^{\circ} 27'$.

La Terre reçoit annuellement du Soleil une quantité énorme de chaleur, et l'on sait que la répartition de cette chaleur, aux différents points du globe, est très inégale. Certaines régions, voisines de l'équateur, sont très fortement échauffées par le rayonnement solaire, et possèdent une

température moyenne très élevée ; d'autres, plus éloignées, se distinguent nettement des premières par un abaissement de cette même température : le contraste avec les pays équatoriaux est très frappant. Enfin, près des pôles, ce sont les régions du froid, de la neige et de la glace perpétuelles.

De là l'origine de cette division bien connue de la Terre en cinq zones : la *zone torride*, comprise entre les deux tropiques et traversée par l'équateur, les deux *zones tempérées*, l'une boréale et l'autre australe, qui s'étendent, dans chaque hémisphère, entre le tropique et le cercle polaire voisin, enfin les deux *zones glaciales*, arctique et antarctique, qui sont les deux calottes sphériques limitées par les cercles polaires.

A part ce fait général de l'inégale répartition de la chaleur aux différents points de la surface terrestre, il en est un autre non moins important, non moins connu, et dont nous essayerons, dans ce modeste travail, de rechercher les causes : c'est celui de la variation de la température, pour un lieu déterminé de la Terre, aux différentes époques de l'année ; en un mot, c'est le phénomène des *saisons*.

*

* *

Dans un pays comme le nôtre, les changements dans l'aspect du sol et dans la température de l'air, comme chacun peut le constater par lui-même, sont tout à fait remarquables. L'été est la saison des chaleurs ; le Soleil inonde la Terre de ses rayons vivifiants, la durée du jour est de beaucoup supérieure à celle de la nuit, les champs se couvrent de moissons et les plantes de feuilles, de fleurs et de fruits.

Mais, à mesure que la Terre se déplace sur son orbite, la durée du jour diminue et celle de la nuit augmente, la température baisse sensiblement, les vents deviennent plus froids et les arbres se dépouillent de leurs feuilles : c'est l'automne.

Puis, la température continuant de s'abaisser de plus en plus, l'hiver apparaît avec son cortège de frimas, de neige et de glaces. Le Soleil, si prodigieux de ses rayons pendant l'été, n'éclaire et ne chauffe plus que durant une partie restreinte du jour astronomique, laissant aux nuits sans chaleur et sans lumière une prépondérance marquée.

Enfin, le retour vers l'été s'annonce par la saison du printemps, époque pendant laquelle s'opère la fusion de la neige et de la glace, et où la nature, après le long engourdissement de l'hiver, renaît à la vie sous l'influence progressivement

croissante des rayons moins obliques du Soleil.

Que s'est-il donc passé ? Comment expliquer ces variations profondes dans la température pendant l'intervalle d'une révolution de la Terre autour de l'astre radieux ?

Pour résoudre cette question, il convient tout d'abord d'énoncer la loi suivante, due au physicien Lambert, qui établit la relation entre l'échauffement d'une surface et l'inclinaison des rayons solaires qui l'atteignent :

L'intensité calorifique reçue par une surface varie proportionnellement au sinus de l'inclinaison des rayons calorifiques sur cette surface.

Laissant de côté toute la rigueur scientifique de cette loi, nous pouvons dire plus simplement et avec plus de chances d'être compris, qu'une surface quelconque est d'autant plus échauffée par le Soleil qu'elle reçoit plus perpendiculairement, — plus en face, si l'on veut, — les rayons solaires, et d'autant moins échauffée que les rayons la frappent plus obliquement. C'est pour cette raison que le sol reçoit peu de chaleur le matin et le soir, parce que le Soleil, très près de l'horizon, n'envoie que des rayons obliques ; il n'en est plus de même au milieu du jour, parce que les rayons calorifiques, à cause de la plus grande hauteur de l'astre radieux, se rapprochent

de la verticale et atteignent le sol sous un angle très grand.

Cette loi admise, voici comment on peut se rendre compte de l'inégalité thermique des saisons.

Si la Terre décrivait autour du Soleil une orbite circulaire, et si, de plus, l'axe de la Terre était perpendiculaire sur le plan de cette orbite, les jours seraient toujours égaux aux nuits en tous les points de la surface du globe et pour toutes les positions que la planète occupe successivement pendant l'intervalle de sa révolution ; en outre, chaque point de la Terre se trouverait constamment dans des conditions identiques d'échauffement par rapport au Soleil, puisque les rayons de cet astre frapperaient le sol sous le même angle tous les jours de l'année.

Il n'y aurait donc plus de saisons, et la température, pour un même lieu, serait la même pendant toute l'année. Dans les régions polaires, les rayons rasants du Soleil y détermineraient bien peu de chaleur et la température serait constamment très froide, tandis que près de l'équateur, à cause de la grande hauteur méridienne de l'astre du jour, le climat serait toujours très chaud. C'est d'ailleurs à peu près ce qui arrive dans les conditions actuelles.

Mais les choses se passent autrement, pour les régions suffisamment éloignées de l'équateur et des pôles, si l'on suppose, comme c'est le cas en réalité, que l'axe de la Terre est légèrement incliné sur le plan de son orbite ; ce seul fait est la cause de l'inégalité des jours et des nuits et de la succession des saisons.

Par suite de cette obliquité, le jour n'est égal à la nuit qu'à l'équateur, pour toute la durée de l'année, et aux équinoxes du printemps et d'automne pour tous les points du globe. Ailleurs, et en particulier pour les zones tempérées, les longueurs relatives des jours et des nuits sont très variables. Dans l'hémisphère nord, la durée du jour l'emporte depuis l'équinoxe du printemps jusqu'à l'équinoxe d'automne, tandis que la nuit est plus longue depuis ce dernier équinoxe jusqu'à celui du printemps.

On comprend dès lors que la présence prolongée du Soleil au-dessus de l'horizon produise une augmentation dans la température : l'été sera donc la saison des chaleurs, et l'hiver, pour la raison opposée, sera celle des grands froids.

En outre, la hauteur du Soleil au-dessus de l'horizon est loin d'être la même suivant l'époque de l'année, ce que tout le monde constate par l'observation directe ; les rayons calorifiques qu'il

nous envoie, se rapprochant de la verticale en été, sont très obliques en hiver, et cette cause s'ajoute à la précédente pour produire entre les saisons des variations considérables de température.

A Québec, au solstice d'été, la hauteur du Soleil à midi est de $66^{\circ} 39'$, et, au solstice d'hiver, seulement de $19^{\circ} 45'$.

Dans l'hémisphère sud, les mêmes causes produisent les mêmes phénomènes, mais dans l'ordre inverse : l'hiver est la saison des chaleurs et l'été celle des froids.

On voit par ce qui précède pourquoi la surface terrestre a été divisée en cinq zones géographiques. Dans la zone torride, limitée par les deux tropiques, le Soleil passe au zénith deux fois par année, et les changements de température et de climat sont peu sensibles. Les deux zones glaciales reçoivent peu de chaleur du Soleil ; les jours et les nuits, suivant l'époque de l'année, atteignent quelquefois la durée de plusieurs mois, et, aux pôles mêmes, il n'y a, par année, qu'un seul jour et qu'une seule nuit. Mais le Soleil, quoiqu'il reste six mois au-dessus de l'horizon, ne lance que des rayons rasants aux équinoxes et très inclinés aux solstices.

Les deux zones tempérées tiennent le milieu entre ces deux extrêmes ; voilà pourquoi la chaleur,

considérable quand les jours sont très longs et la hauteur méridienne du Soleil très élevée, peut devenir très faible dans le cas contraire.

Il ne faudrait pas croire que les variations de la température suivent exactement la position de la Terre par rapport au Soleil. La plus haute température de l'année arrive environ un mois après le solstice d'été, dans la deuxième moitié de juillet, pendant les *canicules*, bien que la longueur des jours et la hauteur du Soleil aient déjà beaucoup diminué.

Ce retard du maximum de l'effet sur le maximum de la cause qui lui donne naissance est dû à l'accumulation progressive de la chaleur. Puisque les jours croissent sans cesse depuis l'équinoxe du printemps, la Terre s'échauffe de plus en plus et prend, pour ainsi dire, une réserve thermique dont elle bénéficiera plus tard, lorsque le Soleil s'éloignera du solstice; la Terre sera donc plus chaude en été qu'au printemps, quoiqu'elle occupe, par rapport au Soleil, des positions symétriques.

L'hiver, pour des raisons analogues, sera plus froid que l'automne, malgré la symétrie des positions : la température baisse encore après la solstice d'hiver, bien que les jours augmentent de

longueur et que le Soleil s'élève plus haut au-dessus de l'horizon.

En un mot, le sol s'échauffe tant que le gain de chaleur pendant le jour l'emporte sur la perte pendant la nuit. Si le rayonnement nocturne prédomine, la surface terrestre ne peut que se refroidir de plus en plus.

Ce que nous venons de dire des saisons s'applique aussi à la variation de la température dans l'intervalle d'une seule journée. Le maximum de chaleur n'a lieu qu'à deux heures du soir, bien que le Soleil soit moins haut qu'à midi, parce que ce n'est qu'après deux heures que le sol perd plus de chaleur qu'il n'en reçoit.

Nous avons supposé jusqu'à présent que l'orbite de la Terre était circulaire, c'est-à-dire que la distance de notre planète au Soleil était invariable. On sait qu'il n'en est rien, et que la Terre est plus rapprochée de l'astre central en hiver qu'en été. D'après cela, l'hiver devrait être une saison plus chaude que l'été, puisque la chaleur reçue sur une surface varie en raison inverse du carré de la distance ; en réalité, à cette époque de l'année, la quantité de chaleur incidente est d'un dixième plus grande que pendant l'été. Toutefois, cette augmentation de chaleur, comparée à celle qui est produite par la hauteur du Soleil au-dessus de

l'horizon, est peu importante : elle est complètement masquée par cette dernière.

L'inégale distance de la Terre au Soleil suivant l'époque de l'année est la cause que les climats de l'hémisphère nord sont un peu plus doux que ceux de l'hémisphère sud, et que les écarts de température sont plus marqués dans le second que dans le premier. En effet, dans l'hémisphère sud, la saison froide a lieu lorsque la Terre est plus éloignée du Soleil, et celle des chaleurs quand elle est plus rapprochée ; cette dernière saison y sera donc plus chaude que la nôtre et l'hiver plus froid.

Tout ce que nous avons dit précédemment de l'inégale distribution de la température à la surface du globe ne peut s'appliquer qu'à une Terre uniformément recouverte d'une substance unique et ne présentant aucun relief.

En réalité, la présence des océans, de l'atmosphère et des irrégularités du relief terrestre, l'influence des courants marins, de la nébulosité, de l'altitude, etc., modifient profondément les conclusions que nous avons énoncées relativement aux saisons des deux hémisphères. Ces causes expliquent également la diversité des climats dans des régions de même latitude. Sait-on, par exemple, que New-York et Naples, Québec et Genève, Régina et Bruxelles, Montréal et Milan

sont respectivement sous la même latitude ? Et pourtant, quelle différence dans les conditions climatériques ? Paris est de deux degrés plus au nord que Québec ; à Paris on n'observe que rarement de légères chutes de neige, tandis qu'à Québec, le phénomène est . . . assez fréquent !

L'explication de ces anomalies est du domaine de la Météorologie et nous ne pouvons y insister sans sortir de notre sujet.

En ne considérant les saisons qu'au point de vue des positions relatives de la Terre et du Soleil, on voit que les changements de température et de climats, qui modifient dans une si large mesure l'aspect de la surface terrestre, et qui ont sur les relations commerciales et industrielles, sur les moyens de transport et de communications, sur les conditions de la vie sociale et domestique une influence si marquée, ne sont dus qu'à une seule cause, et celle-ci très simple, l'inclinaison de l'axe de Terre sur son orbite.

1905.

TABLE DES MATIÈRES

MGR J.-C.-K .LAFLAMME.	1
A PROPOS DU TROISIÈME CENTENAIRE DE PAS- CAL.— LA PRESSION ATMOSPHÉRIQUE.	37
LES ORAGES D'ÉTÉ ET LA GRÊLE.	87
L'AIR LIQUIDE.	107
UN PHÉNOMÈNE D'ÉLECTRICITÉ STATIQUE.	129
LE CENTENAIRE DE L'ÉLECTROMAGNÉTISME.	139
LES RAYONS X.	151
LES PREMIERS PRINCIPES DE LA T. S. F.	175
<i>Les ondes électriques.</i>	175
<i>La télégraphie sans fil.</i>	191
I.— Le poste d'émission.	192
II.— Les postes de réception.	205
III.— Résonance électrique.	212
IV.— La syntonie.	217
V.— La lampe à trois électrodes.	225
VI.— L'hétérodyne.	234
<i>La téléphonie sans fil.</i>	240
LA ROTATION DE LA TERRE	267
LES SAISONS.	277