

Sur le siège des orages et leur origine.

(*Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 3^e série, t. IV, n^o 7, 1882.)

On a souvent essayé de se rendre compte du phénomène de l'orage, c'est-à-dire de la production, en peu de temps et dans un espace relativement restreint de l'atmosphère, de cette énorme quantité d'électricité dont la neutralisation constitue souvent l'un des plus beaux spectacles de la nature.

Je passerai sous silence toutes les anciennes explications que l'on a données du phénomène : discréditées d'ailleurs, elles n'ont plus qu'une valeur historique et je me bornerai à rappeler, aussi brièvement que possible, celle qui est généralement admise aujourd'hui ; je pourrai montrer, sans peine, qu'elle est également insuffisante pour nous rendre compte, d'une manière satisfaisante, de ce que nous observons.

Que le ciel soit serein ou nuageux, il y a toujours de l'électricité dans l'atmosphère : on peut constater ce fait avec n'importe quel électroscope, pourvu qu'il soit sensible. Cette électricité de l'air, dont l'origine est due très probablement aux variations de l'énergie potentielle de la surface des liquides, comme mon savant confrère et ami, M. Van der Mensbrugghe, l'a montré (*), est la source des orages. Au moment où un nuage se forme, c'est-à-dire au moment où la vapeur d'eau, renfermée dans un espace donné, se condense, l'air qui était électrisé cède son fluide aux vésicules d'eau et le nuage contient toute la masse d'électricité primitivement renfermée dans le volume d'air qu'il occupe aussi bien que toute celle provenant de la variation de

(*) Remarques sur les phénomènes électriques qui accompagnent les variations de l'énergie potentielle du mercure. (*Bull. de l'Académie*, 1881, 3^e série, t. II, p. 458.)

l'énergie potentielle de l'eau pendant sa condensation. Bien que les vésicules d'eau ne soient pas, à la vérité, un conducteur parfait de l'électricité, elles conduisent assez, cependant, pour que, par sa réaction sur elle-même, l'électricité s'accumule à la surface du nuage. La tension électrique régnant alors à la surface du nuage doit être d'autant plus considérable que le rapport de la somme des surfaces des vésicules d'eau à la surface du nuage lui-même est plus grand. Si le nuage passe dans le voisinage d'un autre nuage électrisé de sens contraire ou s'il se rapproche suffisamment du sol, il y aura recomposition des deux électricités, c'est-à-dire éclair et tonnerre.

Cette explication est loin de rendre compte, non seulement de tous les phénomènes météorologiques observés pendant les orages, mais, chose plus grave encore, elle est en opposition avec des faits universellement connus de la physique. Il est facile de s'en convaincre.

S'il est vrai, en effet, que chaque vésicule d'eau reçoit l'électricité de l'air où elle se forme, il faut que toutes les vésicules d'un même nuage prennent la même électricité : positive le plus souvent, puisque celle de l'air est presque toujours positive, et dès lors il faut qu'elles se repoussent et se fuient les unes les autres. N'étant pas fixées au lieu qu'elles occupent, elles devront se disperser par suite de leur électrisation et, par conséquent, le nuage prendra une densité de plus en plus faible, pour finir peut-être par s'évaporer complètement. On observe le contraire en temps d'orage; les nuages ont alors tous les caractères d'une grande densité et les torrents de pluie sortant des régions nuageuses témoignent suffisamment de l'impossibilité d'une raréfaction de leur source.

Si les choses se passaient quand même comme on l'admet; si l'électricité se transportait à la surface du nuage avant d'avoir amené la dispersion de ses parties intégrantes, on se heurterait néanmoins encore à une difficulté. Qu'est-ce, en effet, que la surface d'un nuage? Pour s'en faire une idée claire, on n'a qu'à observer un brouillard se formant devant soi, — un brouillard n'étant d'ailleurs qu'un nuage reposant sur le sol, — ou bien, on n'a qu'à assister à la formation d'un nuage sur une montagne assez élevée. On s'assurera chaque fois qu'il est impossible d'assigner une limite nette au brouillard; sa surface n'est autre chose que la dégradation lente de sa masse. Il n'en peut être autrement d'ailleurs; le lieu où se trouve le nuage étant, en réalité, un espace *plus froid* que le milieu ambiant et

la température ne variant pas dans l'air brusquement d'un point à l'autre d'une façon absolue. En d'autres termes, à mesure qu'on approche d'un nuage, l'air devient de plus en plus humide; il se forme d'abord quelques rares globules d'eau constituant un brouillard très léger, transparent jusqu'à grande distance; puis les globules se rapprochent de plus en plus et l'opacité du brouillard va croissant; mais il n'y a pas devant un nuage une couche d'air sec adossée à sa surface. Il me paraît impossible, dans ces conditions, d'attribuer à ce qu'on a appelé « la surface d'un nuage », les propriétés physiques observées, par exemple, sur un conducteur métallique d'une machine électrique. On ne perdra pas de vue, d'ailleurs, que si même l'électricité s'accumulait dans les régions extérieures du nuage, ces dernières devraient se disperser rapidement.

Il est un autre fait encore, montrant que l'explication des orages, donnée aujourd'hui, ne peut être acceptée. Tous les physiciens et même toutes les personnes qui ont eu à produire de l'électricité statique, dans n'importe quel but, savent qu'il est impossible de faire fonctionner convenablement une machine électrique dans l'air humide. Du simple électrophore à peau de chat jusqu'à la machine de Holz, toujours la condition indispensable à la production de l'électricité statique sous forte tension, et surtout à son stationnement à la surface d'un conducteur, est la siccité aussi parfaite que possible de l'air.

Il importe de ne pas se méprendre sur ce point si élémentaire de la physique. On sait, en effet, qu'on attribue la déperdition de l'électricité accumulée à la surface des machines électriques plutôt au pouvoir conducteur *des supports humides* qu'au pouvoir conducteur de l'air humide ambiant; de manière qu'un corps électrisé, soutenu dans l'air humide, sans le secours d'un support, devrait conserver son électricité aussi longtemps que dans l'air sec. Cependant des expériences nombreuses et précises démontrent que l'air humide est un isoloir bien moins parfait que l'air sec : la démonstration la plus élégante donnée de ce fait réside certainement dans cette circonstance que si l'on souffle de l'air humide sur un point d'un bâton de résine électrisé, celui-ci perd aussitôt son électricité à l'endroit où l'air humide l'a frappé, tandis qu'il la conserve partout ailleurs.

Et connaissant ce fait on voudrait que dans une atmosphère humide au point que la vapeur d'eau est en voie de se précipiter

à l'état liquide, l'électricité pût atteindre, sans diffusion, une tension suffisante pour produire des étincelles qui ont souvent plusieurs lieues de longueur ! Je pense que cela paraîtra impossible à toute personne qui a eu à lutter, dans un laboratoire, contre l'influence funeste de l'humidité de l'air sur la production des phénomènes électriques.

Enfin, on sait aussi que plusieurs physiciens et météorologistes, frappés du fait constant que jamais il ne se produit de décharge foudroyante, dans l'atmosphère, quand le ciel est serein, mais qu'on les observe, au contraire, lorsqu'un courant froid détermine, dans l'air, la condensation brusque de la vapeur d'eau qui s'y trouve, ont cru pouvoir attribuer l'origine de l'électricité des orages à cette condensation même. Un autre motif d'ailleurs les portait encore à émettre cet avis : Il n'est pas rare, en effet, d'assister, dans les pays chauds surtout, à des orages d'une intensité extraordinaire : les éclairs se succèdent alors avec une rapidité étonnante et le réservoir d'électricité atmosphérique, loin d'être épuisé par ces décharges immenses et répétées, paraît, au contraire, s'alimenter pendant toute la durée de l'orage. S'il est vrai que dans l'état actuel de nos connaissances nous ne pouvons pas encore évaluer exactement le nombre et la grandeur des éclairs nécessaires à la neutralisation de l'électricité accumulée dans l'atmosphère d'un lieu où sévit un orage, il n'en est pas moins vrai que nous sentons ici un manque complet de proportionnalité entre la cause et l'effet et que souvent nous assistons à des orages qui doivent certainement réparer continuellement les pertes d'électricité produites par les décharges successives. En concevant que l'orage renferme lui-même une source d'électricité, cette difficulté disparaît.

Mais à quoi attribuer cette source, si ce n'est à la condensation extraordinaire de vapeur d'eau qui accompagne toujours un orage ? Cette théorie séduisante ne s'est pas vérifiée, cependant, par l'expérience. Jamais, malgré toutes les précautions qu'on a pu prendre, malgré toute l'attention dont on s'est armé, on n'a pu constater la moindre production d'électricité pendant la condensation de la vapeur d'eau à l'état de brouillard ou de gouttes liquides. Il est donc nécessaire de chercher ailleurs la source de l'électricité des orages.

Je ne dirai rien des objections d'ordre purement météorologique qu'on a présentées aussi à l'explication rappelée; elles sont trop connues (*), mais je demanderai la permission de communiquer à l'Académie une observation que j'ai pu faire, l'année dernière, sur les montagnes élevées de la Suisse; la conclusion qu'on en doit tirer me semble fixer le siège de l'électricité pendant les orages et écarter toutes les difficultés que je viens de signaler. Je me hâte de l'ajouter, d'ailleurs; j'en ai vérifié les conséquences, dans les limites du possible, par une expérience que je décrirai plus loin.

Le 19 du mois d'août dernier, mon ami Émile Deliége et moi, nous sommes partis d'Imhof en compagnie de deux guides, pour faire l'ascension de l'Ewigschneehorn, montagne de l'Oberland bernois dont le sommet est à l'altitude de 5,331 mètres. Le premier jour nous sommes élevés, comme on a coutume de le faire, du reste, jusqu'à l'Urnentalp, à 2,198 mètres; là on rencontre, pour passer la nuit, une hutte de pâtre. Le ciel avait été serein. Toutefois, la journée chaude et humide faisait pressentir l'arrivée de l'orage auquel nous devions assister la nuit. Il éclata vers 1 heure du matin, ou, du moins, il nous tira alors de notre sommeil. Il sévissait en pleine énergie et nous pûmes constater ce fait inattendu, qu'il ne tombait sur notre cabane aucune goutte de pluie, mais qu'elle était en butte à une décharge nourrie de grêlons parfaitement secs. Ceux-ci tombaient sur les planchettes formant le toit de la hutte et rebondissaient avec un bruit sec, ou, pour mieux dire, avec un vacarme assourdissant, sur le sol d'alentour. De temps en temps, il y avait une recrudescence brusque dans l'intensité de la grêle et au même moment se produisait un éclair accompagné d'un coup de tonnerre. Le fracas de la grêle n'a pas permis d'entendre si le bruit du tonnerre était accompagné ou non, d'un roulement. Il nous a chaque fois paru comme un formidable coup de canon. Ceci dura environ une demi-heure en conservant le même caractère. La grêle devint ensuite moins bruyante; l'orage s'éloignait; quelques gouttes de pluie commencèrent à tomber et à mesure que celles-ci augmentaient, les éclairs et, partant, les coups de tonnerre devinrent de plus en plus rares.

(*) On lira, sur ce sujet, avec intérêt, le savant mémoire de notre confrère M. DUPREZ, *Sur l'électricité de l'air*. (MÉMOIRES COURONNÉS, in-4^o, t. XVI, p. 1.)

Ils cessèrent entièrement lorsque la grêle fit place totalement à la pluie.

Évidemment nous nous étions trouvés au cœur même de l'orage et comme le tonnerre se faisait entendre au moment de l'éclair, nous étions aussi près que possible du lieu de neutralisation de l'électricité. Or, il n'y avait au-dessus de nous, dans l'atmosphère, aucune condensation d'eau à l'état de *pluie*; l'orage a cessé sitôt que celle-ci a paru; on ne peut donc admettre que le siège de l'électricité se soit trouvé à la surface des nuages, mais on est obligé de conclure qu'il se trouvait peut-être à la *surface sèche des grêlons* qui s'étaient formés dans un milieu dont la température était beaucoup au-dessous de 0°. Quant à l'origine de l'électricité, elle peut résider, en majeure partie, dans l'anéantissement de surface libre qui accompagne la formation des grêlons, ainsi que dans le frottement de ceux-ci contre l'air sec, comme je le montrerai plus loin. Les grêlons prenant l'une des électricités, le frottoir, ou l'air atmosphérique prend l'autre électricité. Si la vitesse de formation et la vitesse de chute des grêlons sont assez grandes, la tension électrique peut devenir suffisante pour que les électricités du frottoir et du corps frotté se recomposent. On a un exemple de la chose dans le laboratoire lorsqu'on tourne trop rapidement le plateau en verre d'une machine de Ramsden; il y a alors des étincelles très longues qui partent de points différents du plateau pour gagner les coussins. J'ai du reste vérifié expérimentalement le fait et déterminé les conditions dans lesquelles le frottement de l'air peut produire de l'électricité; mais avant de faire connaître le résultat obtenu, je désire toucher encore quelques points de détail concernant l'orage lui-même et faire connaître d'autres observations complétant la précédente.

L'orage se produisant dans une partie de l'atmosphère assez froide pour que l'eau ne puisse exister à l'état liquide, ni à l'état de brouillard humide, on conçoit que la tension électrique puisse devenir très grande. Plus bas, la température s'élevant, et avec elle l'humidité, apparaissent les nuages comme nous les connaissons. Ils subissent une influence électrique du dehors à laquelle ils doivent leur forme arrondie, et sont comme un rideau impénétrable tendu entre l'observateur qui se trouve au-dessous et le lieu où se produit l'électricité.

La grêle rencontre, dans sa chute, des couches d'air de plus en plus chaudes et peut fondre totalement avant de frapper le sol. Aussi

les gouttes de pluie larges qui s'étaient éparses au début d'un orage ne peuvent être autre chose que de gros grêlons fondus qui sont tombés plus vite, parce que leur volume était plus fort. Au bout de quelque temps, la chute des grêlons peut refroidir l'air suffisamment pour que le passage de la glace soit possible sans fusion complète; il grêle alors. C'est du reste un fait constant que les grandes chutes de grêlons, aussi bien en été qu'en hiver, se sont toujours produites pendant les orages; nous dirons, au rebours, que l'orage leur est dû. Remarquons encore un point intéressant: Si l'on observe un orage de dessous, comme c'est généralement le cas, on constate qu'après un éclair produit dans la *région zénithale*, et non à l'horizon, il y a une recrudescence momentanée de la pluie; celle-ci précède ou suit quelquefois le coup de tonnerre de plusieurs secondes. L'explication de ce fait se trouve dans ce que j'ai pu constater à l'Urnentalp. A cette hauteur, les décharges électriques accompagnaient une augmentation de l'intensité de la grêle. Là, l'augmentation de la grêle, l'éclair et le tonnerre avaient lieu au même instant; plus bas, l'observateur constate les trois phénomènes, l'un après l'autre, dans l'ordre du temps que chacun doit mettre pour arriver jusqu'à lui.

Quelques jours après l'ascension de l'Ewigschneehorn, j'ai pu faire une observation confirmant la précédente: Je me rendais, le 24 août, de la chute de la Tosa, avec mes amis P. Heuse et E. Deliège, à Airolo, par le col de San-Giacomo. C'est ce jour qu'il s'est déchainé sur la Suisse un orage qui a contribué pour une large part aux débordements des rivières et aux pertes matérielles qui en ont été la conséquence. Lorsque nous quittâmes l'auberge de la Tosa, il pleuvait fortement; puis, à mesure que nous nous élevions sur la montagne, il tombait un mélange de grêle et de pluie très froide. Force nous fut de nous réfugier dans une hutte de pâtre. L'orage, très intense, était au-dessus de nous; le temps écoulé entre l'éclair et le coup de tonnerre suivant n'a jamais été moins de deux secondes. Lorsque nous pûmes sortir de notre refuge, un spectacle intéressant s'offrit à nos yeux: les nuages, à peu près dissipés, laissaient voir toutes les montagnes qui nous entouraient couvertes, à partir de leur sommet, d'une couche de grêlons leur donnant un aspect de montagnes neigeuses. Cette couche s'étendait jusqu'à un niveau paraissant parfaitement horizontal, au-dessous duquel sortait la roche nue. Ici également le siège de l'orage ne s'était trouvé que dans la région de

la grêle sèche. Là où la grêle fondait, la tension électrique n'était plus suffisante pour occasionner une neutralisation brusque de l'électricité.

Enfin, une dizaine de jours après, en revenant d'Italie par le *Monte Moro*, nous avons eu la bonne fortune d'assister de près à la formation des grêlons eux-mêmes. Ce que nous avons vu confirme entièrement les expériences instituées en 1878, par Osborne Reynolds (*), sur la génération de la grêle. On sait que ce physicien a pu former des grêlons artificiellement. Il lançait, à cet effet, un courant d'air verticalement par un tube de 3 millimètres d'ouverture sous une pression de 40 à 50 centimètres d'eau, et lui faisait pulvériser en même temps de l'eau et de l'éther. L'éther, se vaporisant rapidement, déterminait la congélation de l'eau et l'on obtenait un brouillard de glace. En tenant, dans ce brouillard, un copeau de bois, celui-ci se couvrait d'une croûte de glace ressemblant entièrement à la glace d'un grêlon.

En quittant Macugnaga, petit village situé au pied italien du mont Rose, pour franchir le *Monte Moro*, nous avons pu constater, dès notre mise en route, que la pluie qui tombait dans le fond de la vallée n'était que de la glace fondue. Nous arrivâmes bientôt dans les nuages marquant la limite entre la région plus chaude et la région plus froide de l'atmosphère. L'opacité du brouillard était très grande et il tombait toujours un mélange d'eau, de neige et de grêle. Enfin, quelques centaines de mètres plus haut, nous nous sommes trouvés hors du brouillard humide pour être plongés dans un véritable brouillard de glace, ou, pour mieux dire, dans un amas de cristaux de grésil dont les facettes brillaient à nos yeux dès que leur chute les amenait sous un angle voulu. Le sol était couvert d'une croûte épaisse de glace allant s'épaississant toujours et rendant la marche très difficile. Des blocs de rochers isolés, mieux exposés sans doute pour recevoir la pluie de glace, en étaient couverts sous une épaisseur considérable. Tout le sol, en un mot, était comme une glu à laquelle chaque parcelle de glace restait adhérente sitôt qu'elle l'avait atteinte. On avait là un exemple frappant du phénomène du regel. Cette glace ne nous a pas moins épargnés que le sol. Les parties de notre corps non conductrices de la chaleur, ainsi que nos habits, se couvraient,

(*) *Der Naturforscher*, t. XI, p. 159.

avec une rapidité étonnante, d'une couche de glace. Au bout de moins de deux heures, notre barbe, par exemple, était comme enracinée dans un bloc de glace, impossible à enlever, pendant sur la poitrine et dont le poids n'était certes pas loin d'un kilogramme. Les habits, et surtout le chapeau, étaient couverts d'une couche épaisse, opaque, ayant tous les caractères de la glace des grêlons.

A travers ce brouillard de grésil, dont la température devait être certainement inférieure à 10° ou 15° sous zéro, tombaient des particules de glace beaucoup plus grosses qui se nourrissaient évidemment de toute celle qu'elles rencontraient en chemin.

Chaque grêlon, de tout volume, depuis le plus petit jusqu'à celui d'un œuf de poule, n'est, par conséquent, que le résultat de l'union, par regel, d'un grand nombre de cristaux de grésil : on peut dire de lui qu'il est le produit d'une avalanche de glace qui traverse un brouillard de grésil. Mais, pendant que ces cristaux microscopiques se réunissent ainsi par milliards et subissent le regel en des blocs de glace, il y a une surface libre énorme qui disparaît dans un corps non conducteur de l'électricité, la *glace*, et en présence d'un autre corps non conducteur, l'*air sec*. Comme mon ami M. Van der Mensbrugge et moi nous l'avons montré (*), il y a six années déjà, à cet engoulement énorme de surface doit correspondre un développement très grand d'électricité ; celle-ci s'ajoutera à celle qu'engendre encore le frottement des grêlons contre l'air, si toutefois les électricités sont de même sens. N'est-il pas évident, d'après cela, que le véritable siège de l'électricité des orages, le véritable lieu de sa production sous forte tension, se trouve dans les parties froides et sèches de l'atmosphère, où la condensation de la vapeur d'eau n'a pas lieu sous forme de globules liquides, mais bien sous forme de cristaux solides ?

Il me sera permis de rappeler ici des observations faites par divers physiciens ; elles viennent corroborer celles que je viens de faire connaître et elles apporteront des preuves nouvelles à l'explication que je propose.

(*) G. VAN DER MENSBRUGGE, *Application de la thermodynamique à l'étude des variations d'énergie potentielle des surfaces liquides, etc.* (BULL. DE L'ACAD. ROY. DE BELGIQUE, 2^e série, t. XLI, 1876.)

W. SPRING, *Sur le développement de l'électricité statique et sur l'écoulement du mercure par un tube capillaire.* (IDEM, t. XLI, 1876.)

Notre confrère M. Melsens a publié récemment (*) une intéressante observation qu'il a faite pendant une chute de grésil et de laquelle il ressort, à toute évidence, que les grains de grésil étaient électrisés. « En effet, dit-il, les petits grêlons, tombant à terre dans une cour pavée en dalles de pierre bleue des Écaussines, sèches au moment de la chute, étaient arrêtés sans ricocher, à une faible distance du point de chute; mais on en voyait un nombre assez considérable qui, après avoir été immobilisés, rebondissaient tout à coup avec une assez grande force pour se distinguer parfaitement des autres; ils décrivaient une petite trajectoire de 30 et même de 60 centimètres de longueur. » Cette répulsion était due, bien certainement, à un phénomène électrique. M. Melsens a eu la bonté, à ce sujet, de me faire connaître un passage d'une lettre que M. Hirn lui a adressée à la suite de la lecture de cette dernière observation; l'illustre physicien de Colmar a bien voulu m'autoriser à reproduire ici le passage et à livrer à la publicité une observation qu'il a pu faire il y a déjà quelques années; il me sera permis de le remercier de nouveau de son obligeance.

Voici ce passage : « Votre observation sur le grésil est des plus » curieuses; je connaissais celle de M. Colladon, qui est du même » genre. Les phénomènes observés sont visiblement dus à un état de » charge électrique des plus intenses. Il est plus que probable que » cet état est une des conditions dominantes de la formation de la » grêle. — J'ai fait, il y a bon nombre d'années déjà, une observa- » tion d'un autre ordre que j'ai peut-être eu tort de ne pas publier : » Me trouvant un jour en plein air pendant une chute abondante de » grésil parfaitement sec, c'est-à-dire sans mélange d'aucune goutte- » lette d'eau, j'étendis par hasard le bras de façon à exposer le dessus » de la main nue à la grêle. A mon plus grand étonnement j'éprouvai » une sensation de chaleur très intense qui, évaluée en degrés, » répondait à plus de trente degrés. Frappé de cette sensation, » je retirai la main pour exposer l'autre à la grêle; j'alternai ainsi » à plusieurs reprises, et toujours avec les mêmes résultats. — Pour » expliquer cette sensation, il ne saurait un seul instant être question » de la chaleur due à la percussion de petits grêlons. Ceux-ci avaient » à peine 8 millimètres de diamètre; ils étaient opaques et neigeux

(*) *Ciel et Terre*, n° 3, avril 1881.

» intérieurement, quoique de forme ronde bien définie; leur poids » était *très petit*; le choc produit était à peine sensible à la peau. » Encore une fois, la sensation de chaleur ne pouvait être attribuée » au choc; elle ne dérivait non plus d'un phénomène de simple » contraste; je n'avais pas les mains froides au moment de l'observa- » tion. A quoi faut-il alors l'attribuer? Je n'en sais rien. »

Cette production étonnante de chaleur ne trouverait-elle pas sa raison d'être dans la neutralisation de l'électricité du grésil au contact de la main?

Voici, d'autre part, l'observation de M. Colladon, dont parle M. Hirn et que M. Melsens cite dans sa note sur le grésil; elle est du 19 janvier 1881 : « Pendant de très fortes bourrasques qui ont eu » lieu à Genève à cette date, dit M. Colladon, on a vu trois ou quatre » éclairs, et, presque en même temps, il est tombé une averse de » grésil (*) dont les grains avaient pour diamètre depuis une fraction » de millimètre jusque 5 ou 6 millimètres.... Ces grains avaient des » soubresauts fort singuliers, rappelant un peu la danse des pantins, » ou les mouvements saccadés des petits fragments de moelle de » sureau, quand on approche d'eux un bâton de verre ou de résine » préalablement électrisé. »

Voici encore une citation que fait M. Melsens d'un passage de Kaemtz (**):

« Du 24 au 31 juillet 1842, le temps fut impétueux et très variable » sur le Faulhorn. Pendant les journées du 27 au 30, Peltier observa » au moins vingt alternatives de neige et de grésil en chacun de » ces jours. Toutes les fois que le nuage qui en enveloppait la mon- » tagne était blanc, l'électricité était puissamment positive et la neige » tombait avec abondance. Ce nuage était bientôt suivi d'un nuage » gris qui donnait du grésil et dont l'électricité avait une si grande » tension négative, qu'aucun de ses instruments ne pouvait la » mesurer. »

Je pourrais multiplier encore ces observations, mais ce serait trop dépasser les limites que je désire donner à cette note; je crois utile, toutefois, de faire connaître les quelques lignes suivantes; elles sont

(*) C'est bien là ce que j'ai pu observer à l'Urnenalp.

(**) *Cours complet de Météorologie*, 1858, p. 356.

dues à M. Becquerel (*) et se rapportent à un phénomène électrique qui se produit souvent dans les régions froides du Nord, où, par suite du défaut d'une grande différence dans la température des courants d'air régnants, la production de l'électricité ne se fait pas instantanément, mais lentement. La décharge électrique n'est pas brusque alors, mais lente et silencieuse : il se produit une aurore boréale.

Nous rapporterons à cette occasion les observations faites par un grand nombre de personnes témoins d'aurores boréales et qui ont constaté que leur apparition est accompagnée, le plus souvent, de *gelées blanches et de chutes de neige*. « Cette remarque, dit M. de la Rive, dans son intéressante notice sur les aurores boréales de 1859, prouverait la coexistence des aurores et des particules glacées dans l'atmosphère ».

Quant à la question de savoir si le lieu de l'atmosphère où se forment les grêlons est suffisamment froid pour qu'on doive y exclure la possibilité de l'existence d'eau liquide, elle me paraît bien établie par une observation faite en 1875 par Boussingault (**). Pendant un très fort orage qui éclata à Unieux, dans le département de la Loire, il grêla si fort qu'une table de jardin, en fer, fut chargée, en quelques minutes, de plusieurs kilogrammes de glace. Boussingault plongea dans ces grêlons, lorsque l'orage fut passé, un thermomètre, et il leur trouva encore 15° sous zéro. Dans l'air le thermomètre marquait 26° au-dessus de zéro.

Il est nécessaire encore de toucher un autre point. Si le siège de l'orage se trouve véritablement dans la région de la grêle, c'est-à-dire à une hauteur assez grande pour que le froid puisse y être intense, il doit être bien rare, à moins qu'on ne se trouve au sommet d'une montagne très élevée, comme le mont Blanc ou le mont Rose, de pouvoir contempler un orage au-dessous de soi. Plusieurs observateurs affirment cependant s'être trouvés dans ces conditions et même d'avoir vu un orage au-dessous d'eux du haut de montagnes relativement basses, comme le Righi ou le Pilate, près de Lucerne. Cependant il paraîtrait que ces observateurs ont été le jouet d'une illusion ou d'un mirage. Notre savant confrère M. Folie, avec qui j'ai eu le plaisir de

(*) *Des forces physico-chimiques*, par BECQUEREL, 1875. Paris.

(**) *Comptes rendus*, t. LXXXIX, p. 202,

causer du sujet de cette note, a bien voulu me faire connaître cette circonstance, que j'ignorais.

Il n'est pas à dire, cependant, qu'il ne puisse y avoir des sommets de montagne émergeant d'une région d'orage. La preuve se trouve dans une autre observation de Boussingault (*) qu'il me sera permis de résumer ici, parce qu'elle confirme les faits que je viens d'avancer.

Pendant son voyage aux Andes, Boussingault se trouva à une station très élevée où le baromètre ne marquait que 580 millimètres. Le temps était superbe. On se trouvait au-dessus d'une masse de nuages dans laquelle on pénétra, par le dessus, pendant la descente. On était alors à 4,500 mètres. Il tonnait, *et l'on était dans une grêle très fine* dont les grains devenaient de plus en plus gros à mesure qu'on descendait, jusqu'à présenter les dimensions d'une balle de fusil. L'épaisseur de la région des grêlons, mesurée au baromètre, était de 2,100 mètres. Au-dessous il pleuvait et l'orage grondait dans les régions supérieures.

Dans l'explication que je viens de donner de l'origine des orages, il se trouve une affirmation qui nécessite une vérification expérimentale. Nous allons nous occuper de ce point.

J'ai dit plus haut que l'électricité des orages prenait probablement sa source dans l'anéantissement de la surface libre des cristaux de grésil, pendant la réunion de ceux-ci, ainsi que dans le frottement des grêlons dans l'air sec : le grêlon prend l'une des électricités et l'air atmosphérique l'autre. Il y a une double difficulté à concevoir ce procédé.

En premier lieu, il a été bien établi, par les expériences de Faraday (**), qu'un corps ne s'électrise pas par le frottement de l'air sec et pur. Les résultats contraires qui avaient été obtenus par un grand nombre de physiciens étaient dus à l'état impur de l'air lancé contre les corps solides. Cet air renfermait, soit des poussières de corps solides, soit des globules microscopiques d'eau. L'électricité dont on avait constaté la présence n'était pas due au frottement de l'air, mais bien au frottement des particules solides ou liquides en suspension dans l'air. Ce résultat, étrange à première vue, n'a pourtant rien qui doive étonner. Si l'on examine de plus près

(*) *Loc. cit.*

(**) *Exp. research*. al, 2129.

les conditions de l'expérience, on se convainc même qu'il doit en être ainsi. En effet, une électrisation par frottement, pour se produire, demande qu'il y ait un arrachement latéral de deux corps différents en contact. Cette condition n'est pas réalisée dans le cas de frottement d'un gaz contre un corps solide. Dans ce cas, il adhère, à la surface du corps solide, une gaine de gaz contre laquelle se fait en réalité le frottement du restant de gaz; en un mot, on réalise plutôt le frottement d'un gaz contre lui-même, que le frottement d'un gaz contre un corps solide. Dans ces conditions il ne peut se développer de l'électricité.

Mais en est-il de même quand un grêlon *en voie de formation* traverse de l'air sec? En aucune façon. Si nous considérons, en effet, le grêlon à son origine, c'est-à-dire au moment où deux particules de givre s'unissent par le regel, nous assistons à une production d'électricité par suite des variations apportées dans la surface de contact des particules du givre avec l'air. Nous avons montré, mon ami G. Van der Mensbrugge et moi (*loc. cit.*) que des variations de cette nature doivent être accompagnées d'un développement d'électricité. Dans le cas présent le grêlon naissant prendra l'une des électricités et l'air atmosphérique l'autre. Mais quand deux facettes de deux cristaux de grésil s'appliquent l'une vers l'autre pour se souder par le regel, il y a non seulement une variation dans la surface du grésil et de l'air, mais une véritable expulsion de l'air entre les facettes qui vont se souder. Il se produit en réalité une destruction de l'adhérence de l'air au grésil, pour faire place à l'adhérence de deux particules de grésil, c'est-à-dire un *frottement véritable, cette fois, d'un gaz contre un corps solide*. On n'a pas encore vérifié, à ma connaissance, du moins, si le frottement d'un gaz contre un corps solide, compris comme je viens de l'indiquer, est une source d'électricité.

La seconde difficulté à laquelle je fais allusion provient de la question de savoir si l'air, qui n'a cependant aucune surface libre, peut entraîner l'une des électricités, dans le procédé précédent. Il est clair que, si l'expérience confirme l'électrisation d'un corps solide par le frottement véritable de l'air, il faudra accepter le fait comme il se présente.

Mon intention première avait été de pulvériser, dans une journée froide et sèche de l'hiver, rappelant le mieux l'état atmosphérique

d'une région élevée, de l'eau et de l'éther par un courant d'air et m'assurer s'il se produisait de l'électricité pendant le regel du brouillard de glace ainsi obtenu. Il est clair que je réalisais ainsi les conditions du frottement d'un grêlon par l'air atmosphérique. L'hiver exceptionnellement doux dont nous avons joui ne m'a pas permis d'exécuter mon projet; mais, pour ne pas attendre plus longtemps, je me suis décidé à réaliser autrement les conditions de l'expérience. Il m'a paru que ce but pouvait être atteint en dirigeant un courant d'air sec sur un corps solide quelconque, une sphère de laiton, par exemple, après avoir eu soin d'élever la température de celle-ci jusque vers 70° - 80° pour diminuer fortement l'adhérence de la gaine d'air qui l'entoure.

Le 26 du mois de juin dernier, malgré la pluie intense qui tombait et rendait l'air du laboratoire d'autant plus humide que celui-ci est d'ailleurs situé au rez-de-chaussée et n'est pas défendu contre les infiltrations du sol par une cave, j'ai comprimé de l'air, séché sur du chlorure de calcium, dans un réservoir, à la pression de 0,6 atm.; je l'ai lancé ensuite, par un tube métallique de 0^m002 d'ouverture, sur la boule en laiton d'un électroscope à feuilles d'or. La boule se trouvait à 0^m05 de l'orifice du tube et devait jouer le rôle de grêlon. En élevant la température de la boule suffisamment pour que, malgré le froid produit par l'expansion de l'air comprimé, il n'ait pu se condenser de l'humidité à sa surface, j'ai obtenu un écart des feuilles de l'électroscope de 30°. L'écart est maximum pendant la durée du courant d'air; quand celui-ci a cessé, l'électroscope reste chargé d'électricité *positive*. On le constate facilement en approchant de la boule un bâton de cire à cacheter électrisé négativement par frottement; les feuilles d'or s'abaissent alors pour se relever quand on écarte le bâton de cire à cacheter.

Avec une pression d'air plus forte, 1 atm., la quantité d'électricité produite a été plus grande; c'était à prévoir: les feuilles de l'électroscope se sont écartées de 50°. Mais ce qui me paraît plus inattendu, c'est que les feuilles d'or ne restent pas également écartées pendant que la boule de l'électroscope est exposée au courant d'air: elles divergent d'abord fortement, puis retombent presque subitement pour diverger de nouveau. Le courant d'air restant cependant uniforme, il me paraît que ces diminutions de l'état électrique de l'électroscope ne peuvent trouver leur raison d'être que dans une

recomposition instantanée des électricités de la boule et de l'air; en un mot, si je ne me trompe, on aurait là l'image fidèle de ce qui se passe pendant un orage.

Ces expériences me semblent concluantes; malgré l'humidité de l'air de la salle dans laquelle on opérait, il s'est produit de l'électricité, avec facilité, pendant le frottement de l'air contre le laiton. D'après cela, il me paraît nécessaire d'admettre que si une région sèche de l'air, d'une étendue considérable, est le siège de la formation d'une légion de grêlons, il doit se produire une quantité d'électricité suffisante pour donner lieu aux phénomènes que nous observons en temps d'orage.

Comment se répartira l'électricité dans un milieu semblable où l'air sec, aussi bien que les grêlons eux-mêmes, est mauvais conducteur de l'électricité? Une expérience très ingénieuse de Faraday (*) nous permettra de répondre à cette question.

Faraday, ayant relié, par un fil conducteur, un panier métallique isolé et un électroscope, laissa descendre dans le panier une sphère métallique chargée d'électricité et suspendue à un fil de soie. Au moment où la sphère entra dans le panier, sans le toucher toutefois, l'électroscope accusa de l'électricité. Celle-ci alla en augmentant jusqu'à un certain maximum quand la sphère était plongée assez profondément dans le panier. Cette expérience montra que la surface extérieure du panier se chargeait, par influence, d'une électricité de même sens que celle de la sphère. En emboîtant plusieurs paniers semblables l'un dans l'autre, en les isolant cependant au moyen de soufre ou d'une autre substance, les résultats ont encore été les mêmes. La surface extérieure du panier extérieur prenait l'électricité de la boule par influence.

Il résulte de là que si un très grand nombre de sphères électrisées sont voisines l'une de l'autre et séparées par un milieu isolant, par la seule influence électrique d'une sphère sur l'autre, celles qui forment en quelque sorte la surface de cette région devront recevoir ensemble une charge électrique égale à la somme des charges des sphères centrales. Par conséquent la région extérieure d'un lieu de l'atmosphère où se forment des grêlons devra acquérir une tension

(*) *Exper. research.* Je dois à M. Melsens la connaissance de cette expérience de Faraday, qui ne se trouve pas reproduite dans les ouvrages spéciaux.

électrique énorme. Le plus souvent les grêlons de cette région extérieure électrisés de même sens devront se fuir les uns les autres; de là sans doute ces mouvements désordonnés qu'on a souvent observés chez des grêlons au moment où ils paraissent sortir de leurs nuages.

Si le lieu de la production de l'électricité est assez éloigné du sol, et surtout si la différence de tension entre l'électricité du sol et celle des grêlons est faible, la décharge électrique aura lieu dans l'atmosphère, entre l'air et les grêlons: c'est le cas général; dans le cas contraire, plus rare, une décharge se fera entre le sol, ou les objets élevés, et la région des grêlons électrisés.

Enfin, comme la tension électrique des grêlons dépend de leur vitesse et doit, par conséquent, varier d'un lieu à l'autre, la décharge ne pourra généralement pas se faire dans une région rectiligne ou plane; mais elle doit parcourir une ligne quelconque, un zigzag, par exemple.