

conductibilité, comme le bois, les feuilles, la terre, sont ceux où la rosée se dépose en plus grande abondance. Le dépôt de rosée est à peu près insensible sur les métaux polis, qui ont à la fois un pouvoir émissif très faible et une grande conductibilité.

882. **Gelée blanche.** — On désigne sous le nom de *gelée blanche*, un dépôt de glace, en petits cristaux, qu'on observe quelquefois sur les herbes et autres corps, à la surface du sol, après les nuits claires. — La gelée blanche se forme dans les mêmes circonstances que la rosée, surtout au printemps et en automne. En effet, si la température de l'air n'est que de quelques degrés *au-dessus de 0°*, par un ciel serein, la température du sol, qui lui est inférieure de 5 à 6 degrés en moyenne (881), peut s'abaisser à quelques degrés *au-dessous de 0°*; alors, la condensation de l'humidité, au lieu de se faire sous forme de gouttelettes liquides, donne naissance à de petites aiguilles de glace, qui hérissent la surface des objets refroidis.

Les gelées blanches qui surviennent à la fin d'avril ou au commencement de mai sont particulièrement funestes aux arbres fruitiers. A la suite de ces gelées, les bourgeons qui sont déjà développés ne tardent pas à se faner et à *roussir*. De là le nom de *lune rousse*, qui a été donné à la lune d'avril, c'est-à-dire à celle qui commence en avril pour se terminer en mai (*). — Les habitants des campagnes ont observé, en effet, que *c'est lorsque la lune brille*, c'est-à-dire lorsque le temps est pur, que ces gelées tardives sont surtout à craindre; mais il serait absurde de croire que c'est la lune elle-même qui produit ces effets sur les végétaux.

885. **Givre ou frimas.** — Le brouillard possède la propriété, signalée sans explication par de Saussure en 1785, de pouvoir exister dans une atmosphère bien au-dessous de 0°, sans se congeler. On peut observer souvent qu'il en est ainsi, en hiver, à la surface du sol, et les nuages donnent lieu à une observation analogue. — C'est là un phénomène de surfusion. Les gouttelettes très fines du brouillard, en suspension dans l'air, se trouvent, en effet, absolument dans les conditions que M. Dufour a réalisées dans des gouttes d'eau en équilibre au milieu d'un autre liquide (275). M. Dufour a montré que, dans ce cas, le point de congélation pouvait être retardé jusqu'à près de -20° , pour les plus petites de ces gouttes. La même limite paraît devoir être adoptée pour les globules du brouillard : Fournet a vu en effet du brouillard non gelé à -15° et -14° , et M. E. Renou à $-21^{\circ},7$.

Lorsque des gouttelettes liquides en surfusion viennent à rencontrer un corps solide dont la température est inférieure à 0°, la surfusion cesse, et la cristallisation se produit. C'est ainsi que se forme le *givre*, ou *fri-*

(*) On sait que l'âge de la lune se compte depuis une nouvelle lune jusqu'à la suivante.

mas, qui consiste en un dépôt de glace cristallisée, s'effectuant petit à petit (souvent en plusieurs jours), à la surface des objets placés sur le sol. — Lorsque le dépôt a lieu par un brouillard coïncidant avec une température de plusieurs degrés au-dessous de 0°, il peut atteindre des proportions assez considérables pour faire rompre les branches des arbres ou les fils des télégraphes.

884. **Brouillards.** — **Nuages.** — On donne le nom de *brouillard*, au résultat de la condensation de la vapeur d'eau au voisinage du sol : cette eau forme alors une multitude de gouttelettes fines, qui donnent à l'air une opacité plus ou moins grande. — Quand ces amas de vapeur condensée occupent les régions plus élevées de l'atmosphère, ils constituent les *nuages*.

Cette assimilation entre les brouillards et les nuages est justifiée par les observations directes. L'observateur placé dans la vallée voit souvent des nuages courir sur les flancs des montagnes; ces nuages ne sont que des brouillards, pour un observateur placé à leur hauteur. De même, dans les ascensions en ballon, l'aéronaute qui traverse les nuages se trouve plongé dans un brouillard plus ou moins épais.

La cause générale de la production des brouillards ou des nuages est le refroidissement d'une masse d'air déjà voisine de son point de saturation. — C'est ainsi, par exemple, qu'il se forme des brouillards à la fin des nuits de printemps ou d'automne, dans les vallées contenant des cours d'eau, lorsque l'air humide arrive au contact des flancs refroidis de la vallée. — C'est ainsi encore qu'il se forme des nuages, lorsque la vapeur d'eau qui se dégage d'un sol échauffé et humide arrive dans les couches élevées de l'atmosphère, où la température est plus basse. — Inversement, mais pour la même raison, lorsqu'un vent chaud et humide vient à souffler sur des régions qui ont été soumises antérieurement à un froid prolongé, il y a condensation de la vapeur et formation de brouillards. C'est ce qu'on observe dans les moments de dégel, par exemple.

Parmi les causes de formation des nuages, Babinet a signalé encore le phénomène suivant. Les vents d'ouest qui soufflent en France se sont chargés d'humidité en passant sur l'Océan : à mesure qu'ils pénètrent sur le continent, dont les reliefs deviennent de plus en plus saillants ils arrivent dans des couches atmosphériques plus élevées et par suite plus froides : ils atteignent donc bientôt leur point de saturation, et peuvent le dépasser. — Enfin les nuages se forment plus rapidement encore quand ces vents rencontrent des montagnes, dont la cime disparaît alors dans les brouillards qui la couronnent.

885. **Principales espèces de nuages.** — Les formes des nuages, et leurs distances à la terre, sont extrêmement variables : on peut cependant les rapporter à trois types principaux.

On désigne, sous le nom de *cirrus*, les nuages en forme de stries

blanches (fig. 711), qui apparaissent au milieu du ciel bleu, et qui signalent généralement la fin d'une période de beau temps. Leur distance

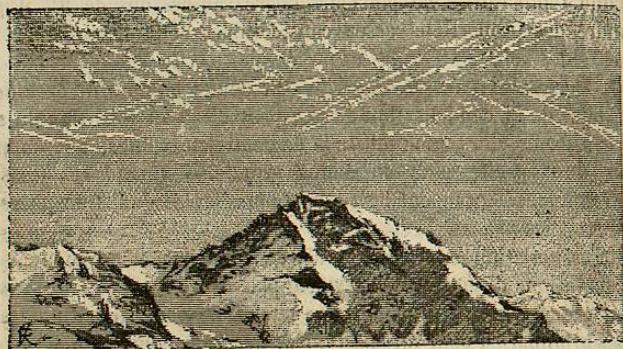


Fig. 711. — Cirrus.

à la terre peut atteindre 9 ou 10 kilomètres. — A ces hauteurs considérables, la température est toujours extrêmement basse, même pendant l'été; aussi, a-t-on pu constater que ces nuages se composent, non pas de gouttelettes d'eau liquide, mais de petites aiguilles de glace, flottant dans l'atmosphère (*).



Fig. 712. — Cumulus.

On donne le nom de *cumulus*, à ces gros nuages qui présentent la forme de masses blanches, à contours arrondis (fig. 712), et qui cou-

(*) C'est ce que démontrent, en particulier, les phénomènes produits par le passage des rayons du soleil ou de la lune à travers ces nuages. — C'est ce qu'on a également pu constater dans certaines ascensions aérostatiques.

vrent souvent une partie du ciel sans amener le mauvais temps (*). — Ils sont situés à des hauteurs qui ne dépassent guère 2 à 3 kilomètres, et sont formés de gouttelettes d'eau liquide, d'une finesse extrême.

Enfin, on désigne sous le nom de *nimbus*, les gros nuages sombres (fig. 713), qui interceptent la lumière du soleil, et qui prennent par-



Fig. 713. — Nimbus.

fois une étendue considérable. Ils sont généralement situés beaucoup plus bas que les précédents, et peuvent arriver à raser la surface du sol.

886. **Pluie.** — Ni les cirrus, ni les cumulus isolés ne donnent naissance à la pluie; c'est de la rencontre de ces deux espèces de nuages, dans la verticale, que résultent ordinairement les *nimbus* ou nuages à pluvié. — On comprend que, si les aiguilles de glace des cirrus, à une très basse température, viennent à rencontrer dans leur chute les gouttelettes liquides des cumulus qui s'élèvent, soulevés par les courants d'air chaud provenant du sol, il en résulte une condensation puissante, qui donne aux gouttes un poids suffisant pour les faire tomber. Leur volume s'accroît, en chemin, par la condensation de nouvelles vapeurs, en sorte que les gouttes de pluie sont d'autant plus grosses qu'elles viennent d'une plus grande hauteur.

Le mécanisme que nous venons d'exposer s'applique surtout aux pluies d'été, et notamment aux pluies d'orage. — En hiver, dans nos contrées, lorsque, à une période de froid résultant du vent de nord-est, succède un vent chaud et humide de sud-ouest, il se forme de vastes nimbus, qui déterminent des pluies abondantes. On ne peut mieux comparer le phénomène qu'à une vaste distillation, dont la chaudière serait à l'équateur, et le réfrigérant dans nos régions.

887. **Neige. — Grêle. — Grésil.** — Lorsque les nimbus d'hiver se forment dans des régions froides, les globules des nuages se congèlent, en donnant naissance à de petites aiguilles prismatiques de glace, qui

(*) Les cumulus apparaissent quelquefois, à l'horizon, sous la forme de bandes horizontales, qu'on désigne alors sous le nom de *stratus*.

se groupent généralement en étoiles régulières dont les angles sont toujours de 60° ; elles affectent d'ailleurs des formes très diverses, dont la figure 714 représente quelques types. — Ce phénomène est assez

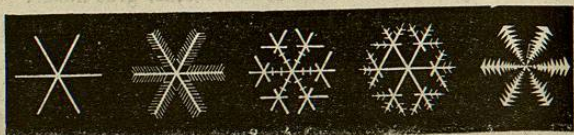


Fig. 714. — Flocons de neige.

fréquent dans les hautes régions de l'atmosphère, comme le témoignent les chutes de neige, en toute saison, sur les sommets des Alpes et des Pyrénées; mais, si la température est assez élevée à la surface du sol, cette neige fond en chemin et arrive en pluie.

Le mécanisme de la formation de la grêle, en été, a embarrassé jusqu'ici presque tous les météorologistes; on peut cependant se l'expliquer en se reportant à ce que nous avons dit plus haut (886). Imaginons, d'une part, des cirrus très élevés, à 10 000 mètres, dont la température peut être, même en été, de -20° à -50° ; d'autre part, des cumulus, formés par un temps chaud et humide, à une grande hauteur, et s'élevant rapidement par l'effet du courant ascensionnel d'air chaud. Ces cumulus peuvent atteindre des régions dont la température est inférieure à 0° , et y rester en surfusion, jusqu'à ce que les aiguilles de

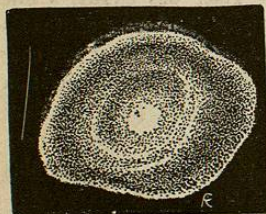


Fig. 715. — Coupe d'un grêlon.

glace des cirrus y déterminent, par leur chute, une congélation partielle; les noyaux ainsi formés, analogues à des grains de grésil, augmenteront de grosseur par l'adjonction de couches successives d'eau en surfusion, et la congélation des couches additionnelles pourra se produire presque instantanément. — L'observation montre en effet que, lorsqu'on coupe un grêlon en travers (fig. 715),

on trouve généralement au centre une partie blanche et opaque, ressemblant à un grain de grésil; puis, autour de cette espèce de noyau, des couches de glace transparente.

On sait enfin que le phénomène de la grêle est intimement lié aux orages, car la chute de la grêle est toujours accompagnée d'éclairs et de tonnerre. — Volta a imaginé une théorie qui, sans rendre compte de tous les détails du phénomène, permet au moins d'en expliquer quelques-unes des particularités. Il suppose que les grêlons, se formant dans un nuage électrique, et étant électrisés eux-mêmes, doivent être soutenus dans l'atmosphère par l'attraction de nuages placés au-des-

sus, chargés d'une électricité contraire et donnant lieu aux décharges électriques. Cette circonstance permettrait aux grêlons d'acquies les dimensions considérables qu'on observe quelquefois, et dont l'explication constitue la principale difficulté de la théorie de la grêle. — A la suite d'une forte décharge électrique, le nuage laisserait échapper subitement son fardeau de grêlons, qui tomberait alors vers le sol.

La chute de la grêle est toujours de très courte durée. Les grêlons arrivent par ordre de grosseur, les plus gros les premiers, comme si tous avaient été abandonnés au même instant.

Le grésil paraît se former de la même manière que la grêle; seulement, l'absence de l'électricité ne permet pas à ces noyaux opaques de se soutenir dans l'air et d'y acquies des dimensions comparables à celles des grêlons.

En résumé, on comprend comment, en hiver, la simple congélation des nimbus, dans un air froid, donne de la neige; comment, au printemps, la rencontre des cirrus avec les cumulus qui s'élèvent du sol donne du grésil; comment enfin, en été, le même phénomène, accompagné d'une forte tension électrique, donne de la grêle (*).

888. Verglas. — Une dernière circonstance peut se présenter, dans la condensation de l'eau atmosphérique; c'est une pluie (eau liquide) tombant à travers une atmosphère au-dessous de 0° , et se continuant quelques heures, en même temps que la gelée persiste au niveau du sol. Dans ce cas, très rare d'ailleurs, il y a formation de verglas: la surface du sol, et de tous les objets exposés à la pluie, se couvre d'une couche uniforme de glace transparente et lisse, dont l'épaisseur va en augmentant avec la durée du phénomène.

Cette circonstance anormale se présente à la suite d'une longue période de froid, lorsqu'au vent du nord-est succède le retour du courant équatorial du sud-ouest. Ce courant atteint nos contrées par les hautes régions d'abord, en produisant des nuages dont la marche est contraire à celle du vent qui règne à la surface du sol, et qui est indiqué par les girouettes: il en résulte un trouble momentané dans la distribution de la température suivant la verticale; le dégel commence par en haut.

Or, nous avons dit plus haut (885) que le brouillard ne se congèle dans l'atmosphère qu'à -20° environ; il suffit donc que les hautes régions de l'atmosphère, réchauffées par le vent du sud-ouest, arrivent à n'être plus qu'à une dizaine de degrés au-dessous de zéro, pour que la pluie puisse y prendre naissance; cette pluie en surfusion, tombant sur un sol à 3 ou 4 degrés au-dessous de zéro, s'y congèle, pour la plus

(*) Les principaux traits de cette théorie de la pluie et de la grêle sont empruntés à un mémoire publié par M. E. Renou en 1866.

grande partie. Une pluie peu abondante peut même se transformer entièrement en verglas. — Le phénomène ne dure généralement que quelques heures; le courant du sud-ouest, en s'abaissant, atteint bientôt le sol et fait remonter le thermomètre au-dessus de zéro : alors le vrai dégel commence (*). — Cette explication du verglas a été donnée par M. Nouel, en 1862.

V. — ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE.

889. **Électroscope de Saussure.** — État électrique de l'atmosphère et du sol.

— L'atmosphère est toujours plus ou moins chargée d'électricité. Pour déterminer la nature et le mode de distribution de cette électricité, on peut faire usage de l'électroscope imaginé par de Saussure (fig. 716). Il diffère peu de l'électroscope à feuilles d'or qui a été décrit plus haut (fig. 510); les feuilles d'or sont remplacées par de petites balles de sureau, suspendues par des fils de platine très fins : la tige, terminée par une longue pointe métallique T, porte en D un chapeau de laiton qui abrite l'instrument.

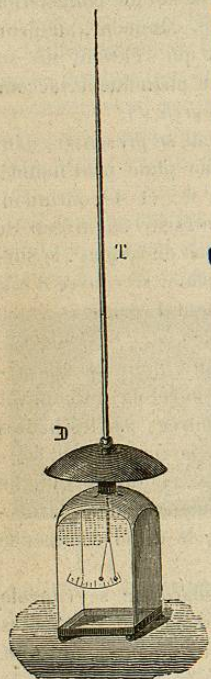


Fig. 716. — Électroscope de Saussure.

Si l'électroscope est placé au-dessous d'un corps chargé d'électricité positive, l'électricité positive de la tige est refoulée dans les balles de sureau, et l'électricité négative s'écoule par la pointe. L'instrument se charge donc, en général, de la même électricité que le corps influent : la divergence des petites balles, que l'on peut mesurer au moyen d'un arc gradué, tracé sur la paroi de la cloche, donne une idée de la grandeur de la charge que possède le corps influent.

Cet instrument, et quelques autres un peu différents, ont permis de constater que, lorsque le temps est serein, l'atmosphère est généralement chargée d'électricité positive, en quantité d'autant plus considérable que le temps est plus pur et que l'air est plus

On doit cependant noter le célèbre verglas des 22, 23 et 24 janvier 1879, qui a duré trois jours sans dégel et a causé des dégâts immenses dans les forêts d'une zone s'étendant d'Épernay à Angers.

sec. — En outre, la charge électrique augmente notablement à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère.

Au contraire, le sol est, en général, électrisé négativement; lorsque le temps est serein, un électroscope placé sous un arbre, ou dominé par un édifice, se charge d'électricité négative.

Quant à la cause qui produit ces phénomènes, il est difficile, dans l'état actuel de la science, de l'indiquer avec précision. — On peut seulement remarquer que, au voisinage des pôles de la terre, il paraît y avoir presque constamment, dans l'atmosphère, d'énormes quantités d'électricité en mouvement. Les voyageurs ont en effet signalé, dans ces régions, des aurores boréales très fréquentes : ce sont d'immenses arcs lumineux, qui apparaissent dans le ciel à une grande hauteur, et qui dardent généralement des rayons par leur partie inférieure. La couleur rougeâtre ou violacée, que présentent les aurores boréales, ressemble, d'une manière frappante, à celle des décharges électriques produites dans les espaces où l'air est très raréfié (471).

890. **Expériences anciennes, vérifiant l'identité entre les phénomènes de la foudre et ceux de l'électricité.** — L'étincelle électrique qui jaillit d'une machine fortement chargée rappelle, par sa forme sinueuse, les éclairs qui apparaissent pendant les orages. Les effets mécaniques ou calorifiques, que produisent les décharges de nos batteries, rappellent aussi ceux que produit la foudre à la surface de la terre. Ce sont là des rapprochements qui furent faits dès la découverte des phénomènes électriques. — Cependant, c'est à Franklin que revient la gloire d'avoir démontré qu'il y a réellement identité entre la foudre et les décharges électriques, et que la foudre est due à l'électricité dont sont chargés les nuages.

Les premières expériences, pour mettre en évidence l'électricité de nuages, furent faites en France par Dalibard, d'après des indications données par Franklin. — En 1752, Dalibard fit élever, dans un jardin de Marly-la-Ville, une tige de fer de quarante pieds de haut, fixée sur un support isolant et terminée en pointe à la partie supérieure. Il attendit que des nuages orageux vinssent à passer au-dessus de la tige. En approchant alors, de la partie inférieure de la tige, un fil de cuivre mis en communication avec le sol, il obtint une succession d'étincelles, plus fortes que celles des meilleures machines. — Pour comprendre ce qui s'était produit dans cette circonstance, il suffit de se reporter à ce que nous avons vu, sur la manière dont s'électrise le conducteur de la machine électrique, sous l'influence du plateau de verre (444). Admettons, en effet, que le nuage fût chargé, par exemple, d'électricité positive : il agissait, sur la tige métallique isolée, comme le plateau de la machine électrique agit sur le conducteur, c'est-à-dire que, sous l'influence du nuage, l'électricité négative de la tige s'écoulait par la pointe; l'électricité positive était repoussée à la partie inférieure de la

tige, qui pouvait ainsi fournir des étincelles à l'approche d'un corps communiquant avec le sol.

Un mois plus tard, Franklin fit lui-même, dans la plaine de Philadelphie, une autre expérience qui conduisit aux mêmes résultats. — Un cerf-volant, muni d'une pointe métallique, fut lancé dans la direction d'un nuage orageux : la corde se terminait, à sa partie inférieure, par un cordon de soie isolant. La corde de chanvre étant peu conductrice, on n'obtint d'abord que des traces douteuses d'électricité; mais, une pluie fine étant venue rendre le chanvre conducteur, Franklin put tirer de la corde des étincelles de plusieurs pouces; il put allumer de l'alcool, charger des bouteilles de Leyde, etc.

Enfin, l'année suivante, de Romas, magistrat de la petite ville de Nérac, fit encore usage d'un cerf-volant, mais il eut soin d'ajouter un fil de cuivre à la corde de chanvre, dans toute sa longueur; l'extrémité inférieure de ce fil aboutissait à un cylindre métallique, supporté par des cordons de soie. — A l'approche de nuages orageux, on présenta à ce cylindre un autre cylindre métallique, que l'on tenait par un long tube de verre, et qui était mis en communication avec le sol. Des étincelles éclatèrent entre les deux cylindres; au plus fort de l'orage, elles prirent la forme de lames de feu, de dix pieds de long, produisant un bruit qui s'entendait à une distance considérable. Des débris de paille, qui se trouvaient sur le sol, s'élançaient vers la corde, avec un crépitement continu. — Cette expérience se termina par un coup de tonnerre formidable : la foudre était tombée à une petite distance (*).

891. **Nuages positifs et nuages négatifs.** — On sait aujourd'hui que les nuages sont chargés tantôt d'électricité positive, tantôt d'électricité négative. — C'est ce dont on peut se rendre compte, en remarquant qu'un nuage formé au milieu de l'atmosphère doit être chargé d'électricité *positive*, comme l'air lui-même (889). Au contraire, un brouillard qui se produit à la surface du sol, et qui, en s'élevant, forme un nuage, doit être électrisé *négativement*. — Enfin, un nuage chargé d'électricité *positive* peut agir par influence sur un nuage placé au-dessous de lui, et le charger d'électricité *négative*.

892. **Foudre.** — On comprend que, si deux nuages chargés d'électricités contraires se rapprochent suffisamment l'un de l'autre, il éclate entre eux une décharge, résultant de la combinaison de leurs électricités. — De même, si un nuage fortement électrisé se rapproche de la

(*) On comprend tout le danger que présentent ces expériences. Le 6 août 1753, Richmann, membre de l'Académie de Saint-Petersbourg, en renouvelant des essais du même genre, s'approcha par mégarde du conducteur électrisé : la décharge l'atteignit au front, et la mort fut instantanée. — De pareilles tentatives ne doivent donc être faites que par des physiciens consommés, auxquels la pratique des expériences indique toutes les précautions dont il est nécessaire de s'entourer; la moindre imprudence peut être fatale à l'expérimentateur ou à ceux qui l'entourent.

terre, il attire à la surface du sol l'électricité contraire à la sienne, et peut déterminer une décharge qui éclate entre lui et la terre.

La *foudre* n'est autre chose que la décharge puissante, qui se produit dans l'une ou l'autre de ces deux circonstances. — L'*éclair* est le phénomène lumineux qui accompagne la décharge. — Le *tonnerre* est le bruit de la décharge elle-même.

Nous allons étudier successivement les principales particularités que présentent ces phénomènes.

895. **Éclairs.** — La lueur de l'éclair, plus vive que celle des étincelles électriques artificielles, est *instantanée*. Quelle que soit la précision des méthodes employées jusqu'ici, on n'a pu encore lui assigner aucune durée appréciable. — Quant à la forme du sillon lumineux, elle rappelle ces étincelles en zigzags (fig. 352) qui partent des machines électriques fortement chargées, à une distance assez considérable. La longueur du sillon produit par l'éclair peut parfois être très grande : les évaluations les moins exagérées portent à lui donner, dans certaines circonstances, jusqu'à 12 ou 15 kilomètres (*).

On distingue les éclairs, au point de vue de leur éclat, en deux classes. — Les *éclairs de première classe* forment un sillon éblouissant, en général blanc ou bleuâtre, et nettement arrêté sur les bords : ils éclairent d'une lueur vive la voûte du ciel et les objets placés à la surface de la terre. — Les *éclairs de seconde classe* consistent en des lueurs diffuses, qui n'éclairent généralement qu'une partie du ciel. Ces lueurs sont produites, dans la plupart des cas, par des éclairs dont nous n'apercevons pas directement la lumière, soit qu'elle nous soit masquée par les nuages eux-mêmes, soit qu'elle se produise dans une région du ciel située au-dessous de notre horizon.

Enfin, on a désigné sous le nom de *foudre globulaire*, ou de *tonnerre en boule*, un phénomène bizarre, qui semblerait n'avoir aucune analogie avec les phénomènes électriques connus. Certains observateurs affirment avoir vu, pendant les orages, des espèces de globes lumineux se promener lentement à la surface du sol, et disparaître subitement, tantôt avec explosion, tantôt sans bruit. — Il est difficile de ne point accueillir avec quelque défiance des récits de cette nature, surtout

(*) Pour comprendre comment une étincelle électrique peut acquérir une pareille longueur, il faut se reporter aux conditions dans lesquelles elle se produit. — L'intervalle compris entre les nuages orageux est généralement occupé par un brouillard plus ou moins épais, formé de gouttelettes d'eau flottant dans l'air. C'est dans ce milieu particulier que se produit la décharge : on conçoit donc qu'elle puisse franchir une distance considérable, en passant d'une gouttelette à une autre, comme les décharges de nos machines franchissent la série des losanges métalliques de nos tubes étincelants (fig. 349).

De même, la foudre, lorsqu'elle éclate entre les nuages et le sol, ne franchit ordinairement une aussi grande distance que grâce à la communication momentanée qui lui est offerte par la chute de l'averse orageuse.