

*A l'Académie Royale des Sciences
de Munich*

Comma

NOTICE

— SUR LE

Melens

COUP DE Foudre DE LA GARE D'ANVERS

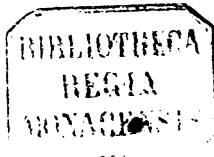
DU 10 JUILLET 1865;

PAR

M. MELSENS,

MEMBRE DE L'ACADÉMIE ROYALE DE BELGIQUE.

(Présentée dans la séance de la classe des sciences du 6 mars 1869.)



(Extrait du tome XXVI des *Mémoires couronnés et autres Mémoires*
publiés par l'Académie royale de Belgique. — 1875.)

Bruxelles, impr. de F. HAYEZ.

NOTICE

SUR

LE COUP DE Foudre DE LA GARE D'ANVERS

DU 10 JUILLET 1865.

§ 1. — *Observations préliminaires.*

En terminant son rapport sur les paratonnerres, Gay Lussac disait :

« Pour que le fruit que l'on doit tirer des paratonnerres soit aussi
» grand que possible, et que l'on puisse profiter de l'expérience acquise
» sur une localité, pour la faire tourner à l'avantage général, nous for-
» mons le vœu que Son Excellence le Ministre de l'Intérieur, après avoir
» ordonné l'exécution d'une mesure réclamée depuis longtemps, et dont
» elle sent toute l'utilité, invite les autorités locales à lui transmettre
» fidèlement tous les renseignements relatifs à la chute de la foudre sur
» un édifice armé de paratonnerres. Ces renseignements seraient la source
» d'améliorations importantes, et contribueraient, en faisant connaître
» les avantages d'un préservatif aussi simple et aussi sûr, à en rendre
» l'adoption plus générale. »

Il paraît surtout intéressant de décrire, avec les détails les plus

complets les coups de foudre dans lesquels l'électricité atmosphérique semble s'écarter des règles et des lois généralement admises comme conséquence de nos hypothèses actuelles et de nos expériences de cabinet; or nous devons avouer que nos hypothèses laissent beaucoup à désirer et nous savons que nos machines monstres sont d'infimes pygmées en comparaison des machines électriques de la nature. L'accident arrivé à Anvers est certainement l'un des plus intéressants, si j'en juge par les nombreux documents que j'ai consultés en vue de trouver des coups de foudre analogues; il paraît faire exception à tout ce que nous savons sur l'électricité.

En effet, nous y voyons la foudre passer par un mauvais conducteur, un carreau de vitre de forte épaisseur, placé au centre d'une masse métallique énorme, en contact parfait avec un sol humide et non loin des trois tiges d'un paratonnerre en bon état, mais en dehors de la zone circulaire préservée, en comptant celle-ci d'après les physiciens qui admettent que la limite de l'action préservatrice ne s'étend qu'à un espace circulaire ayant pour rayon le double de la longueur de la tige comptée depuis le point du toit sur lequel elle est établie.

L'Académie, après avoir manifesté le désir d'avoir la relation écrite de ce coup de foudre, aussi extraordinaire qu'il a été bénin, me pardonnera les détails dans lesquels je crois devoir entrer; il m'a paru utile d'en agir ainsi afin que les physiciens et les météorologistes aient, autant qu'il m'est possible de le faire, une idée exacte de toutes les circonstances et qu'ils puissent le comparer avec ceux qui offrent quelques analogies avec lui. J'ai du reste un second motif encore; je compte donner, dans une prochaine séance, la description du paratonnerre établi sur l'hôtel de ville de Bruxelles; il offre des particularités exceptionnelles à tout ce qui a été fait jusqu'à présent; je crois l'avoir disposé d'après toutes les règles de la science. Les coups de foudre extraordinaires ne peuvent être prévus.

Voyons les faits extraordinaires, au moins ceux que je connais. La figure 1 représente le résultat d'un coup de foudre qui a frappé en 1754 la serre du Jardin ducal de Carlsruhe, époque

à laquelle il n'y avait pas encore de paratonnerres établis en Allemagne (*). La figure représente un carreau de vitre conservé dans le cabinet de physique de Carlsruhe. Ce coup de foudre est décrit dans l'ouvrage de J. L. Boeckmann : *Ueber Blitzableiter*, page 6, neue Auflage von Dr G. F. Wucherer. Carlsruhe, 1850 :

« Le 3 juin 1784, le lundi de la Pentecôte, vers 9 heures du soir, un
» carreau de vitre qui se trouvait dans un battant de fenêtre de la serre
» du Jardin ducal a été perforé (*durchschmolzen*) par un coup de foudre;
» le battant et celui qui se trouvait à côté ont été enlevés, bien que
» parfaitement cloués de tous les côtés, et jetés à la distance d'un
» bon pas dans les rames d'un champ de petits pois; les deux battants
» n'étaient pas couchés l'un à côté de l'autre, mais bien l'un sur l'autre,
» et cependant il n'y avait que deux ou trois carreaux qui étaient cassés;
» la grande violence cependant avait enlevé au second battant un copeau
» de 9 à 10 lignes de longueur.
» Les bords du trou presque circulaire sont fondus et arrondis; seu-
» lement il reste quatre lignes environ à droite de la fente supérieure
» où les bords sont légèrement tranchants. »

Il n'y a pas d'autres détails dans le corps de l'ouvrage et le passage cité se trouve écrit sur l'étiquette que porte le carreau conservé à Carlsruhe.

Voici ce que je trouve dans l'ouvrage d'Arago (*OEuvres complètes*, t. IV, pages 122 et suivantes, pages 283 et suivantes) :

« En 1778, dans l'automne, la foudre tomba sur la maison de l'ingénieur Caselli, à Alexandrie. Elle n'y fit de dégâts appréciables que sur les vitres d'une fenêtre. Ces vitres étaient percées d'un, de deux ou

(*) L'établissement des paratonnerres :

En 1752 à Philadelphie, Amérique.

En 1762 à Payneshall, Angleterre.

En 1769 à Hambourg.

En 1776 en Bavière.

En 1782 en France, au Louvre.

» de trois trous d'environ 4 millimètres de diamètre. De petites fissures
» en étoile partaient de ces trous ; mais aucun carreau n'était fendu
» d'un bord à l'autre. » (ARAGO, *l. c.*, p. 122.)

Si, dans un corps qui ne conduit pas l'électricité, la production d'ouvertures circulaires paraît au moins étrange, elle semblera extraordinaire sans doute dans un corps conducteur.

« En août 1777, la foudre frappa le clocher de l'église paroissiale du
» Saint-Sépulcre à Crémone, rompit la croix en fer qui surmontait la
» flèche, et lança au loin la girouette en cuivre étamé recouverte d'une
» couche de peinture à l'huile, qui tournait immédiatement au-dessous
» de la croix.

» La girouette se trouva percée de dix-huit trous, les bords de neuf
» d'entre eux étaient très-proéminents du côté d'une des faces de la
» girouette; les bords des neuf autres étaient aussi très-proéminents,
» mais du côté opposé.

» Aucun indice ne fit supposer aux habitants de Crémone que la
» flèche et la girouette eussent reçu plusieurs décharges foudroyantes.
» Si, toutefois, pour expliquer la multiplicité des trous on voulait abso-
» lument recourir à des coups répétés, il faudrait, d'après les directions
» inverses des rebarbes, admettre neuf coups dans un sens et neuf coups,
» tout juste, dans le sens contraire. La manière dont les trous étaient
» groupés forcerait de supposer que, par un singulier hasard, les coups
» de directions opposées avaient été, par couples de deux, frapper des
» parties presque contiguës de métal. Enfin, l'inclinaison à peu près
» identique de toutes les rebarbes par rapport aux deux faces de la
» girouette n'impliquerait pas moins impérieusement le parallélisme
» des dix-huit coups.

» Je me tromperais fort si la réunion de tant de conditions impro-
» bables n'amenait pas chacun à l'opinion qu'adoptèrent les physiciens
» auxquels on doit la première description du phénomène : à l'opinion
» que les dix-huit trous de la girouette de Crémone furent le résultat
» d'un seul et même coup de foudre. » (ARAGO, *l. c.*, p. 122.)

Franklin avait cherché à expliquer le fait des rebarbes opposées

dans le coup de foudre de la girouette de Crémone par l'expansion subite ou la dilatation produite par le passage d'un *fluide* à travers une lame dont les surfaces travaillées au marteau n'étaient pas planes; la lame offrait des irrégularités dans son épaisseur, etc.....

La foudre, disait *Franklin*, n'a pas de *moment*, elle ne doit pas agir à la façon des *projectiles*. (*The works of Benjamin Franklin, etc., by Jared Sparks*. Boston, 1856; tome V.)

Il faut cependant bien admettre que les résultats sont souvent identiques. Si les *façons d'agir* ne sont pas les mêmes lorsqu'un projectile ou la foudre traversent un obstacle, il n'en est pas moins vrai que les phénomènes observés après le coup se ressemblent dans beaucoup de cas.

Une carte, un mur, un verre et pour le feu du ciel un métal, peuvent, dans les deux cas, offrir des particularités qui dépendent des propriétés physiques du milieu traversé.

Je ferai remarquer seulement que, dans le cas cité par *Arago*, les dix-huit rebarbes opposées neuf à neuf représentent, dans leur ensemble, les bords de l'ouverture unique dans l'expérience classique du *perce-carte*; de plus, dans une foule de cas un projectile, passant à travers des lames métalliques, de plomb, par exemple, des feuilles de carton, des feuilles de papier collé sur des lames de verre, des lames d'argile, etc., . . . produit aussi des rebarbes tant sur la face par laquelle il pénètre dans le milieu considéré, que sur la face opposée; il est souvent très-difficile après le tir de reconnaître la face frappée à des indices certains, lorsque, par exemple, un projectile passe par une lame d'argile humide plastique.

En 1862 j'ai remis à M. le maréchal Vaillant pour la Commission des paratonnerres de l'Institut de France une enquête détaillée sur un orage formidable qui éclata à Namur et pendant lequel un coup de foudre aurait incendié le théâtre de cette ville, donnée que je prouvais être absolument fausse (*).

(*) M. le R. P. Maas, professeur de physique au collège de la Paix à Namur, mon savant confrère M. C. Montigny et feu M. J. François, capitaine commandant du génie, m'ont prêté leur concours dans les recherches que j'ai faites.

Nous avons vu sur la hauteur de Coelet, près de Namur, un mur en moellons haut de 2^m,50, ayant une épaisseur de 30 centimètres, frappé par la foudre à une hauteur de 1^m,50 environ; la foudre, comme dans l'expérience du percc-carte, y avait fait une ouverture circulaire, ayant un diamètre de 0^m,60 environ; cette ouverture ressemblait à celle que ferait un boulet de canon; toutes les pierres (ou presque toutes) enlevées au mur se trouvaient projetées d'un seul côté, ce qui arriverait par le passage d'un boulet; à 7 mètres de distance une partie supérieure du mur était ébréchée, le gazon qui le recouvrait enlevé; ce fait tendrait à faire admettre que le sillon foudroyant, l'éclair était au moins bifurqué. La forme du trou dans le mur portait à faire croire que la direction de la foudre avait été sensiblement horizontale; je ne cite du reste ce fait qu'en vue de constater cette analogie d'action, de mouvement produit par de la *matière pesante* et par un *fluide impondérable* ou par l'électricité, quelle que soit l'hypothèse que l'on adopte pour rendre compte des observations.

« Le 3 juillet 1821, la foudre tomba, à Genève, sur une maison située » près du temple de Saint-Gervais. En cherchant minutieusement les » effets qu'elle avait produits, les rédacteurs de la *Bibliothèque universelle* » aperçurent plusieurs trous avec des marques de fusion évidentes dans » les feuilles de fer blanc, dont l'arête inclinée du toit était revêtue. » Parmi les effets de ce genre, le plus remarquable est celui qui se pro- » duisit sur une feuille de fer-blanc neuf, recourbée, qui garnissait le » bas d'une cheminée à sa sortie du toit et se repliait sur la pente de ce » même toit. La feuille en question se trouva percée de deux trous pres- » que circulaires de 5 centimètres de diamètre, distants l'un de l'autre de » 15 centimètres à partir de leurs centres, offrant sur toute l'étendue » de leurs contours de fortes bavures, mais dirigées, dans les deux » trous, en sens opposés. »

« A propos de ces trous à rebarbes opposées produits par la foudre, » je trouve, dans le *Giornale* de Pietro Confiliachi et Gaspare Brugnatelli (1827, p. 353), une observation du Dr Fusiniéri, remarquable, » suivant moi, par cette circonstance, que les trous à rebarbes ne sem-

» blent pas s'être formés dans le point que la foudre frappa en premier
» lieu. Voici, au surplus, la traduction des paroles du physicien ita-
» lien :

« Le 23 juin 1827, vers les 8 heures du soir, la foudre tomba sur la
» maison n° 1549 de Vicence. Une gouttière horizontale de fer-blanc
» fut frappée la première. Ce demi-tube avait subi une lacération de 10
» à 13 centimètres de long. Un tube vertical de décharge de même
» métal qui s'adaptait à la gouttière, était percé de trois trous. Le trou
» supérieur, de 27 millimètres, n'offrait de bavure ni en dedans ni en
» dehors. 16 centimètres plus bas, il existait un trou à peu près circu-
» laire, de 13 millimètres de diamètre, avec une bavure interne. Plus bas
» encore, à la distance de 8 centimètres, on remarquait un trou égal au
» précédent, mais sa bavure était externe. » (ARAGO, *l. c.*, p. 125.)

« D'après certaines analogies, des physiciens admettent que la foudre
» respecte toujours le verre. De là à supposer qu'une cage construite en
» totalité avec du verre serait un lieu de refuge parfaitement sûr, il n'y
» avait qu'un pas. Aussi des cages de cette matière ont-elles été propo-
» sées, et même construites, à l'usage des personnes qui redoutent beau-
» coup la foudre.

» Je suis très-disposé à croire qu'en temps d'orage une enveloppe
» vitreuse atténue quelque peu le danger dont on est menacé; mais je
» ne puis admettre qu'elle le fasse totalement disparaître. Voici sur quoi
» mes doutes se fondent :

» Le grand coup de foudre qui atteignit le palais Minuzzi, dans le
» territoire de Ceneda, le 15 juin 1776, perça ou brisa plus de huit
» cents carreaux de vitre. »

« Lorsque M. James Adair fut jeté à terre, en septembre 1780, par le
» violent coup de foudre qui tua deux de ses domestiques, dans la mai-
» son de East-Born, il était placé derrière une croisée vitrée. La monture
» de la croisée n'éprouva aucun dommage, mais les carreaux de vitre
» disparurent complètement : la foudre les avait réduits en poussière.

» A la rigueur, on pourrait supposer que la rupture des vitres est la
» conséquence de l'ébranlement de l'air, un simple effet du bruit de la
» détonation. Venons donc à des faits moins douteux. »

« Le 17 septembre 1772, la foudre, qui tomba à Padoue sur une

» maison située à Prato della Valle, perça un carreau de vitre de la
» fenêtre du rez-de-chaussée, d'un trou net et rond pareil à celui qui
» serait résulté de l'action d'un foret.

» En septembre 1824, la foudre étant tombée à Milton-of-Comage,
» dans la maison de M. William Bremmer, un des carreaux de vitre de
» la fenêtre se trouva percé d'un trou circulaire de la grandeur d'une
» balle de fusil : dans le reste de son étendue, ce carreau n'offrait pas
» une seule fissure.

» Un trou sans fissure, parfaitement circulaire, ne pourrait être l'effet
» de l'ébranlement résultant du bruit. Au besoin on pourrait le citer
» comme une preuve de l'extrême rapidité avec laquelle la matière ful-
» minante marche. Le trou de la vitre de M. Bremmer fortifie les obser-
» vations isolées de Padoue et d'Alexandrie. Ces observations réunies
» détromperont tant de personnes qui se figuraient que les panneaux de
» verre étaient, pour la foudre, des barrières infranchissables. » (ARAGO,
l. c., pp. 285 à 288.)

Un coup de foudre à Enghien brise les vitres d'une chapelle ;
les débris sont jetés au dehors. (*Comptes rendus*, t. XXX, p. 734.)

J'emprunte les citations suivantes à l'ouvrage du D^r F. Sestier
rédigé par le D^r Mehu : *La foudre, de ses formes et de ses effets
sur l'homme, les animaux, etc., etc.* (Paris, 1866, t. I^{er}, p. 509) :

« Le 8 juin 1747, la foudre tomba, sous la forme d'un globe de feu,
» sur l'église des Grands-Augustins, à Paris ; elle arracha hors de leur
» plomb presque tous les carreaux d'une fenêtre et perça chacun d'un
» trou rond de la circonférence d'une balle de plomb. »

« Le 4 août 1780, la foudre tomba sur l'église métropolitaine de Nar-
» bonne, brisa quelques carreaux de verre et en fondit les bords en
» plusieurs endroits. »

« En 1772, à Wettin, près de Halle, la foudre brisa les vitres d'une
» maison et en fondit quelques-unes. Gûden cite un fait semblable arrivé
» à Hanovre en 1753. »

« Au mois de juillet 1785, à Campo Sampiero Castello (Padouan), la
» foudre frappa un bâtiment plein de foin qui avait des croisées garnies
» de vitres, n'enflamma pas le foin et cependant fondit les vitres. Une
» fenêtre avait trois files verticales contenant chacune huit carreaux
» ronds avec croisettes en verre. La foudre laissa intacts les plombs qui
» retenaient les carreaux, les fers transversaux sur lesquels s'appuyaient
» les rangées transversales, et les croisettes en verre ; mais elle fondit
» vingt-deux des vingt-quatre carreaux ronds. On trouva sur le plancher
» des globules de verre fondu ayant la forme des larmes bataviques.
» Le sénateur Angelo Qucrini envoya cette fenêtre à Padoue, et Toaldo
» l'avait sous les yeux en écrivant son observation. »

« La foudre atteignit le château d'Upsal, le 24 août 1760 et enleva
» d'une fenêtre seize carreaux de vitres sans laisser la trace du plus
» petit fragment. »

« Le 10 juin 1724, à Worchester, l'étincelle fit à un carreau de vitre
» un trou du diamètre de $1\frac{1}{2}$ pouce et atteignit mortellement une
» jeune dame qui se trouvait debout derrière la fenêtre fermée. »

« Le 29 septembre 1772, dans la nuit, la foudre éclata sur une mai-
» son, à Harrowgate, et y tua un homme dans son lit. On trouva deux
» vitres de la fenêtre trouées dans leur milieu et il semble, d'après la
» disposition des lieux, que l'étincelle soit entrée par cette fenêtre,
» attirée sans doute par une armature de fer, pour se précipiter sur le
» lit, qui était à 10 pieds de là, et dont les rideaux étaient munis de
» tringles de fer plus fortes que d'ordinaire. »

J'emprunte un dernier exemple au rapport de Gay-Lussac pré-
senté par la section de physique dans la séance du 29 mars 1829.

(Voir les *Annales de chimie et de physique*, t. XL, 2^e sér., p. 386.)
 Je le cite principalement en vue de l'opinion émise par l'illustre rapporteur de l'Académie. Il constate sur les objets foudroyés les phénomènes qui le portent à conclure que les choses se sont passées *comme si la foudre, au lieu de se précipiter du ciel, fût sortie de terre*; observation à l'appui de laquelle j'apporte un fait parfaitement établi, si l'on admet que la foudre, comme le courant de la pile, marche du pôle positif au pôle négatif ou que la tension est plus forte du côté positif que du côté négatif; dans le coup de foudre de la gare d'Anvers l'obstacle traversé se trouve être un très-mauvais conducteur, tandis que l'observation de Gay-Lussac est faite sur un conducteur métallique, composé d'un métal de faible conductibilité, il est vrai; dans les deux cas le vent vient de l'Ouest :

« ... Le 25 février de l'année dernière (1828), la foudre est tombée
 » sur un magasin à poudre de Bayonne, qui, quoique armé d'un
 » paratonnerre, n'en a pas été protégé dans toutes ses parties et a
 » éprouvé quelques dégradations. Ce bâtiment a 17^m,5 de longueur
 » sur 11^m,4 de largeur; il est couvert par une voûte épaisse en maçon-
 » nerie sur laquelle repose un toit à deux eaux. La faitière et la couver-
 » ture des murs du pignon sont formées de larges lames de plomb, toutes
 » liées entre elles.

» La tige du paratonnerre placée sur le magasin a 6^m,80 d'élévation;
 » elle est embrassée à sa base par une douille en plomb soudée sur les
 » lames de même métal qui recouvrent la faite.

» Le conducteur est à peu près cylindrique et d'un diamètre d'au
 » moins 27 millimètres. Au lieu de pénétrer dans le sol, au pied du
 » mur du magasin, il est soutenu horizontalement au-dessus par cinq
 » poteaux de bois d'environ 8 décimètres de hauteur, et, parvenu à la
 » distance de dix mètres du bâtiment, il s'enfonce perpendiculairement
 » dans une fosse carrée de 1^m,9 de côté, revêtue en maçonnerie sur ses
 » quatre faces latérales; mais chacun des murs est évidé dans le bas au
 » moyen de deux arceaux afin d'établir une plus grande surface de con-
 » tact entre le sol et le charbon dont elle est remplie jusqu'à la hauteur
 » de 1^m,1 à partir du fond; au-dessus du charbon est une couche de terre
 » meuble, recouverte d'un pavé en dalles. Le bout du conducteur se

» termine en pointe, et repose sur un piquet fiché au fond de la fosse.
» A 0^m,9 de son extrémité, il porte quatre racines en croix de 0^m,5 de
» longueur dont chacune se partage en trois pointes; et plus bas, à 0^m,5
» de l'extrémité du conducteur, quatre autres racines, de 0^m,25 de lon-
» gueur, sortent de la tige principale. Le charbon était dans l'état naturel
» où on l'avait préparé et n'était par conséquent pas, à beaucoup près,
» aussi bon conducteur que s'il eût été bien calciné. En vidant la fosse,
» on a rencontré l'eau à 0^m,2 environ du fond; mais il n'est pas dit
» dans la relation si le terrain était seulement très-humide ou si l'eau
» remplissait le fond de la fosse.

» La foudre est tombée sur la tige du paratonnerre, dont elle a fondu
» la pointe dans une longueur d'environ 13 millimètres; etc.

»

» A l'angle sud-ouest du bâtiment, à 0^m,65 du bord du toit, la lame
» de plomb recouvrant le mur de pignon présente une déchirure dont
» les dimensions moyennes sont de 0^m,21 et 0^m,19.

» L'explosion a eu lieu justement au-dessus d'un lien de fer réunissant
» deux pierres de la corniche, dont un prisme triangulaire, d'une lon-
» gueur moyenne d'environ 52 centimètres, a été détaché.

» Quelques minutes avant la chute de la foudre, la pluie et la grêle
» tombaient en abondance, et le vent soufflait de l'ouest. Cette circon-
» stance mérite d'être remarquée, parce qu'elle explique pourquoi la
» foudre s'est portée de préférence vers la face ouest du bâtiment plutôt
» que vers les autres; cette face mouillée par la pluie lui offrait un con-
» ducteur pour arriver jusqu'au sol.

» Les autres traces qu'a laissées la foudre de sa déviation du paraton-
» nerre ont été observées principalement sur les cinq poteaux en bois
» qui soutiennent le conducteur au-dessus du sol.

» La lame de plomb qui recouvre la tête du premier poteau, le plus
» près du bâtiment, a été soulevée; deux clous qui la fixaient ont été
» arrachés.

» Celle du deuxième poteau présente deux petits trous à peu près cir-
» culaires, et une déchirure au-dessus d'une fente dans le poteau.

» La lame de plomb du troisième a été le plus endommagée; on y
» voit une déchirure et trois trous, dont l'un à 6 centimètres de long sur
» 4 de large.

» La lame de plomb du quatrième poteau n'a qu'un trou de 3 centi-
» mètres de longueur sur 4 de largeur.

» La lame de plomb du cinquième poteau n'a aussi qu'un trou , et
» seulement de 15 sur 52 millimètres.

» Il est à remarquer que le plomb , dans toutes les ouvertures ou dé-
» chirures qui ont été observées, est rebroussé de bas en haut, et que
» dans beaucoup d'endroits il présente des marques prononcées d'oxy-
» dation.

» Les supports du conducteur sur le bâtiment ne présentent aucune
» altération, si ce n'est le plus proche de terre; la lame de plomb qui le
» recouvrait a été soulevée et rebroussée de dedans en dehors. . . .

»

» On a remarqué que le bord des trous ou des déchirures des lames
» de plomb étaient rebroussés de bas en haut comme si la foudre, au
» lieu de se précipiter du ciel, fût sortie de terre. Cet effet est semblable
» à celui qu'on observe dans toutes les décharges électriques. Au moment
» du passage d'un nuage orageux, et surtout de celui où la foudre se
» précipite et s'approche du conducteur qui va être frappé, l'électricité
» terrestre de nature contraire accourt de toute part avec une vitesse
» immense, et s'avance vers l'étincelle foudroyante qu'elle neutralise
» dans le conducteur. De sorte qu'on peut dire, lorsqu'un très-bon con-
» ducteur est parfaitement en communication avec le sol, et s'élève au-
» dessus, que la foudre sort réellement aussi de terre.

» En se résumant la section de physique est d'opinion que la foudre
» n'a causé des dégâts sur le magasin à poudre de Bayonne que parce
» que le paratonnerre dont il était armé était très-mal construit et
» qu'on n'avait pas établi une communication suffisante entre le sol et
» le conducteur. »

Voilà les observations principales que j'ai rencontrées sur le
bris des vitres, leur percement, leur pulvérisation et les rebarbes
produites dans les lames métalliques; il m'a paru qu'il était utile
de les consigner; de cette façon on aura sous les yeux l'ensemble
des phénomènes et le moyen de les comparer rapidement avec le
coup de foudre d'Anvers.

Pour permettre aux savants qui s'occupent de la question en-
core controversée des paratonnerres de se rendre un compte bien

exact de toutes les circonstances du coup de foudre si bizarre que je décris, il m'a paru nécessaire de donner tous les détails de construction de la gare (*).



§ 2. — *Observations sur le coup de foudre
à la gare d'Anvers.*

Le 10 juillet 1865, entre 3 et 4 heures de l'après-midi, un orage violent éclata à Anvers et la foudre frappa la gare couverte, sans y occasionner d'autre dégât que celui de briser un des carreaux de vitres de la toiture; elle le perfora d'un trou. Les figures 2 et 3, pl. II, représentent, au 5^e de grandeur naturelle, le carreau brisé avec ses fissures. La figure 2 représente la face tournée vers le ciel, la figure 3 donne la face tournée vers la terre; l'épaisseur du verre est de 4 millimètres très-sensiblement. Il est remarquable d'abord de voir l'étincelle électrique agir sur ce carreau, à la façon d'un projectile qui aurait traversé le carreau en marchant de bas en haut; les rebarbes qui se produiraient dans des solides non cassants sont représentés dans ce cas par le verre enlevé à la face supérieure du carreau (fig. 2), celle qui correspond à la sortie du projectile; les sinuosités qu'on y remarque avaient leurs bords arrondis; le verre paraissait avoir subi un commencement de fusion; les bords de la face inférieure (fig. 3) correspondant à la face par laquelle un projectile aurait pénétré présentaient le même phénomène, mais à un faible degré; on remarquait aisément qu'ils étaient moins arrondis que les premiers; à quelques places ils étaient même encore tranchants. Aucun fragment de verre n'a été retrouvé sur les vitres ou dans la gouttière du toit. Les deux figures 3^{bis} et 3^{ter}, pl. I, représentent deux bords de l'ouverture

(*) MM. Vinchent, Lambeau, Lamquet, ingénieurs en chef, Dekinder, sous-chef de section, autorisés par M. J. Vanderstichelen, Ministre des travaux publics, m'ont puissamment aidé dans ce travail; je me fais un devoir de leur en exprimer toute ma reconnaissance.

pratiquée par la foudre; on en a agrandi les dimensions. La ligne pointillée a, a' représente la trace du plan supérieur du carreau, c'est-à-dire de la face tournée vers le ciel.

La quantité de verre enlevée sur les bords de l'ouverture est très-minime, souvent une légère fraction de millimètre; l'angle en c est fréquemment très-rapproché d'être un angle droit; le bord c a été trouvé encore tranchant à quelques places. La courbe en d est arrondie comme si le verre avait subi un commencement de fusion; je dois cependant faire observer que le verre qui a été employé à la gare vitrée offre parfois cette forme, mais généralement à un bien plus faible degré, lorsqu'il a été brisé simplement par le passage d'un projectile lancé à la main ou par une bouche à feu. Ma note, *Sur le passage des projectiles par des milieux résistants* à laquelle je renvoie, me permet de me contenter de poser ici les conclusions suivantes :

Le carreau est brisé comme le sont les carreaux, de même nature, de mêmes dimensions (longueur, largeur et épaisseur), placés dans des circonstances analogues ou identiques, lorsqu'ils sont traversés par les projectiles sphériques lancés à *faible vitesse* par des bouches à feu portatives.

La cassure ressemble à celle qui serait produite par un projectile qui aurait été lancé de bas en haut, c'est-à-dire de la terre vers les nuages.

La forme des lèvres de l'ouverture dans le carreau indique que la terre devait être électrisée positivement et que les nuages ou l'atmosphère étaient électrisés négativement; il en résulte, comme je l'ai déjà dit et comme l'avait observé Gay-Lussac, que l'étincelle s'est élancée de la terre vers les nuages; ce fait est des plus remarquables et, on peut le dire, des plus inattendus, comme on le verra par la description détaillée de la gare.

Notons, en passant, que d'après M. F. Duprez, l'électricité négative se montre généralement dans des circonstances anormales de l'atmosphère, pendant les orages, la pluie, etc., et par les vents d'entre N. et S. du côté de l'O.; or le jour du coup de foudre il pleuvait et le vent soufflait de l'O.; j'ai déjà signalé cette direction dans le coup de foudre décrit par Gay-Lussac; mais la saison de

l'année correspond cependant à l'époque dans laquelle l'électricité négative se montre le moins souvent.

Je dois à l'obligeance de M. Ruhmkorff d'avoir pu donner la preuve de ce que j'avance eu égard à la distribution des électricités de noms contraires lors du coup de foudre d'Anvers.

En effet M. Ruhmkorff, à ma demande, a brisé des carreaux de verre ordinaire d'environ 1 millimètre d'épaisseur par la décharge d'une puissante batterie chargée par son grand appareil d'induction. Je suis heureux de pouvoir le remercier publiquement de sa coopération aussi habile que désintéressée.

On constate sur les carreaux brisés par la décharge d'une batterie des ouvertures analogues à celles représentées dans les figures 2 et 3; leurs formes indiquent que le pôle positif correspond à la face qui était tournée vers la terre pour le carreau brisé par la foudre; la terre était donc positive et l'étincelle, d'après ce que l'on admet généralement, a dû partir du sol.

Il est un point cependant que je dois signaler en passant; quand un projectile, marchant à grande vitesse, passe par un carreau de vitre appuyé sur un matelas d'argile plastique humide, par exemple, on observe que, dans la grande ouverture qui se produit, le verre est enlevé sur les bords de la plaie comme si l'arrachement était dû à un projectile marchant dans la direction diamétralement opposée à celle de la trajectoire; mais je renvoie à mon mémoire pour les détails que comporte ce fait qui, au premier aspect, paraît très-extraordinaire.

La figure 5, planche III, donne le plan de la gare d'Anvers; sa longueur est de 100 mètres; sa largeur, le péristyle S S y compris, est de 40 mètres.

Les vingt-quatre toits vitrés vus en T V dans la figure 4 s'étendent sur toute la longueur de la gare entre les quatre points indiqués par les lettres T V de la figure 5.

La figure 4 représente une vue d'ensemble de plusieurs coupes partielles perpendiculaires à l'axe de la gare :

SS : L'avent à l'entrée ou péristyle.

SR : Coupe sur le paratonnerre central, dont l'extrémité ou la pointe de pla-

tine se trouve à 24^m,30 au-dessus des rails de la gare et surmonte la tourelle centrale.

P'T : Vue du paratonnerre P' : la coupe sur les deux toits inclinés; la pointe de ce paratonnerre est à une hauteur de 14 mètres au-dessus des rails; le second P'' se trouve placé symétriquement à droite.

UV : Cette coupe montre en perspective l'une des faces du double toit frappé, le point frappé se trouvant à 12 mètres du sol; le faite du toit étant à 12^m,60.

On y a représenté la pièce de fer principale de la ferme qui s'appuie sur les colonnes de fer. En *p, p, p, p* il y a de fortes poutrelles de fer parallèles à l'axe de la gare; une d'elles se trouve à 1 mètre environ au-dessous du point frappé. Ces poutrelles servent de point d'attache à des brides et à des tringles transversales auxquelles sont suspendus les vingt-quatre réverbères qui éclairent la gare.

Ces réverbères sont alimentés par du gaz, ils présentent encore un écoulement pour l'électricité par les tuyaux de conduite noyés dans un sol très-humide; on voit en outre dans cette partie de la figure quatre des colonnes simples isolées, placées aux extrémités de la gare n^{os} 1, 2, 3, 4 dans la figure n^o 4, et 1, 2, 3, 4 à gauche, 3, 6, 7, 8 à droite dans le plan, figure 5, vers le Nord et vers le Sud.

La figure 6 planche I donne la projection horizontale sur une échelle arbitraire des deux faces de l'un des doubles toits partiels du faite de la gare et perpendiculaires à celle-ci, vu d'un côté en TV dans la figure 4.

Tout le bois BZ est recouvert de zinc; celui-ci est soudé au plomb des gouttières ou des chéneaux C, C; les quatre montants B, B, B, B, de 10 centimètres de largeur environ, sont en bois non recouvert de zinc; mais les tringles de fer dans lesquelles les carreaux sont fixés sont en contact avec le plomb de la gouttière sur lequel ils sont pressés par une forte vis; en un mot on peut dire que tout est métalliquement en contact, car le zinc de BZ est soudé de son côté sur le plomb C du chenal.

La vitre frappée repose d'un côté sur l'encadrement en fer (*f*) et de l'autre sur le bois; c'est la seconde du toit tourné vers le nord, l'axe de la gare étant sensiblement la méridienne du lieu. Il m'a paru nécessaire de donner ces détails et un simple croquis, figure 6, pour faire bien voir qu'à quelques centimètres du point frappé (P) la foudre aurait rencontré de bons conducteurs.

Chaque toit partiel comprend huit parties de quarante-cinq car-

reaux chacune ; le carreau frappé forme un parallélogramme de 0^m,055 sur 0^m,028, avec des angles de 83° et 97°.

Quelques-uns des quarante-cinq carreaux du panneau frappé ont des dimensions différant entre elles de quelques centimètres.



§ 3. — *Circonstances dans lesquelles le coup de foudre s'est produit. — Observation sur le parafoudre des télégraphes.*

Examinons maintenant les circonstances dans lesquelles le coup de foudre s'est produit.

Une pluie assez forte et qui durait depuis quelque temps a précédé le coup de foudre ; il est certain que tout était mouillé et que par conséquent les nombreuses conduites d'eau, c'est-à-dire les chéneaux, les toits, les vingt-sept colonnes creuses, les huit descentes en zinc (D, fig. 5), devaient être plus ou moins remplis par l'eau qu'ils envoyaient à l'égout.

Le télégraphiste, occupé à transmettre des dépêches à l'un des appareils du bureau télégraphique établi dans le bâtiment en F', a reçu une très-forte commotion au moment du coup de foudre qui a frappé cette gare.

Le papier du parafoudre, examiné aussitôt après le coup, portait onze trous ; il y a treize fils télégraphiques qui traversent la gare perpendiculairement à son axe ; ils sont placés sur deux rangs les uns au-dessus des autres (voir fig. 5 F' F) ; leur distance horizontale du point frappé est de 15^m,80 et se trouvent à 6 mètres environ du sol, c'est-à-dire dans un plan horizontal distant aussi de 6 mètres environ du plan du point frappé.

On m'a assuré au bureau télégraphique que le papier du parafoudre avait été vu intact le matin ; mais il faut remarquer, comme me l'a dit M. Vincent, l'ingénieur en chef, directeur des postes et télégraphes, « que les étincelles traversant les papiers sont » fréquentes à l'époque des orages. Rien n'établit la simultanéité des étincelles de cette journée avec le coup de foudre qui » a percé le carreau et je ne crois pas qu'il y ait quelque parti

- » à tirer, dans un but d'expérimentation, du rapprochement de
- » ces deux faits. »

Je me borne à constater qu'après la secousse reçue par le télégraphiste M. Raymaecker, celui-ci a vérifié le papier du parafoudre et l'a trouvé percé de onze trous.

Malgré l'objection très-sérieuse de M. Vinchent, si compétent dans ces questions, il est cependant probable que les onze trous ont été produits simultanément par le coup de la foudre, celle-ci ayant passé en partie à travers les treize fils de la ligne.

§ 4. — *Paratonnerres. — Fer et métaux de la gare d'Anvers et de ses abords. — Conductibilité de la gare.*

La gare d'Anvers est armée de trois tiges de paratonnerres : deux de 4 mètres et une de 6 mètres de hauteur (fig. 4 et 5) P', P, P''; la pointe du paratonnerre P se trouve à 24^m,30 au-dessus du sol de la gare, celles de paratonnerre P' et P'' à 14 mètres seulement; le diamètre minimum des tiges est de 0^m,018; elles sont garnies à leur extrémité d'une capsule de platine libre soudée formant un cône de 0^m,03 de haut sur 0^m,018 de base; les trois pointes de platine étaient intactes après le coup de foudre. Je les ai soigneusement vérifiées toutes. A 1^m,50 au-dessus du toit, les tiges des paratonnerres P' et P'' ont un diamètre de 35 millimètres et se terminent par une barre carrée; celle-ci se divise en quatre branches ou supports de fer en barre de 25 millimètres sur 12. Ces barres de fer ont été fixées dans la charpente sous la couverture de zinc et leur extrémité inférieure est garnie d'un cône de zinc soudé sur le fer et sur le zinc de la toiture; de cette façon une partie de fluide qui frapperait la tige pourrait déjà se répandre dans une immense surface métallique de zinc et une quantité énorme de métal, fonte et fer des bâtiments et de la gare. En effet on peut dire que tout le métal de la gare est rattaché métalliquement et qu'il forme un tout unique sans solution de continuité; je m'en suis assuré.

Il m'a été impossible de prendre les mesures exactes du para-

tonnerre (P) placé sur la tourelle centrale. Sa tige est plus élevée, mais le principe de sa construction est le même que celui des deux autres. Cette tige est mise en communication au moyen de rivets et de soudures avec un conducteur qui passe dans l'intérieur de la tourelle centrale, sort en C, figures 4 et 5 et va rejoindre le grand conducteur avec lequel il est en contact sur une longueur d'un mètre; on s'est contenté de le fixer en deux points par des fils de fer, mais à son extrémité on a pris la précaution de souder le tout ensemble sur une longueur de 10 centimètres. La conductibilité m'a paru bien établie malgré la rouille qui commençait déjà à envahir les fils du câble.

Pourquoi donc dans des cas analogues les constructeurs de paratonnerres, après avoir décapé et bien étamé leurs fils, ne se contentent-ils pas de les noyer dans une masse considérable de métal, c'est-à-dire de zinc; ce simple procédé peu coûteux, toujours facile à exécuter et que j'ai employé pour le paratonnerre de l'hôtel de ville de Bruxelles, me semble ne rien laisser à désirer sous le rapport de la conductibilité et de sa résistance aux influences atmosphériques.

En P' le conducteur est très-mal rattaché à l'une des branches de la tige.

Le conducteur C passe dans une petite rigole de fer et y est assez mal soudé; un des côtés de cette rigole devrait s'adapter sur la plaque de fer et y être maintenue au moyen de rivets; ceux-ci sont très-mal fixés, ils sont oxydés, on voit le jour à travers; malgré ces défauts, on ne pouvait pas dire qu'il y avait, lors de la première inspection que j'en ai faite, la moindre solution de continuité entre ces diverses pièces métalliques.

Le conducteur principal sans solution de continuité part du paratonnerre P'', il est fixé à l'un des barreaux qui supportent la tige P'' par un boulon qui le traverse et qui porte à une de ses extrémités un tube métallique dans lequel le conducteur est rivé et soudé.

Toutes ces dispositions me paraissent peu convenables et trop compliquées pour les raccordements.

Le grand conducteur C (fig. 5) est composé de fils de fer galvanisé de 4 millimètres de diamètre; neuf bouts en trois torons

de trois, formant un câble de 0^m,018 de diamètre, dont la section totale est par conséquent de 113 millimètres carrés, donc de beaucoup inférieure à ce que les instructions actuelles exigent, la section devant être d'environ 300 millimètres carrés, au minimum de 225.

Le câble, à partir du point P'' jusqu'au paratonnerre P', est soutenu par dix crampons coudés qui tous sont cloués dans le bois de la charpente sous-jacente et tous soudés au zinc du toit.

A partir du point P' le câble suspendu librement entre les toits inclinés T.T. passe dans un des chéneaux en plomb du toit vitré; il ne passe pas sur le fond; il est maintenu sur de petits tasseaux de bois mobiles et libres et se rend ainsi dans l'intérieur de l'une des colonnes de fonte; celle-ci est fermée à sa partie supérieure par une lame de zinc au centre de laquelle on a soudé un cône sur le métal du chenal; le câble passe librement dans l'axe de ce cône, traverse la colonne et se rend au réservoir commun; cette seconde colonne est la seule de toute la rangée extérieure qui ne serve pas à l'écoulement des eaux; les treize autres colonnes présentent leurs ouvertures dans le chenal et envoient l'eau qu'elles recueillent aux égouts de la gare.

Le câble passe librement dans la colonne, m'a-t-on dit, car je n'ai pu vérifier ce fait; et il en sort par le manchon placé au bas (voir fig. 8) et se rend dans un auget en maçonnerie. Celui-ci, d'abord horizontal, s'enfonce ensuite verticalement. Il était rempli de braise humide et le câble était en très-bon état au milieu de cette braise, dont j'ai constaté la parfaite conductibilité.

Le sol lui-même est non-seulement humide, mais littéralement baigné d'eau à une très-faible profondeur.

J'ai poursuivi le câble en faisant déblayer la terre, conformément à l'autorisation que j'avais reçue.

Tout a été trouvé en excellent état jusqu'à 4^m60 de profondeur environ au-dessous du niveau des rails; une tranchée plus profonde aurait occasionné un travail trop considérable et nous n'avons pas atteint son extrémité; la sécurité des deux voies entre lesquelles le câble est placé eût été compromise. Le but était atteint, puisqu'il s'agissait de constater la parfaite communication avec le sol et celle-ci ne laissait rien à désirer; j'aurais cependant voulu voir

l'extrémité du câble et m'assurer si on l'avait, par surcroît de précaution, armé d'une plaque métallique à large surface, précaution à laquelle on n'attache pas assez d'importance.

Si les renseignements qui résultent des souvenirs de l'un des ingénieurs, qui a vu construire la gare, sont exacts, on s'est contenté de détordre l'extrémité du câble, puis on l'a formé en perruque et recouvert de terre; on aura jugé qu'il était inutile de construire un puits dans un terrain aussi humide. A mon sens, c'est un défaut dans l'appareil; tout paratonnerre devrait être construit de façon à en permettre directement une vérification complète dans tous ses détails.

La figure 7 représente les détails des huit colonnes simples (n^{os} 1 à 4 et 5 à 8, fig. 5) placées aux extrémités de la gare et dont quatre sont vues dans l'élévation, figure 4.

La figure 8 donne les détails des quatorze colonnes extérieures de la rangée E, E.

Les figures 9 et 10 donnent les détails des quatorze colonnes méplates contre le bâtiment (E', E').

Il est important de noter que ces vingt-huit colonnes servent toutes à la descente des eaux, à l'exception de celle dans laquelle passe le conducteur des paratonnerres et qu'au moment du coup de foudre elles débitaient l'eau qui tombait sur une surface de 3,500 mètres carrés; il existe encore huit descentes d'eau en zinc du côté de la façade du bâtiment, aux points marqués D, figure 5.

Il me paraît utile de faire remarquer que toutes les colonnes débitaient de l'eau, car les chénaux des toits sont coupés par de petits barrages en zinc, de façon que chacune des colonnes débite l'eau de la portion du toit qui lui correspond; toutes ces conditions sont favorables à l'écoulement de l'électricité vers le réservoir commun.

Mais il est encore un point sur lequel il faut appeler l'attention.

Le sol de la station est incontestablement un sol humide et par conséquent conducteur.

Voici quelques expériences à ce sujet; je ne les donne que comme de simples indications: je n'avais à ma disposition qu'une simple boussole peu sensible; la pile était composée de trois éléments (petit modèle Bunzen): zinc amalgamé et charbon, char-

gés en mettant de l'acide sulfurique dilué de dix fois son volume d'eau en contact avec le charbon dans le vase poreux, constituant une pile faible, par conséquent.

Le courant de cette pile passe très-facilement entre deux quelconques des colonnes isolées simples, n^o 1, 2, 3 et 4; il passe encore en mettant un des pôles en contact avec l'une de ces colonnes et la terre prise sur un des rails ou sur les candélabres de gaz en dehors de la gare.

Le courant passe sensiblement sans résistance aussi entre chacune des colonnes de la rangée intérieure E'E' ou de la rangée intérieure avec ses colonnes simples en E'E (fig. 5), et avec la terre prise sur le candélabre du gaz ou les rails; il passe, mais très-faiblement, en mettant le fil positif en contact avec le sol; le contact étant très-faible, on constate parfaitement la résistance.

Le courant passe très-facilement entre les colonnes de la rangée extérieure, ou l'une de ces colonnes et les rails; l'aiguille du galvanomètre ne bouge pas si l'on se contente de mettre les extrémités des fils de la pile en contact avec la surface du sol sec.

Il résulte de ces indications que l'ensemble des colonnes, de la ferme, du zinc des toits, des candélabres du gaz, des rails, etc..., peut être considéré comme un immense conducteur en communication parfaite avec la terre.

Quelques mots sur les abords de la gare d'Anvers compléteront l'ensemble de la description :

A 62^m, 35 de la gare vers le sud vis-à-vis de la face E E' (fig. 5) se trouve un grand hangar bâti sur vingt-deux colonnes de fonte avec charpente de fer; il est recouvert en partie par du zinc; derrière la station vers le nord et à gauche à 40 mètres de distance environ, il y a des hangars, couverts en zinc, où l'on remise les marchandises; mais le toit est soutenu par une charpente de bois; le zinc ne communique au sol que par les descentes d'eau et celles-ci ne sont pas enfouies dans le sol. La surface métallique est d'environ 2,000 mètres carrés. Il y aurait encore à tenir compte des grilles à la sortie, des candélabres du gaz, etc., etc.

Je signale cette observation pour montrer quelle masse énorme de métal la foudre pouvait aller frapper autour de la gare principale.

Il est vrai que celle-ci domine tous ces locaux, comme elle domine la rangée de maisons qui se trouve en face de la station.

Il est un point sur lequel j'attire particulièrement l'attention; les métaux, dit-on, attirent la foudre; Gay'Lussac donne comme étant un principe certain en physique : « que lorsqu'on présente » à l'électricité divers conducteurs, dont l'un soit infiniment plus » parfait que les autres, elle le suit de préférence; mais lorsque » les conducteurs ne diffèrent pas beaucoup en conductibilité, elle » se partage entre tous en raison de leur capacité. »

J'ai déjà prouvé, dans une note précédente (*Bulletin*, t. XX, p. 15), que ce principe n'est pas général, que parfois l'étincelle se porte de préférence sur le fer qui conduit cependant moins bien que le cuivre.

Quoi qu'il en soit, nous avons un intérêt particulier à nous rendre un compte exact de la distribution et du poids des métaux de la gare d'Anvers; mais nous croyons pouvoir faire abstraction des métaux répartis dans les hangars avoisinant le bâtiment principal.

Nous avons d'abord une surface de 2,500 mètres carrés de zinc n° 13; le poids du zinc s'élève à 15,000 kilogrammes. Le poids de la fonte des vingt-deux colonnes de fer en E'EEE' s'élève à 25,000 kilogrammes; celui des quatorze colonnes contre le bâtiment est de plus de 15,000 kilogrammes; celui du fer de la ferme de 65,000 kilogrammes, soit en nombres ronds 120,000 kilogrammes, et nous faisons abstraction de celui des colonnettes de l'auvent de la porte d'entrée du centre du bâtiment, de celui des rails, des plates-formes, des ancrages du bâtiment, etc., etc., qui l'élèverait encore de beaucoup.

Ajoutons que tous ces métaux sont en communication métallique, qu'ils sont pour ainsi dire solidaires en ne formant qu'une masse unique et qu'ils communiquent avec trois tiges de paratonnerres armées de pointes en platines en assez bon état; ensuite les ornements de la façade au nombre de onze (O et O' fig. 4) sont en zinc; leur terminaison en cône, leur contact par soudure avec le zinc qui constitue une surface métallique sans solution de continuité, en contact, par conséquent, avec les tiges des trois paratonnerres, peuvent être considérés comme de véri-

tables paratonnerres ; nous pourrions nous demander comment il se fait que ce métal, malgré l'influence due à sa masse, due à sa surface énorme, à ses pointes, à ses paratonnerres, à ses nombreuses communications avec un sol humide, bon conducteur de l'électricité, n'ait pas été capable d'attirer sur lui-même l'étincelle foudroyante ; en d'autres termes : pourquoi la foudre n'a-t-elle pas suivi le chemin qui était électriquement le plus court ? soit pour descendre des nuages, soit pour remonter vers eux, comme je pense l'avoir prouvé.

Quoi qu'il en soit, l'exception à la loi de Gay-Lussac est bien extraordinaire quand on voit le corps le moins conducteur être frappé au centre de cette masse, à 22 mètres de distance horizontale de la tige du paratonnerre P, à 29 mètres de P', à 42 mètres de P''. Ajoutons que le point frappé se trouve en dehors de la sphère que l'on suppose protégée. On admet généralement qu'un paratonnerre protège un *espace circulaire* d'un rayon égal au double de la hauteur de la tige du paratonnerre au-dessus du point sur lequel elle est établie.

Les cercles tracés autour des points P, P' et P'' (fig. 5) montrent le rayon protégé ; d'après cette règle on voit quelle minime partie de la gare est mise théoriquement à l'abri des coups de foudre ; en effet, en déduisant de la surface totale des cercles les parties qui tombent en dehors du bâtiment, on trouve qu'il n'y a pas même un cinquième de la gare qui soit protégé ; e qu'il y aurait à la garnir encore de dix tiges semblables aux tiges P et P'' pour la protéger complètement (*).

Mais on sait cependant qu'il ne faut pas admettre cette règle sur la grandeur du cercle protégé par un paratonnerre comme une loi absolue ; le cercle protégé peut dépendre de plusieurs circonstances inhérentes aux bâtiments, aux matériaux conducteurs ou non conducteurs, etc., etc.

D'après M. Perrot, *la pointe protège uniquement dans l'hémi-*

(*) Une commission nommée par la ville de Paris a dans ces derniers temps modifié cette règle ; elle admet que : *une tige protège efficacement le volume d'un cône de révolution ayant la pointe pour sommet et la hauteur de cette tige mesurée à partir du partage multipliée par 1.75 pour rayon de base.* (Note ajoutée au texte en septembre 1875.)

sphère supérieur au plan passant par cette pointe prise comme centre.

En mettant en regard les opinions ci-dessus, on observe qu'il y a divergence et que dans beaucoup de cas les constructeurs de paratonnerres doivent se trouver embarrassés.

Dans son travail sur la statistique des coups de foudre, mon savant collègue M. Duprez (t. XXI des *Mémoires de l'Académie*) discute la question et je me borne à y renvoyer le lecteur.

Dans la dernière *Instruction sur les paratonnerres du Louvre et des Tuileries* (COMPTES RENDUS DES SCIENCES DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES DE PARIS (t. LXVII, séance du 20 juillet 1868), la commission s'attache principalement aux questions qui ont trait aux dimensions, à la hauteur, à l'ajustement des *tiges principales* et des *tiges secondaires*, etc., etc.

Elle se contente de poser les règles générales qui doivent guider les architectes et les constructeurs. Je craindrais de mal interpréter la pensée de la commission en constatant mes doutes personnels et je préfère transcrire exactement les passages du rapport :

.

« 40. Il nous reste à donner quelques indications sur la place que doivent occuper les tiges et sur leurs distances relatives.

La première règle que nous établissons à cet égard est de poser des tiges sur tous les points culminants du faitage, tels que pavillons, dômes, campaniles, etc., etc. ; nous les appellerons *tiges principales*.

La deuxième règle, moins générale et moins précise que la première, est de déterminer, d'après les circonstances locales, combien il faut mettre de *tiges secondaires* entre deux tiges principales consécutives.

Voici les considérations d'après lesquelles il faut se guider :

Quand, dans cet intervalle, il se trouve beaucoup d'objets ayant une saillie notable au-dessus du circuit, comme cheminées, ornements, etc., les tiges secondaires destinées spécialement à protéger ces objets, ne devront pas être écartées l'une de l'autre de plus de 25 à 30 mètres ;

Quand il arrive, au contraire, que dans l'intervalle qui sépare deux tiges principales, le circuit n'est dominé par aucun objet qui ait au-dessus de lui une saillie notable, on pourra sans inconvénient placer les tiges secondaires à 50 ou à 60 mètres de distance l'une de l'autre. »

Remarquons que la hauteur des tiges données dans cette instruction peut varier de 5 à 10 mètres, mais en général les tiges de 6 à 8 mètres sont suffisantes ; quant au rayon protégé par une tige d'une hauteur donnée, il n'y est même pas fait allusion.

En 1845 (*On the nature of thunder storms ; and on the means of protecting building and shipping against the destructive effects of lightning*, pages 117 et suivantes).

Sir Will. Snow Harris, F. R. S., fait remarquer que la règle, qui admet que l'espace circulaire protégé par la tige d'un paratonnerre a un rayon double de la hauteur de la tige, n'est pas générale. Il ajoute que tout ce que nous savons sur l'action des conducteurs par rapport aux coups de foudre tend à nous faire conclure qu'ils n'ont aucune influence sur la course de ces décharges, si ce n'est celle de présenter un bon conducteur de l'électricité.

Mais examinons un autre principe : « Les paratonnerres sont » d'autant plus indispensables que les édifices contiennent de » plus grandes superficies et de plus grands volumes de substances métalliques, » nous dit le Supplément à l'*Instruction sur les paratonnerres* présenté en 1855 par la section de physique de l'Institut de France (Académie des sciences), *Annales de chimie et de physique*, 3^e série, t. I, 43, p. 436.

La gare peut être considérée comme un immense paratonnerre en communication parfaite avec un sol très-humide, et le principe ci-dessus ne me paraît applicable qu'aux bâtiments dans lesquels les masses de métaux et de fer offrent des solutions nombreuses de continuité, entre lesquelles l'étincelle éclate. Il me semble qu'il suffirait de quelques dispositions bien simples pour profiter, au contraire, des masses métalliques des bâtiments et pour les utiliser comme paratonnerres enfouis dans les maçonneries, puisque l'on peut y enfouir en tout ou en partie les conducteurs des paratonnerres ; ainsi parmi les conducteurs des paratonnerres des nouveaux bâtiments du Parlement anglais, qui sont au nombre de vingt-cinq ou trente, plusieurs sont enfouis dans les maçonneries.

On réaliserait la condition heureuse de faire servir les métaux des bâtiments comme conducteurs en rattachant tous les fers d'une bâtisse et en plaçant quelques conducteurs au fer des rez-

de-chaussée; ces fers seraient mis en communication avec la terre humide des puits et iraient, quand cela serait possible, rejoindre à l'extérieur les conduites d'eau et les tuyaux de gaz.

Il me semble, en supposant qu'une tige unique surmonte un bâtiment pareil, que la foudre trouverait une route toute tracée et parfaitement convenable, en admettant même que la tige ne fût pas reliée avec un conducteur spécial.

Le fer se conserve indéfiniment dans les maçonneries; au besoin toutes les solutions de continuité seraient soudées en les noyant dans du zinc fondu. La vérification d'un paratonnerre pareil se réduirait à l'inspection de la tige et du conducteur souterrain.

§ 5. Conclusion.

Mais si, continuant notre examen, nous cherchons tout ce qui a été posé en principe sur l'écoulement de la foudre, on nous accordera sans peine que les choses ne se passent pas toujours conformément à nos théories et à nos hypothèses.

En effet, voici ce qu'il est dit dans l'instruction rappelée plus haut :

« Il importe de bien remarquer que jamais la foudre ne s'élanç sans
» savoir où elle va, que jamais elle ne frappe au hasard : son point de
» départ et son point d'arrivée, qu'ils soient simples ou multiples, se
» trouvent marqués d'abord par un rapport de tension électrique, et au
» moment de l'explosion le sillon de feu qui les unit, allant à la fois de
» l'un à l'autre, commence en même temps par ses deux extrémités.
» Les herbes, les buissons, les arbres sont des objets trop petits pour la
» foudre, ils ne peuvent pas être son but; s'ils sont frappés, c'est parce
» qu'ils se trouvent sur son chemin, c'est parce qu'il y a au-dessous
» d'eux des masses conductrices plus étendues qui sont le but caché de
» l'attraction, qui reçoivent au large l'influence et déterminent l'explosion. »

Tout ce qui précède avait été dit aussi par Franklin, sous une forme très-simple que je crois devoir reproduire. (Voir : *The works of Benj. Franklin*; by Jared Sparks, t. I, 5, p. 311.)

« Je suis d'avis que, dans chaque coup de foudre, le flux (*stream*) »
 » de fluide électrique, qui se meut pour rétablir l'équilibre entre la »
 » terre et les nuages, trouve toujours à priori (*previously*) son passage »
 » et décide, si je puis m'exprimer ainsi, sa propre trace, prenant sur »
 » son chemin tous les conducteurs qu'il peut rencontrer, tels que les »
 » métaux, les murs humides, le bois humide, etc., etc.; qu'il dévient »
 » considérablement d'une course directe par l'effet des bons conduc- »
 » teurs, et qu'il se meut actuellement, quoique silencieusement et d'une »
 » manière imperceptible, dans cette trace avant l'explosion..... »

Dans l'opinion de Franklin, l'explosion n'arrive qu'ensuite, mais la route du fluide est toute tracée d'avance.

Je ne vois aucun moyen d'expliquer le coup de foudre d'Anvers, s'il faut se baser sur les principes que la route tracée d'avance passerait nécessairement par les bons conducteurs.

Bornant mon rôle à celui de simple narrateur, mais désireux cependant de montrer qu'il est temps qu'on cherche à coordonner les faits anciens et récents que je signale dans cette note, je tiens à donner les citations textuelles et je veux mettre ces opinions en regard avec celle du savant dont les services dans la question qui nous occupe sont de ceux auxquels la science, considérée dans ses applications utiles, rend l'hommage le plus juste et le plus mérité.

Je veux parler de Sir William Snow Harris. On doit admettre, d'après ce savant électricien, que l'action des conducteurs métalliques est une action purement passive. Le conducteur est le patient et non l'agent du phénomène; un conducteur, même les conducteurs ordinaires terminés par une pointe, n'ont pas plus la mission d'attirer ou d'inviter la décharge de la foudre qu'un cours d'eau d'attirer l'eau qu'il charrie après une forte pluie (*).

Des opinions analogues, celles de Sir W. Snow Harris, ont été

(*) 33. *The notion that a lightning rod is a positive evil, seems to have arisen rather out of assumptions and facts partially considered, than from any knowledge acquired by a copious and general induction from experience. Thus, in consequence of the partagc of the matter of lightning through the points of leasts resistance, it has been observed to fall most frequently on bodies which least oppose its progress : metallic vanes, vane spindles, iron bars, knives and pointed metallic substances generally, are therefore frequently found in the track of the discharge. It is indeed, solely from this circumstance, that metals have been especially con-*

émises par Leslie dans le passage suivant que j'emprunte au livre de ce premier :

« Nous devons ne pas perdre de vue que les forces qui sont en jeu » (dans les effets des phénomènes électriques de l'atmosphère) sont distribuées sur une grande étendue de surface et que le point ou les points sur lesquels la foudre se porte dépendent de certaines conditions de l'air et de la somme des forces mises en jeu — et non pas de la simple présence d'un corps métallique qui se projette d'une faible quantité dans l'air.

» *C'est une suggestion de la superstition plutôt que de la science que d'admettre que des corps pareils sont capables de provoquer la foudre du ciel — (la foudre).*

» That such bodies provoke the shaft of heaven is the suggestion of superstition rather than of science. » (LESLIE, *Edin. Phil. Magazine.*)

Voici l'opinion de la commission des paratonnerres de l'Institut de France :

« Aussi, quand la foudre éclate, les deux points de départ de l'éclair » sont, l'un sur le nuage, et l'autre sur la nappe souterraine, qui est en quelque sorte le deuxième nuage nécessaire à l'explosion de la foudre.

• C'est ainsi que le globe de la terre, sans cesser d'être à l'état naturel

sidered as attractors of lightning, and calculated to draw down upon substances in connexion with them.

34. *It will be found however, on examination, that the action of pointed, or other metallic conductors, is purely passive; that they merely afford an easy transmission to the matter of lightning, which is, in fact already present, and is operating rather on them in common with other bodies. So that their action is at best of or negative kind; and they can no more be to said attract the matter of lightning, than a water-course can be said to attract the water, which necessarily flows through it at the time of heavy rain; and as in the latter case the water is drawn down by a force not existing in the channel; so in the former, the electric fluid may be conceived to be determined to a given point by a force not existing in the metal. It would be absurd to say, « that a hollow pipe, open at its upper end, and » placed perpendicularly, attracts, solicits, or invites rain from the clouds » (the Earl of Stanhope's Electricity) or that in providing our houses with such pipes, we incur a greater risk of being inundated, because they are calculated, to discharge freely all the rain which passes into them; no less absurd is it to say, that a metallic rod invites lightning, and may be productive of damage, because, it is calculated to transmit the electricity which falls on its point. (On the protection of ships from lightning, p. 13.)*

» dans son ensemble, se trouve éventuellement électrisé sur quelques points par la présence des nuages orageux.

» Les édifices, les arbres, les corps vivants frappés par la foudre ne doivent être considérés que comme des intermédiaires qui se trouvent sur son chemin et qu'elle frappe en passant.

» Toutefois il ne faudrait pas en conclure que ces intermédiaires sont essentiellement passifs, et qu'ils ne contribuent jamais à modifier ou même à déterminer la direction du coup de foudre. Il est certain, au contraire, qu'ils exercent à cet égard une action d'autant plus grande qu'ils ont une étendue plus considérable et une conductibilité meilleure. » (Extrait des *Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences de Paris*, t. LXIV, janvier 1867.)

.

Pourquoi donc la foudre, dans le cas de la gare d'Anvers, respecte-t-elle le métal et frappe-t-elle un point qui, sans aucun doute, constitue pour elle un chemin électriquement plus long et plus difficile, incontestablement.

Quand on voit la foudre frapper la mer très-près de navires surmontés de hauts mâts, le fait en lui-même n'a rien de surprenant; en effet, la mer conduit, la surface est énorme, la hauteur des mâts est relativement faible; on a vu la foudre frapper simultanément le pont et un des mâts, muni d'un paratonnerre, frapper simultanément la terre et un navire près de la côte; frapper plusieurs arbres à la fois, des édifices très-peu distants de paratonnerres; mais remarquons que dans tous ces cas elle frappe en définitive des conducteurs; les théories admises en rendent compte; il me semble qu'il n'en est pas de même de plusieurs coups de foudre parmi ceux que j'ai cités et particulièrement de celui qui a perforé le carreau de la gare d'Anvers.

Il est à espérer que l'on parviendrait à expliquer ces anomalies si l'on enregistrait avec détails ces coups exceptionnels, et que la théorie de la foudre y gagnerait en précision.

Le phénomène des interférences qui paraissait d'abord constituer un fait exceptionnel, n'a-t-il pas conduit à la véritable théorie de la lumière; pourquoi ne serions-nous pas autorisé à espérer qu'il en sera de même un jour pour la théorie de la foudre?



Fig. 1 Echelle $\frac{1}{8}$

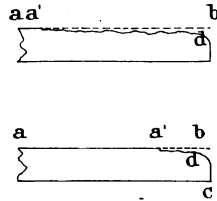
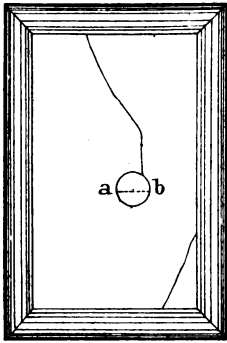


Fig. 3^{bis}
Echelle $\frac{1}{4}$

Fig. 3^{ter} Echelle $\frac{1}{4}$

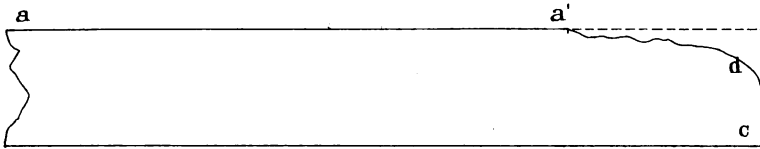
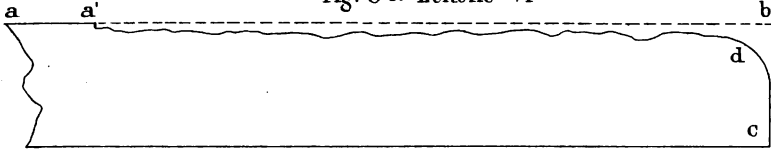


Fig. 6.

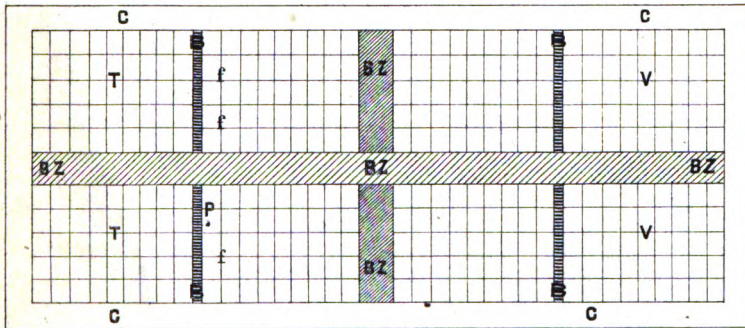


Fig. 2

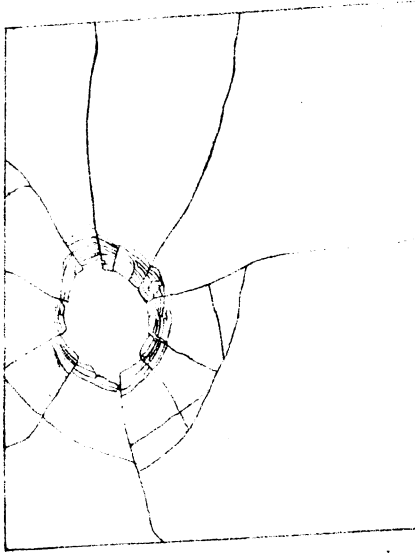


Fig. 3.

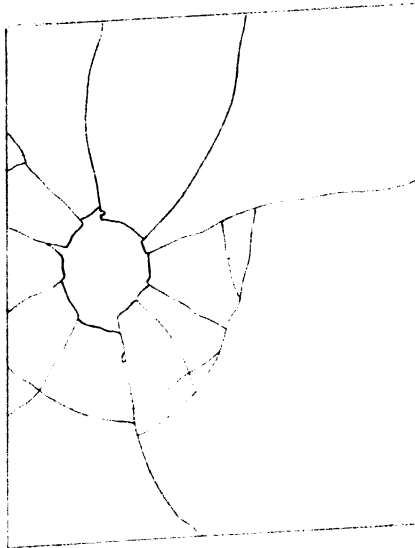


Fig. 4.

Echelle 1/350

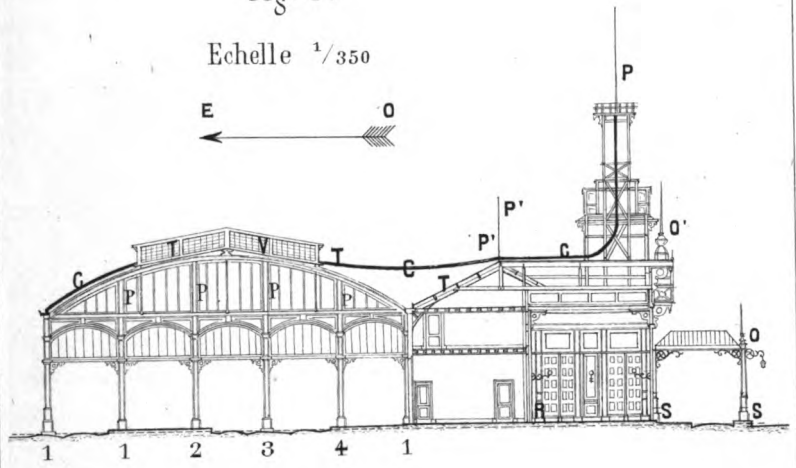
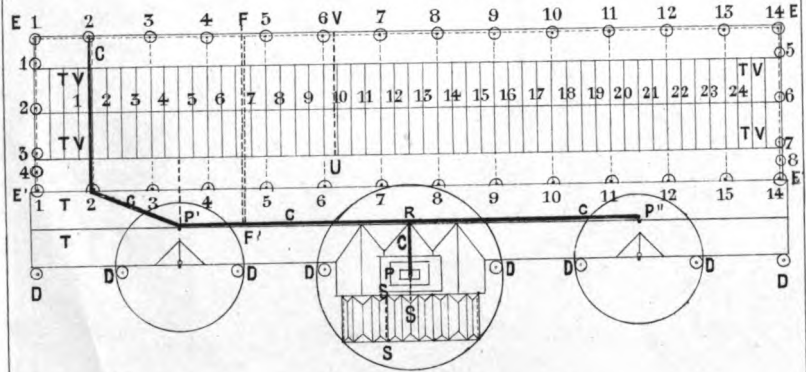


Fig. 5. Echelle 1/1000



Lith. G. Severayns, Bruxelles.

Fig. 7

Fondations
des Colonnes
isolées
simples
N° 1 à 4
et 5 à 8

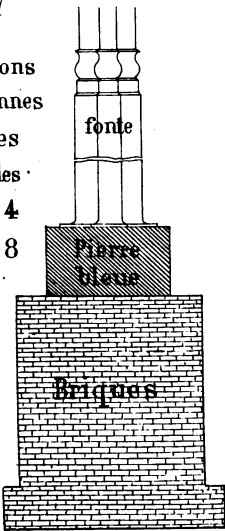
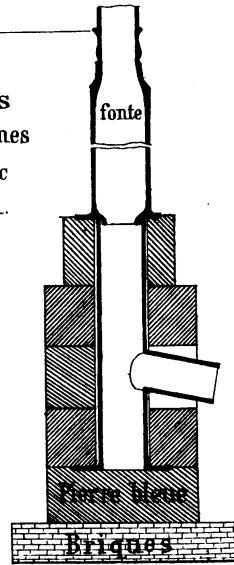


Fig. 8

Fondations
des 14 Colonnes
isolées avec
manchon.



Colonnes Méplates.

Face

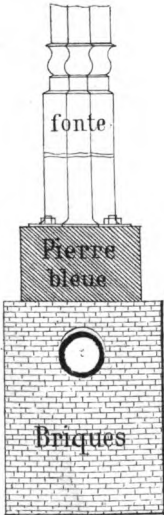


Fig. 9.

Coupe Verticale

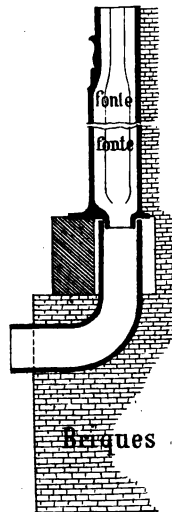


Fig. 10.