

UN PARATONNERRE AU RADIUM POUR LA CAPTATION DE L'ÉLECTRICITÉ ATMOSPHÉRIQUE

Par Justin FORTIER

POUR transmettre pratiquement l'énergie électrique à distance, sans fil, ni conducteur quelconque, simplement par ondes électromagnétiques, il faudra évidemment que ces ondes diffèrent grandement de celles employées actuellement en T. S. F. et en radiotéléphonie.

En effet, les ondes électriques, ou hertziennes proprement dites, ont des longueurs beaucoup trop grandes et des fréquences beaucoup trop faibles pour être dirigées pratiquement et surtout pour être employées d'une façon industrielle.

Il est vrai que les expériences entreprises à Carnarvon (pays de Galles, en Angleterre), en 1907, avec des fils disposés en parabole autour d'une antenne horizontale, ont démontré la possibilité de grouper la majeure partie de l'énergie inductrice émise dans une direction choisie.

Les tensions extrêmes actuelles (220.000 volts, en Californie) de la transmission de l'énergie électrique à longue distance, par conducteurs spéciaux, ne marquent pas encore les bornes du progrès de l'électrotechnique.

La haute fréquence, employée conjointement avec la haute tension, nous permettra, dans un avenir très prochain, grâce à la petitesse des longueurs d'ondes et du nombre énorme de périodes par seconde, l'usage des courants alternatifs triphasés à haute tension et haute fréquence pour alimenter à distance, sans aucun fil, par simple induction électromagnétique, nos électromoteurs, qui seront alors tous construits comme des alternateurs à haute fréquence ou à résonance.

L'électricité, avant la fin de ce siècle,

sera libérée de toute chaîne, c'est-à-dire débarrassée à jamais de tout lien conducteur, et l'on pourra appliquer la houille blanche de nos montagnes et de nos fleuves rapides (Rhin et Rhône), ainsi que l'énergie des fortes marées de nos côtes découpées de la Bretagne, à la propulsion directe des navires en plein océan et de nos avions dans l'air.

Il faudra donc pouvoir recueillir au poste récepteur non des parcelles, mais d'énormes quantités ou fractions des ondes dispersées autour du lieu d'émission (poste émetteur à haute tension).

Car, seule, la haute tension associée à la haute fréquence pourra solutionner ce captivant problème, en concentrant alors l'induction électromagnétique suivant un faisceau parallèle, véritable tube d'énergie électrique.

Toutes les ondes sont de même nature électromagnétique, mais elles diffèrent entre elles par leur fréquence et leur longueur respective.

La haute tension doit être employée pour transmettre très loin l'énergie, et la haute fréquence (100.000 à 200.000 périodes et plus par seconde) pour obtenir une forte induction électromagnétique, sup-

primant ainsi tout conducteur métallique.

Cependant, dans l'emploi de la haute tension (HT), outre la perte inévitable et sensible d'environ 8 à 10 % dans le réseau, par *effet Joule*, c'est-à-dire par frottement du courant électronique dans la ligne de transport d'énergie, il faut tenir compte aussi des effluves (visibles et invisibles) se dégageant des conducteurs (HT) dans l'atmosphère (surtout humide), dès que la tension y dépasse 40.000 volts. C'est pourquoi cette



LE DOCTEUR B. SZILARD

Inventeur du paratonnerre au radium pour la captation de l'électricité contenue dans l'atmosphère.

déperdition, dit *effet corona* (voir *La Science et la Vie*, n° 70, page 295), a limité actuellement l'emploi des hautes tensions à 220.000 volts maxima (réseau de la Californie).

A cause de ce rayonnement de l'énergie par les lignes de transmissions à haute tension, la génératrice de courant doit toujours fournir séparément, pour ainsi dire, la puissance nécessaire à la ligne et la puissance à rayonner à travers l'espace.

En effet, d'après le célèbre ingénieur américain Steinmetz, le champ magnétique en quadrature avec le courant qui le produit, doit se propager vers l'extérieur du conducteur

dans une direction normale avec la vitesse de la lumière, qui est celle de toutes les ondes électromagnétiques.

Mais, avec les tensions usuelles et pour les types de lignes employées actuellement, les pertes par rayonnement sont heureusement négligeables ; la perte croît comme le carré de la fréquence pour les lignes très longues, ce qui équivaut, en réalité, à ajouter en série avec l'alternateur une résistance des plus faibles.

Steinmetz en conclut que, même aux plus hautes fréquences, les effets du rayonnement

sont si faibles que l'on peut les négliger pratiquement dans la majorité des cas.

Quant à la fréquence, si on la choisit toujours modérée dans l'industrie, ne dépassant pas 60 périodes par seconde, c'est afin d'éviter les chutes de tension inductive dans les lignes de transport abaissant forcément le facteur de puissance du réseau. Avec des fréquences plus élevées (HF), dépassant 60

périodes, il se produit alors ce qu'on appelle le *skin-effect* ou *effet de surface*, le courant alternatif (HF) se portant de préférence à la périphérie des câbles (creux ou non) de distribution. En effet, la résis-

tance ohmique du courant conducteur s'accroît avec la fréquence du courant alternatif qui le parcourt.

Lord Kelvin, qui a signalé le premier ce curieux effet, a proposé l'emploi de barres métalliques plates, non cylindriques, et très conductrices, pour réduire l'importance de cet effet de surface ou de *peau*.

En outre, sans le transformateur statique, on ne pourrait sans danger mortel, aux postes de réception, employer de pareilles tensions, voisines de 220.000 volts, comme on le fait aux Etats-Unis.

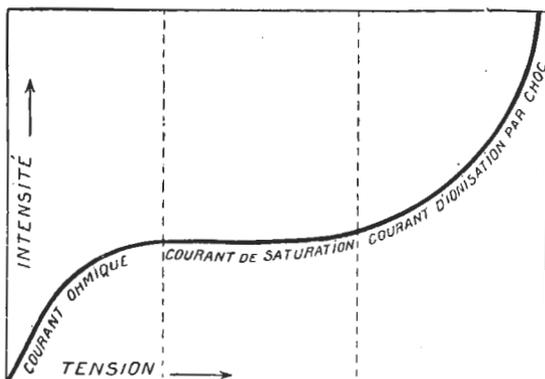


FIG. 1. — INFLUENCE DU RADIUM SUR LA CONDUCTIBILITÉ ÉLECTRIQUE DE L'AIR

On rend l'air conducteur en l'ionisant par les radiations d'un sel de radium et on se sert de leur influence sur la décharge électrique. La loi de la conductibilité des gaz raréfiés suit la loi d'Ohm tant que la tension appliquée est faible. Quand celle-ci augmente, l'intensité du courant atteint bientôt une limite dite « courant de saturation » sous un voltage assez étendu. Ce voltage dépassé, on obtient un troisième état de conductibilité : c'est « l'ionisation par choc » où l'intensité du courant augmente vite avec le potentiel. La courbe ci-dessus montre bien l'allure de ces trois phénomènes d'ionisation.

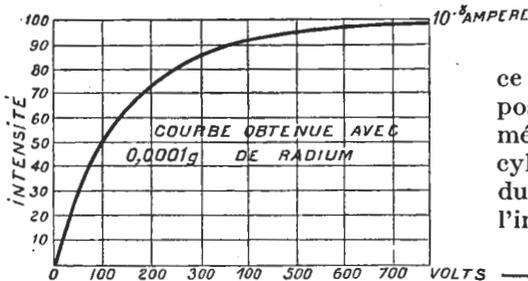


FIG. 2. — VARIATION DE L'INTENSITÉ DU COURANT AVEC L'INTENSITÉ DES RAYONS DU RADIUM

Cette intensité varie avec la quantité de substance radioactive utilisée, et comme ces émanations sont absorbables en partie, l'intensité dépend aussi de l'étendue de la surface sur laquelle la quantité donnée de matière active est exposée. La courbe ci-dessus fait voir quantitativement l'allure du phénomène (variation de l'intensité), quand les électrodes sont constituées par deux plateaux métalliques parallèles de grand diamètre et distants de 4 cm. 5. La surface du disque couverte du sel de radium frais est de 33 centimètres carrés. Ce disque est placé sur le plateau inférieur et contient 1/10 de milligramme de bromure de radium. Le régime du courant de saturation est atteint vers 600 volts et l'intensité est de l'ordre de 1/100^e de microampère (10⁻⁸ ampères).



On voit donc, de ce qui précède, quel avantage incontestable on retirerait de la suppression de tout conducteur métallique dans le transport de l'énergie à longue distance, en se servant uniquement d'ondes électromagnétiques inductives, produites par des courants alternatifs à très haute fréquence et à fortes tensions, ondes énergétiques qui se transmettraient alors dans l'espace, comme des ondes hertziennes.

FIG. 3. — PARATONNERRE D'ESSAI AU RADIUM

Ce dispositif démontable et fort peu élevé (3 m. 50) du Dr B. Szilard permet de capter l'électricité atmosphérique. L'appareil, transportable, consiste en

trois tubes T' T'' T''' en laiton, formant système télescopique, monté sur un socle d'ébonite Y et un support de fonte S fixé au sol. Au sommet de l'instrument se trouve une couronne de trois petites pointes A, et, dessous, le disque bombé E portant la substance radioactive (1 à 5 milligrammes de bromure ou de chlorure de radium) sous forme de ruban circulaire R disposé concentriquement au centre du disque. B, borne reliant le paratonnerre à l'appareil de mesure. Le poids total de l'appareil est de 10 kilos environ.

de l'énergie en énergie électrique, la transporter à longue distance, avec ou sans fil, dans ce dernier cas par courants de haute fréquence (voir *La Science et la Vie*, n° 74, page 109), ne suffira pas toujours à la noble ambition de l'ingénieur électricien.

Pourquoi, en effet, aller chercher si loin et payer fort cher une énergie accumulée gratuitement au-dessus de nos têtes : la captation de l'électricité atmosphérique, du fluide bleu, n'est pas une impossibilité, comme nous l'avons démontré dans un précédent article (*La Science et la Vie*, n° 72).

Le potentiel électrique de l'atmosphère dépasse généralement 100 volts par mètre, soit donc déjà une énorme tension de 30.000 volts pour la tour Eiffel, dont la hauteur est de 300 mètres, comme on sait.

Un simple fil vertical, sorte d'antenne ou d'immense paratonnerre de la hauteur

d'une maison de six étages, serait déjà parcouru par un courant notable de plusieurs milliers de volts, s'il communiquait d'une part avec la terre et s'il se terminait, d'autre part, au sommet, par un collecteur susceptible d'ioniser, plus ou moins fortement, les molécules de l'air environnant.

Dans ce but, diverses tentatives fort intéressantes ont déjà été pratiquées en Europe, afin de tirer parti de cette réserve d'énergie électromagnétique qui sommeille là-haut, tandis qu'elle serait si utile pour nous ici-bas.

En Italie, un ingénieur, M. G. Lentner, a établi une semblable antenne verticale, supportant une sphère hérissée de pointes enduites de substances radioactives ionisantes, et le courant à haute tension ainsi capté, dûment régularisé et transformé, a donné d'excellents résultats pratiques.

En France, dès 1914, le Dr B. Szilard, de nationalité roumaine, a établi, le premier, un paratonnerre au radium pour la captation de l'électricité atmosphérique.

Voici les considérations de l'inventeur :

La tension normale de l'électricité atmosphérique est, comme on le sait, en fonction de l'altitude, à laquelle elle est, pour une localité donnée, à peu près directement proportionnelle. L'air est chargé positivement.

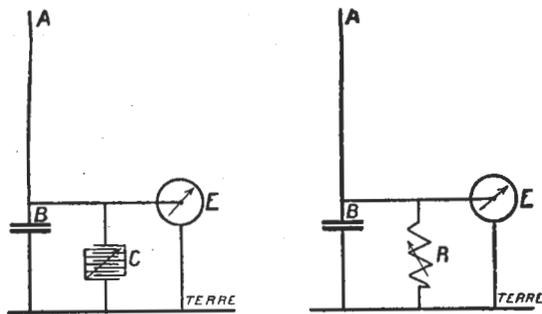


FIG. 4 ET 5. — MONTAGE DES MESURES

Ces dispositifs permettent de suivre quantitativement les données du « courant de déperdition » passant de l'instrument à l'atmosphère (fig. 4) et celles du « courant de charge » venant de l'atmosphère au paratonnerre (fig. 5). AB, paratonnerre relié au cadran de l'électromètre E, dont la boîte et l'aiguille sont à la terre. C, condensateur de T. S. F. à capacité variable, en dérivation dans le circuit. Une armature communique avec le paratonnerre isolé (en B) et l'électromètre E ; l'autre avec le sol (fig. 4). Dans le second montage (fig. 5), on remplace le condensateur C à air par une résistance ohmique réglable R qui relie au sol le système paratonnerre-électromètre. On détermine l'intensité du courant de charge arrivant à l'appareil en variant la résistance R de façon que le potentiel indiqué par E reste constant. L'intensité du courant de charge sera égale alors à celle franchissant la résistance étalonée.

Cependant, ce potentiel déjà élevé (au-dessus du sol) correspond seulement à une très faible intensité de courant d'environ 3.10^{-16} ampères par centimètre carré.

Pour recueillir un courant de cette nature, on serait donc obligé de réaliser des points de contact multiples, infiniment nombreux, entre chaque point de l'atmosphère et un faisceau ou une nappe de conducteurs, à moins de rechercher les grandes hauteurs, où règnent déjà des hauts potentiels susceptibles d'atteindre les collecteurs par de petites décharges disruptives pouvant agir efficacement à quelque distance.

Il y a neuf ans, en France, l'inventeur Szilard nous a déjà indiqué un dispositif (dont il a la priorité), qui avait pour but de recueillir l'électricité

atmosphérique à une hauteur très faible (quelques mètres seulement, 3 m. 50) et agissait à la fois, non pas sur une faible surface, mais sur un volume considérable, en reliant chaque point de cette masse *non conductrice* avec un collecteur d'énergie.

Le dispositif était destiné à capter l'électricité, soit en vue de la rendre inoffensive (paratonnerre), soit en vue d'une utilisation quelconque.

Ses expériences, faciles à répéter, lui ont permis de faire, non seulement des démonstrations qualitatives, mais aussi de me-

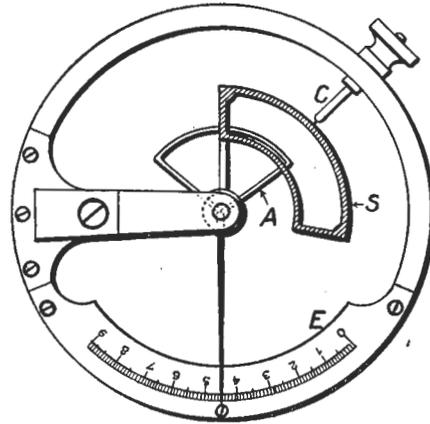
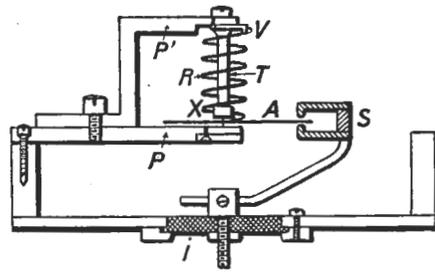


FIG. 6. — LES INSTRUMENTS DE MESURE

Les électromètres utilisés sont portatifs, avec longue aiguille indicatrice rigide et échelle à lecture directe. La capacité de l'électromètre est de 2 U. E. S. (deux unités électro-statiques, système C. G. S.). Il permet la mesure de la tension entre 250 et 1.000 volts. L'aiguille de l'appareil, de longueur totale de 50 millimètres, ne pèse que 1 centigramme ; elle a donc une inertie propre des plus faibles.

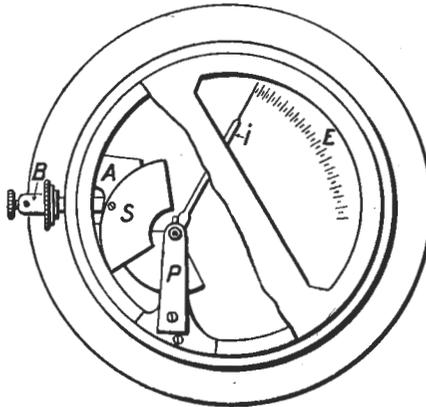
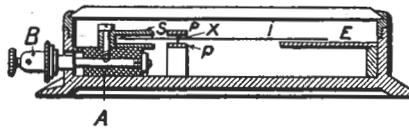


FIG. 7. — Ce second type d'électromètre est encore plus sensible à la tension que le premier (échelle entre 100 et 300 volts), tandis que sa capacité est de 6 U. E. S.

surer pratiquement l'intensité du courant atmosphérique ainsi capté.

Le point de départ de cette étude était la propriété des radiations du radium qui rendent l'air ionisé, c'est-à-dire conducteur, comme du reste toute autre substance radio-active.

Cette propriété du radium a déjà été utilisée pour la mesure du potentiel atmosphérique. Dans ce but, on expose à l'air libre une longue tige métallique garnie de radium ; cette tige est reliée à un électromètre, placé à distance et indiquant le *potentiel de l'atmosphère à l'endroit précis où le collecteur se trouve placé.*

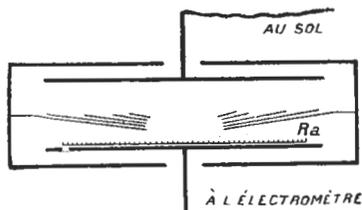
Or, le radium émet, en outre de ses rayons *alpha*, particules électrisées positivement (qui ont un fort pouvoir ionisant, mais une distance d'ac-

tion relativement courte), des rayons *bêta* (négatifs) et *gamma* (X), qui traversent l'atmosphère à une très longue distance et font parvenir au collecteur des charges provenant des nappes aériennes lointaines. Les mesures se trouverent donc ainsi en partie faussées.

C'est à cause de cette propriété que l'on a rejeté l'emploi du radium comme prise de potentiel pour ces mesures ; on l'a remplacé par le polonium ou par l'ionium, substances également radioactives, mais n'émettant que des rayons *alpha* (positifs), dont

FIG. 8. — CONSTITUTION DE LA RÉSISTANCE VARIABLE

La résistance variable est constituée par une chambre d'ionisation portant, haut et bas, un plateau



isolé à l'ombre. Le plateau du bas porte une quantité définie de substance radioactive Ra, et il est relié à l'électromètre. Le plateau supérieur est relié au sol. La chambre d'ionisation est divisée en deux parties par une cloison constituée par un diaphragme métallique en œil-de-chat, dont l'ouverture se fait à l'extérieur. Le faisceau limité de rayonnement est reçu dans cette chambre par le réglage de l'œil-de-chat; on varie ainsi la conductibilité de l'air entre des limites données. Une aiguille extérieure, solidaire du diaphragme, indique le diamètre de l'ouverture auquel la conductibilité de l'air ionisé est proportionnelle. L'étalement préalable de l'appareil permet de connaître la valeur de l'intensité correspondant à chaque ouverture et à chaque voltage.

par la substance radioactive et la base ne serait limitée que par le pouvoir très pénétrant des rayons *gamma* du radium.

Les rayons radioactifs ont aussi la propriété d'abaisser le potentiel explosif. Si, alors, malgré le débit constant, la tension du milieu arrivait à monter à un haut potentiel tel qu'une décharge disruptive se produisit, celle-ci jaillirait lorsqu'elle serait encore faible et bien avant qu'elle n'ait pris naissance dans des conditions normales. De petites étincelles pourront être ainsi amorcées à distance et arriver sur le disque capteur, où la conductibilité de l'air ionisé les conduira progressivement.

La masse d'air ionisée autour de ce disque peut être considérée comme un prolongement de celui-ci et lui assurera donc un grand rayon d'action. L'air ionisé dans le voisinage, effectuant un contact *intime* entre le disque et l'atmosphère, jouerait en outre le même rôle que les ramifications de la prise de terre d'un paratonnerre ordinaire, qui ont pour but d'établir un contact aussi parfait et aussi peu résistant que possible entre l'instrument et la terre.

Au moyen d'un appareil inspiré du principe ci-dessus, le Dr Szilard a réussi à suivre quantitativement ces phénomènes.

L'instrument, transportable, consiste en

la distance limite d'action est très courte (quelques centimètres). De cette façon, seule, cette petite nappe aérienne, en contact direct, ou située à quelques centimètres de distance du collecteur, est explorée, c'est-à-dire que l'électromètre indiquera, dans ces conditions, uniquement la différence de potentiel entre cette petite région limitée et le sol. Ce qui est le but désiré.

La raison qui a fait rejeter par ce docteur l'emploi du radium pour cet usage, le lui a fait reprendre pour un autre but. Il s'est demandé si l'on ne pouvait pas utiliser le radium, précisément grâce au grand pouvoir pénétrant de ses rayons, pour un transport de charge des nappes lointaines de l'atmosphère, pour les capter en un mot.

Les radiations pénétrantes de radium joueraient ici le rôle d'un faisceau de fils, infiniment nombreux, partant de la surface du disque radifère et allant vers les couches lointaines, tout en faisant contact électrique avec toutes les couches successivement traversées pendant leur parcours. On arriverait ainsi à mettre en jeu non pas la quantité d'électricité accumulée sur une surface réduite d'une pointe ou d'un disque, mais (pour en donner une image) une quantité correspondant à une masse de forme conique, dont le sommet est constitué

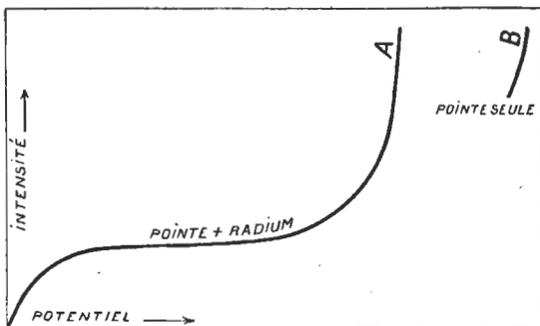


FIG. 9. — COURBES DE L'ALLURE GÉNÉRALE D'UN PARATONNERRE AU RADIUM, COMPARATIVEMENT A CELLE DE L'INSTRUMENT A POINTE. La courbe A représente, en fonction du potentiel, l'intensité du courant traversant le paratonnerre au radium. L'action commence déjà au potentiel initial, tend vers une limite, pour monter brusquement ensuite. La courbe B indique que l'action de la simple pointe commence à un potentiel tel que la même décharge, sous l'influence du radium, n'aurait pas atteint dans les mêmes conditions. Ce qui est important en pratique, car, dans l'atmosphère, les charges accidentelles sont toujours le résultat d'une évolution. Le paratonnerre au radium peut empêcher la formation de la décharge et encore supprimer l'influence de celle-ci sur les diverses nappes aériennes en mouvement.

trois tubes de laiton de 0 m. 10 de diamètre à la base, s'emboîtant les uns dans les autres et ayant une longueur totale de 3 m. 50, laquelle peut être réduite à volonté. Cette série de tubes est montée sur un socle isolant en ébonite de 0 m. 50 de hauteur, reposant sur un support massif en fonte.

Sur l'extrémité supérieure de l'appareil s'applique une couronne de petites pointes et, en dessous, un disque portant la substance radioactive correspondant de 1 à 5 milligrammes de bromure de radium. La substance est fixée sur la partie supérieure du disque bombé, en cuivre rouge, sous forme de ruban circulaire d'une largeur de 3 centimètres, disposé concentriquement au centre et à une certaine distance du bord du dit disque.

On arrive à combiner le radium avec un émail, ou avec un alliage (or, argent en feuille) adhérent parfaitement à la surface du disque; l'instrument peut ainsi résister à la pluie et aux intempéries (changements de température).

En faisant fonctionner une petite machine statique (longueur d'étincelle: 3 centimètres) dans le laboratoire d'essais où se trouve l'appareil, on arrive à faire dévier l'aiguille de l'électromètre de mesure (350 volts), relié à la tige radioactive, même à une distance de 5 mètres. En remplaçant l'électromètre par un tube au néon, celui-ci s'illumine alors immédiatement.

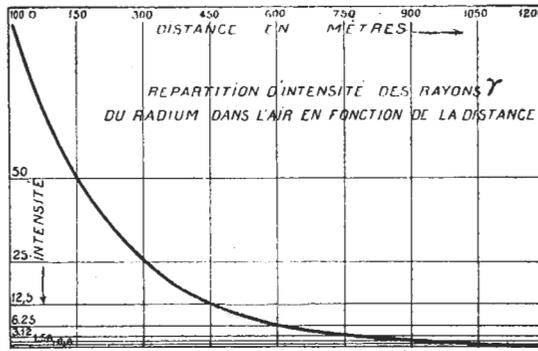


FIG. 10. — COURBE D'ABSORPTION DES RAYONS GAMMA (γ) DU RADIUM

L'action protectrice absolue du paratonnerre au radium est d'autant de fois plus forte que l'abaissement du potentiel explosif exercé par les rayons de la substance active employée s'accroît. Quant à la distance maximum jusqu'à laquelle il y a une influence électrique, elle peut être fort notable. On sait que les rayons « gamma » du radium sont très pénétrants et peuvent ioniser ainsi des masses d'air assez éloignées. La courbe ci-dessus représente l'absorption de ces rayons pénétrants en fonction de la couche d'air absorbante. On voit qu'il faut une couche d'air d'une épaisseur de 150 mètres pour diminuer l'intensité du rayonnement de moitié. En outre, l'intensité du rayonnement diminue avec le carré de la distance.

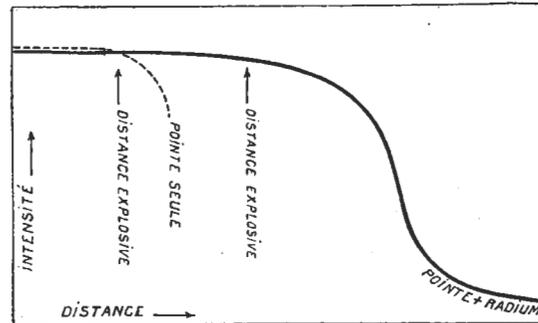


FIG. 11. — COMPARAISON DE L'ACTION DU PARATONNERRE A POINTE AVEC CELLE DU PARATONNERRE AU RADIUM

Cette courbe comparative, très explicite par elle-même, est établie en fonction de la distance et pour un potentiel explosif donné.

Ces expériences réussissent mieux en plein air que dans un laboratoire, mais sont complètement négatives si l'on retire le disque à ruban de radium de l'appareil capteur.

En exposant le dispositif à l'air libre (sans la machine statique, bien entendu), dans un endroit bien dégagé, on voit l'aiguille dévier brusquement et le tube de Geissler s'illuminer. Ces expériences ont été faites dans un air relativement calme, à la porte de Versailles, à Paris; alors que le paratonnerre sans disque ne donnait aucun résultat.

L'intensité du courant transmis par ce dispositif est très variable, de l'ordre de 10^{-7} ampères, alors que le courant transmis par l'air à l'état normal est de 10^{-18} ampères. L'ordre de grandeur se trouve donc multiplié environ par un milliard (10^9) pour la captation. Ce chiffre ne tient pas compte du courant qui pourrait être provoqué par l'ionisation par choc ou par décharge disruptive, que le dispositif de mesure actuel n'aurait pas pu mesurer directement.

Le Dr Szilard a donc réalisé le premier collecteur d'électricité atmosphérique susceptible d'illuminer un tube de Geissler au niveau de Paris, c'est-à-dire à très faible altitude, ce qui est extrêmement intéressant.

Puisse son ingénieux dispositif de captation de l'électricité atmosphérique être appliqué sur une grande échelle! J. FORTIER.