

0072

SGN
10072

N° D'ORDRE :

920

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

Par René **SWYNGEDAUF**

Agrégé des Sciences physiques,
Maître de conférences à la Faculté des sciences de Lille.

1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES DÉCHARGES. — LES POTENTIELS
EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.

2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le mai 1897, devant la Commission d'examen.

MM. LIPPMANN, *Président*,

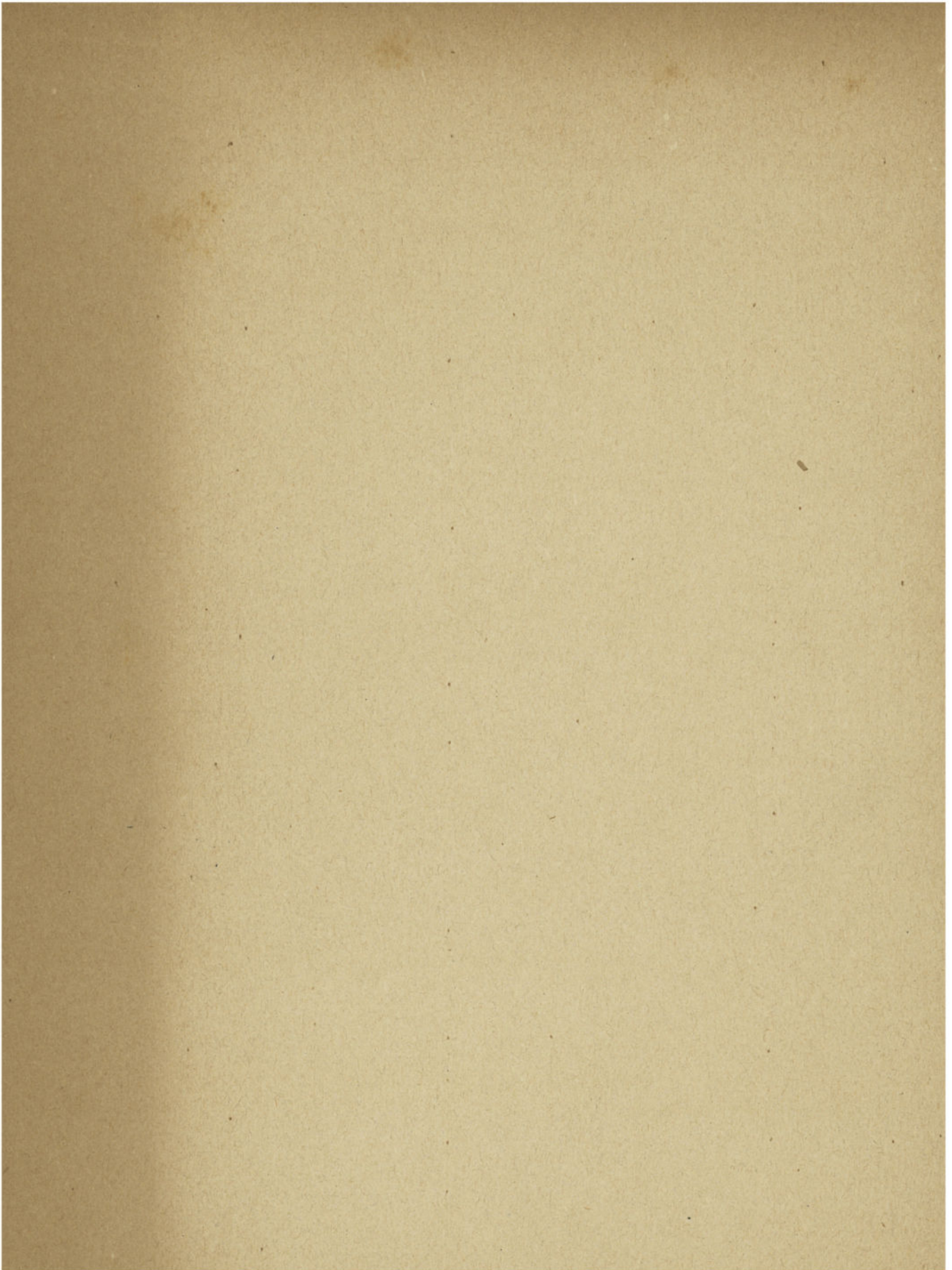
BOUTY, } *Examinateurs*.
DITTE, }

PARIS

GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS

3, RUE RACINE, 3

1897



0072

A Monsieur
respectueux homm

R. Swyngedauw

SGN
10072

N° D'ORDRE :
920

THÈSES

PRÉSENTÉES

A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

POUR OBTENIR

LE GRADE DE DOCTEUR ÈS SCIENCES PHYSIQUES

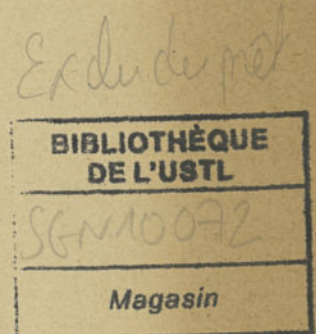
Par René **SWYNGEDAUF**

Agrégé des Sciences physiques,
Maître de conférences à la Faculté des sciences de Lille.

- 1^{re} THÈSE. — CONTRIBUTION A L'ÉTUDE DES DÉCHARGES. — LES POTENTIELS
EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.
- 2^e THÈSE. — PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ.

Soutenues le mai 1897, devant la Commission d'examen.

MM. LIPPMANN, *Président*.
BOUTY, } *Examineurs*.
DITTE, }



PARIS
GEORGES CARRÉ ET C. NAUD, ÉDITEURS
3, RUE RACINE, 3
1897

ACADÉMIE DE PARIS

FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS

MM.

DOYEN	DARBOUX, professeur . . .	Géométrie supérieure.
	DE LACAZE-DUTHIERS.. .	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	HERMITE	Algèbre supérieure.
	TROOST	Chimie.
	FRIEDEL	Chimie organique.
	LIPPMANN	Physique.
	HAUTEFEUILLE	Minéralogie.
	BOUTY	Physique.
	APPELL	Mécanique rationnelle.
	DUCLAUX	Chimie biologique.
	BOUSSINESQ.	Calcul des probabilités et Physique mathématique.
	PICARD	Calcul différentiel et Calcul intégral.
PROFESSEURS	POINCARÉ	Astronomie mathématique et Physique céleste.
	YVES DELAGE.	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
	BONNIER.	Botanique.
	DASTRE	Physiologie.
	DITTE	Chimie.
	MUNIER-CHALMAS	Géologie.
	GIARD	Zoologie, Évolution des êtres organisés.
	WOLF	Astronomie, Physique.
	KOENIGS	Mécanique physique et expérimentale.
	VÉLAIN	Géographie physique.
	CHATIN	Zoologie, Anatomie, Physiologie comparée.
PROFESSEURS ADJOINTS	JOLY.	Chimie.
	PELLAT	Physique.
	PAINLEVÉ	Calcul différentiel et Calcul intégral.
SECRÉTAIRE	FOUSSEREAU.	

A

M. DAMIEN

PROFESSEUR A LA FACULTÉ DES SCIENCES DE LILLE

Hommage reconnaissant et affectueux.

PREMIÈRE THÈSE

CONTRIBUTION

A

L'ÉTUDE DES DÉCHARGES

LES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.

CHAPITRE PREMIER

INTRODUCTION ET MÉTHODE

§ I. QUELQUES GÉNÉRALITÉS SUR L'ÉTUDE EXPÉRIMENTALE DES DÉCHARGES; LA MÉTHODE DES ÉTINCELLES.

Une décharge est caractérisée par un changement très rapide, dans la distribution de l'électricité, sur les conducteurs qui en sont le siège.

Si un fil est parcouru par une décharge, l'intensité du courant et la différence de potentiel entre deux de ses points varient très rapidement d'un instant à l'autre; l'étude expérimentale complète du phénomène consiste à déterminer la valeur que prend chacune de ces deux quantités à chaque instant. Cette étude a été faite par des méthodes stroboscopiques pour les décharges de bobines de Ruhmkorff ⁽¹⁾ ou de condensateurs dont la période d'oscillation est de l'ordre du dix-millième de seconde ⁽²⁾. Pour des décharges plus rapides de bouteilles de Leyde, de vibrateurs et de résonateurs hertziens, les méthodes précédentes sont en défaut; pour

⁽¹⁾ HELMHOLTZ, *Monatsberichte der Berl. Akad.*, 1871; BLASERNA. *Archives des sciences physiques et naturelles*; nouvelle série, t. XXXVIII, p. 338, 1870; BERNSTEIN, *Pogg. Ann.*, t. CXLII, p. 54, 1871; MOUTON, *Étude expérimentale sur les phénomènes d'induction électromagnétique* (Thèse de doctorat 1876), Paris.

⁽²⁾ P. JANET. Séances de la Société française de physique. Janvier-avril, 1893, p. 98; *Comptes rendus*, 21 novembre 1892; 26 décembre 1892; 13 février 1893.

contrôler la théorie par l'expérience on évalue l'effet calorifique, électromagnétique ou électrostatique produit par la décharge tout entière; le plus souvent on détermine le potentiel maximum produit entre deux points a et b du circuit pendant la décharge. On emploie, à cet effet, la *méthode des étincelles*: on met les points a et b en contact respectivement avec les pôles A et B d'un excitateur; on détermine la distance explosive maximum Δ de cet excitateur pour la décharge étudiée; on mesure par un électromètre absolu le potentiel explosif V correspondant à Δ ; on en conclut que le potentiel V est le potentiel maximum atteint pendant la décharge entre les points a et b . Cette méthode trouve son emploi constant dans l'étude des oscillations hertziennes ou des décharges des bouteilles de Leyde. Dans quelles conditions est-elle légitime? C'est la question que nous chercherons à résoudre.

§ II. LES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

Lorsqu'on réunit les deux pôles d'un excitateur aux pôles d'une machine électrostatique de faible débit munie de ses condensateurs, le champ électrostatique créé entre les pôles de l'excitateur varie lentement, l'électricité distribuée sur chacun d'eux peut être consi-

dérée comme étant en équilibre à chaque instant : *on charge l'excitateur par une méthode statique.*

Lorsqu'on met les pôles de l'excitateur en communication avec deux points d'un fil parcouru par une décharge, le champ électrostatique varie très rapidement et il n'est pas démontré qu'à chaque instant l'électricité prenne une distribution d'équilibre ⁽¹⁾ : *on charge l'excitateur par une méthode dynamique.*

Or, la distribution de l'électricité sur les pôles d'un excitateur exerce une influence sur la distance explosive : deux excitateurs de formes différentes, chargés au même potentiel, se déchargent pour des distances explosives différentes. Il n'est donc pas évident, *a priori*, qu'un excitateur placé dans des conditions physiques déterminées, chargé par une méthode statique ou par une méthode dynamique, se décharge pour la même valeur du potentiel. En désignant sous le nom de *potentiel explosif statique* ou de *potentiel explosif dynamique* le potentiel pour lequel on observe une étincelle à l'excitateur chargé par une méthode statique ou dynamique, nous pourrions dire qu'il n'est pas évident que les potentiels explosifs statique et dynamique d'un même excitateur soient égaux entre eux.

Dans la méthode de mesure du potentiel par les étincelles, décrite précédemment, on admet que l'étincelle a éclaté pour le même potentiel dans la décharge et dans la mesure électrométrique. Or, la mesure du potentiel explosif par l'électromètre se fait en chargeant l'excitateur suivant une *méthode statique*, donc les physiciens qui se servent de la méthode des étincelles dans l'étude des décharges supposent implicitement ou explicitement l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un même excitateur.

⁽¹⁾ On conçoit que l'excitateur puisse être chargé avec une rapidité telle que la distribution de l'électricité sur les pôles soit notablement différente de la distribution d'équilibre, mais il est possible que cette rapidité ne soit pas atteinte dans la pratique.

M. Jaumann ⁽¹⁾, en se basant sur des expériences très ingénieuses sur lesquelles nous aurons à revenir, (page 34) a contesté cette manière de voir ; son opinion ne semble pas avoir prévalu et la plupart des physiciens qui se sont occupés de potentiels explosifs admettent encore l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique.

Dans ce travail, je me propose de montrer :

1° Que dans les conditions où se sont placés la plupart des expérimentateurs, les potentiels explosifs statique et dynamique sont inégaux ⁽²⁾ ;

2° Que moyennant certaines précautions la méthode des étincelles est justifiée par l'expérience.

Ce travail a été fait à l'Institut de Physique de l'Université de Lille.

Je dois la plus vive reconnaissance à M. Damien, professeur de physique à l'Université, pour l'empressement avec lequel il a mis toutes les ressources du laboratoire à ma disposition et l'affectueux intérêt avec lequel il a suivi et encouragé ces recherches.

J'adresse un souvenir reconnaissant à tous ceux qui se sont intéressés à mon travail et, particulièrement, à M. Bernard Brunhes, chargé de cours de physique à l'Université de Dijon.

§ III. LES APPAREILS

Condensateurs. — 1° Les condensateurs sont, en général, de grosses jarres en verre dont les surfaces intérieure et extérieure sont recouvertes de papier d'étain ; une tige de cuivre repose sur le fond intérieur par un trépied en cuivre et se termine à l'extrémité supérieure par un serrefil à 10 centimètres au-dessus de l'ouverture de la jarre. La tige de cuivre est entourée d'un tube en verre. La jarre est fermée par un couvercle en bois

⁽¹⁾ *Einfluss rascher Potentialänderungen auf den Entladungsvorgang.* (Sitz. ber. der Akad. der Wiss. zu Wien, p. 765; juillet 1888.)

⁽²⁾ Cette inégalité est due à des causes bien différentes de celle qu'avait invoquée M. Jaumann.

paraffiné que la tige de cuivre entourée de verre traverse en son milieu. Le fond extérieur de la jarre repose sur une plaque de clinquant sur laquelle on a soudé un serrefil. A l'intérieur de la bouteille on place un verre contenant du chlorure de calcium sec qu'on renouvelle de temps en temps.

2° On se sert aussi de condensateurs plans. L'isolant est un verre paraffiné de forme carrée, les armatures sont des plaques carrées de clinquant dont les bords sont retroussés vers l'extérieur et contournés sous forme de tubes pour éviter les effluves, et dont le côté a 4 centimètres de moins que le verre. Sur la face extérieure on a soudé un serrefil au centre de la plaque. On applique séparément ces plaques préalablement chauffées sur chacune des faces du verre paraffiné; la paraffine fond, puis se refroidit et la plaque adhère au verre. Le verre dépasse l'armature de 2 centimètres sur tout le pourtour; on l'enchâsse dans un cadre en bois.

Les capacités des condensateurs ont été mesurées par la méthode de la déviation permanente par des décharges multiples.

Machine électrostatique. — On se sert uniquement de la machine de Holtz à deux plateaux mobiles, on réunit les pôles aux serrefils des armatures du condensateur par l'intermédiaire de fils de cuivre de 60 à 80 cm de longueur et de 0,8 mm de diamètre.

Bobines. — Les bobines sont construites de manière à pouvoir supporter les décharges sans étincelle entre spires voisines. Leur carcasse est entièrement en bois; chaque bobine comprend 4 couches de fil comprenant chacune 16 spires. Chaque spire est distante de 3 mm environ de la suivante et deux tours de spires voisines sont isolés l'un de l'autre par une couche de paraffine de 0,8 cm environ d'épaisseur. Le premier tour de spires a 3 cm de diamètre environ, le dernier 9 cm environ. La bobine se termine à l'extérieur par deux fils de 1 m de long environ perçant le même oreillon, l'un au niveau du premier tour de spires, l'autre au

niveau du dernier (fig. 1). Le fil de cuivre

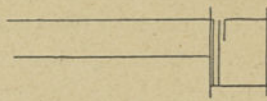


Fig. 1.

employé est recouvert de soie et a $\frac{8}{10}$ de mm de diamètre. La self-induction de chaque bobine est de l'ordre du $\frac{1}{10\ 000}$ de quadrant. La résistance est de 0,5 ohm.

Pôles. — Les pôles entre lesquels éclatent les étincelles sont, en général, des pôles sphériques en laiton ou en fer terminés par une tige filetée pouvant se visser sur les branches des excitateurs.

On appelle, dans la suite, pôles en argent, platine, etc., des pôles sphériques en laiton recouverts, dans la région où éclatent les étincelles, par une calotte hémisphérique de quelques $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur, en argent, platine, etc., que l'on fait adhérer au laiton par une matière conductrice, la soudure de plomb, par exemple.

Les pôles sphériques de 1, 3 et 5 mm de diamètre sont, en réalité, de petites tiges de laiton de 1,5 cm de long, cylindriques sur une partie de leur longueur, se terminant d'un côté par une surface hémisphérique de 1, 3 ou 5 mm de diamètre, présentant un léger renflement au bout opposé, et suivi d'une petite tige filetée (fig. 10, p. 12).

On se sert aussi de boucles formées d'un fil de cuivre d'environ 1 mm de diamètre recourbé en forme de cercle, fixées sur



Fig. 2.

isolant (voir plus loin); le fil de décharge est soudé directement aux extrémités libres de la boucle (fig. 2).

Excitateurs. — Les excitateurs sont des

micromètres à étincelles de la forme décrite par M. Mascart ⁽¹⁾. Ils se composent essentiellement de deux tiges horizontales, ou branches de l'excitateur, montées sur pied isolant, placées dans le prolongement l'une de l'autre, taraudées à leurs extrémités en regard. Toutes les deux peuvent se déplacer suivant leur axe et l'une d'elles peut, en outre, s'allonger par la rotation d'une vis dont les déplacements se marquent sur un quadrant.

Pour les expériences que nous avons à faire, les branches doivent être horizontales et fixes; on les y maintient en serrant fortement les vis qui commandent leur déplacement.

Les pôles sont vissés directement sur les branches des excitateurs ou indirectement par l'intermédiaire d'une tige isolante en fibre ou en ébonite.

Quand les pôles sont vissés directement sur les branches des excitateurs on y amène la décharge par des fils de cuivre fixés dans les serre-fils des excitateurs.

Dans un grand nombre d'expériences, j'ai employé des *pôles fixés sur isolant*. Voici ce que j'entends par là :

Un petit cylindre d'ébonite ou de fibre de 4 à 6 cm de long et 1 cm de diamètre est taraudé suivant son axe, à ses deux extrémités.

On adapte à l'une des extrémités une petite tige de laiton filetée qui servira à visser la tige sur la branche de l'excitateur, le taraudage de l'autre extrémité recevra le pôle à étudier. Pour amener la décharge au pôle, on creuse dans la tige isolante quatre rainures de 1 mm de large sur 2 à 3 mm de profondeur, deux diamétralement opposées parallèles à l'axe, et deux perpendiculaires à 2 cm environ

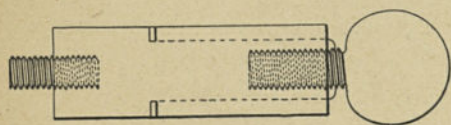


Fig. 3.

de l'extrémité opposée à celle qui doit recevoir le pôle; on adapte des fils dans les rainures, comme l'indiquent les figures 3 et 4; on les y maintient avec un peu de cire à cacheter; ainsi qu'on le verra plus loin, les cylindres isolants portent, en général, des plaques isolantes (fig. 4).

de l'extrémité opposée à celle qui doit recevoir le pôle; on adapte des fils dans les rainures, comme l'indiquent les figures 3 et 4; on les y maintient avec un peu de cire à cacheter; ainsi qu'on le verra plus loin, les cylindres isolants portent, en général, des plaques isolantes (fig. 4).

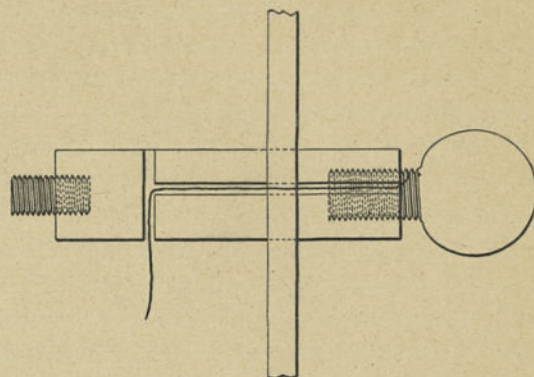


Fig. 4.

Les appareils décrits se trouvant dans tous les laboratoires, les expériences que nous décrivons pourront être facilement répétées par tous les physiciens.

§ IV. LA CHARGE DYNAMIQUE EMPLOYÉE

Quelques propriétés de la décharge par étincelle; le potentiel maximum.

Considérons un condensateur dont les ar-

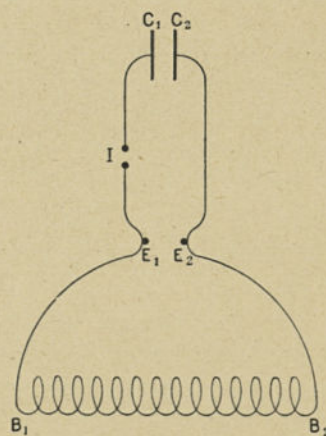


Fig. 5.

matures C_1, C_2 sont réunies par un circuit

⁽¹⁾ MASCART. *Traité d'électricité statique*, t. II, p. 66.

métallique présentant une interruption I (fig. 5).

L'interruption I sera, par exemple, le champ interpolaire d'un excitateur à boules; le circuit comprendra une bobine dont les extrémités sont B₁, B₂.

Si les armatures C₁, C₂ communiquent avec les pôles d'une machine électrostatique en activité, le condensateur se charge. Lorsque le potentiel de I est suffisamment élevé, une étincelle éclate en I et le condensateur se décharge à travers le circuit.

Si la machine électrostatique tourne très lentement, à raison de son faible débit, la différence de potentiel entre les deux extrémités de la bobine reste sensiblement nulle jusqu'à l'instant où la décharge commence. *La différence de potentiel entre les extrémités de la bobine étant nulle au début de la décharge est une fonction croissante du temps dans les premiers instants de la décharge.*

Si on met en contact métallique les deux points B₁, B₂ avec les deux pôles d'un excitateur, ces deux pôles se chargent dynamiquement et, à raison de leurs dimensions très faibles ne troublent pas sensiblement la loi de la décharge du condensateur.

Désignons sous le nom de *potentiel maximum de la décharge* entre les pôles E₁, E₂ la différence de potentiel maximum atteinte pendant la décharge considérée entre ces pôles. Ce maximum est atteint en un temps θ qui n'est qu'une fraction assez petite de la durée totale de la décharge; cette dernière étant de l'ordre de $\frac{1}{10\ 000}$ de seconde, ou plus petite encore, la *charge dynamique de l'excitateur dérivé se fait donc en une fraction extrêmement petite de seconde.*

Si la charge se fait en un temps déterminé θ , elle sera d'autant plus rapide que le potentiel maximum sera plus élevé; c'est pour cela que, dans nos expériences, les pôles E₁, E₂ sont réunis aux armatures du condensateur par des fils métalliques peu résistants et sensiblement rectilignes.

Le potentiel maximum est inférieur au potentiel explosif de l'excitateur principal.

Considérons en effet l'équation fondamentale des décharges :

$$V = Ri + L \frac{di}{dt}, \quad (1)$$

où V est la différence de potentiel entre les armatures du condensateur et i l'intensité du courant, supposé uniforme, à l'instant t , R et L la résistance et la self-induction de tout le circuit.

Si C est la capacité du condensateur, supposée constante, on peut écrire :

$$CdV = -idt. \quad (2)$$

Multiplions les égalités (1) et (2) membre à membre; il vient :

$$CVdV = -Ri^2dt - Li \frac{di}{dt} dt, \quad (3)$$

et, en intégrant les deux membres de 0 à t ,

$$\frac{1}{2} C (V_0^2 - V^2) = \int_0^t Ri^2dt + \frac{1}{2} Li^2; \quad (4)$$

$i_0 = 0$, si l'on compte le temps à partir du début de la décharge; V_0 est égal à la différence de potentiel à laquelle on a chargé le condensateur, c'est donc le potentiel explosif de l'excitateur principal.

Les deux termes du second membre sont essentiellement positifs; donc à un instant quelconque de la décharge, on a :

$$V^2 < V_0^2.$$

Donc, pendant la décharge du condensateur, la différence de potentiel entre les armatures, est toujours inférieure au potentiel explosif de l'excitateur principal.

Il reste à montrer qu'à un instant quelconque la différence de potentiel v entre les boules de l'excitateur dérivé est toujours égale ou inférieure à la différence de potentiel des armatures.

On peut écrire :

$$v = ri + l \frac{di}{dt}; \quad (5)$$

mais, $r < R$, $l < L$, et i et $\frac{di}{dt}$ sont de même

signe au début de la décharge ⁽¹⁾, donc,

$$v < V.$$

C. Q. F. D.

Le début d'une décharge par étincelle est un phénomène très compliqué : avant la décharge et à l'instant où celle-ci commence, le milieu qui sépare les pôles de l'excitateur principal est un diélectrique dont la résistance est infinie; l'isolant s'échauffe et sa résistance diminue à mesure que la température de l'étincelle s'élève. Cette température dépend évidemment des dimensions du conducteur lumineux qui constitue l'étincelle, par conséquent de sa longueur et de sa section. Le potentiel maximum entre deux points du circuit étant atteint dans les premiers instants de la décharge dépend, non seulement des propriétés du circuit métallique, mais encore : 1° du potentiel explosif de l'excitateur principal, par conséquent de toutes les circonstances qui modifient ce potentiel; 2° des dimensions de l'étincelle principale et des propriétés de l'isolant. *La distance explosive du potentiel maximum sera donc sujette à des variations plus étendues que la distance explosive statique.*

Le potentiel maximum ne dépendant que des propriétés du circuit de décharge *est indépendant des conditions physiques dans lesquelles l'excitateur dérivé est placé.*

§ V. — PRINCIPE DE LA MÉTHODE

Pour résoudre la question de l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'une manière rationnelle, il faudrait mesurer, avec un électromètre, le potentiel explosif de l'excitateur chargé : 1° par une méthode statique; 2° par une méthode dynamique, et comparer les résultats.

Ceci est malheureusement impossible. Un électromètre comprend essentiellement un organe métallique mobile dont on observe la position d'équilibre par rapport à un deuxième organe fixe; de cette position d'équilibre on

déduit la différence de potentiel entre les deux organes fondamentaux de l'électromètre. Une mesure de potentiel est donc par essence une mesure électrostatique et devient inapplicable dans une charge dynamique par une décharge de condensateur. On pourrait tourner la difficulté par une méthode stroboscopique, mais cette méthode ne serait guère applicable qu'aux décharges de bobines de Ruhmkorff.

Nous démontrerons d'abord que, dans la méthode ordinairement suivie pour déterminer un potentiel dynamique par le procédé des étincelles, les potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur placé dans des conditions quelconques ne sont pas, en général, égaux entre eux.

Cette démonstration peut se faire à l'aide d'expériences basées sur les considérations suivantes :

Soit un excitateur se déchargeant pour un potentiel statique V ; sa distance explosive est d_1 , s'il est placé dans les conditions 1; elle est d_2 , s'il est placé dans les conditions 2.

Si cet excitateur se décharge pour le potentiel dynamique V' , sa distance explosive est d'_1 , s'il est placé dans les conditions 1; elle est d'_2 , s'il est placé dans les conditions 2.

Dans l'hypothèse que les potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur placé dans des conditions identiques, mais quelconques, sont égaux entre eux, nous aurons :

$$V = V', \tag{1}$$

il en résultera

$$d_1 = d'_1, \tag{2}$$

et

$$d_2 = d'_2; \tag{3}$$

des égalités (2) et (3) on déduit :

$$d_2 - d_1 = d'_2 - d'_1 = d'_2 - d_1. \tag{4}$$

Appelons $d_2 - d_1$ la variation statique de la distance explosive d_1 , $d'_2 - d'_1$ la variation dynamique de la distance explosive d'_1 sous

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, 16 juillet 1894.

l'influence du changement de conditions physiques 1, 2.

Le principe de l'égalité absolue des potentiels explosifs statique et dynamique entraîne la proposition suivante, vérifiable par l'expérience :

Quand on place un excitateur dans deux conditions physiques différentes, sa distance explosive subit des variations statique et dynamique identiques entre elles.

Si les variations statique et dynamique de la distance explosive sont inégales, les potentiels explosifs statique et dynamique ne sont pas égaux dans les deux conditions. Si on admet que les potentiels explosifs statique et dynamique sont égaux dans les conditions 1, ils sont inégaux dans les conditions 2 ; quand la distance statique est inférieure à la distance dynamique, le potentiel explosif statique est supérieur au potentiel explosif dynamique et inversement.

Pour appliquer ces considérations, il faut décharger un excitateur pour le même potentiel (statique ou dynamique) quelles que soient les conditions dans lesquelles l'excitateur est placé.

La chose est aisée pour les potentiels statiques.

Pour les potentiels dynamiques, il suffirait de déterminer la distance explosive qui correspond au potentiel maximum d'une décharge puisque ce dernier est indépendant des conditions dans lesquelles l'excitateur est placé (p. 6).

A priori il semble que cette distance se confonde en toutes circonstances avec la distance critique de l'excitateur dérivé, c'est-à-dire la distance maximum à laquelle on peut éloigner les pôles de ce dernier pour qu'on puisse y observer une étincelle, lorsque l'étincelle principale éclate en I, mais pour cela il faudrait que, pour la distance critique, l'étincelle éclatât toujours au potentiel maximum.

Il en serait ainsi si l'on pouvait étendre aux potentiels dynamiques cette proposition générale des potentiels statiques : la distance explosive est une fonction croissante des po-

tentiels explosifs. On verra (p. 20) que cette extension n'est pas toujours légitime.

La méthode des deux excitateurs dérivés évite toute objection de ce genre et résout d'une façon très générale le problème posé.

§ VI. MÉTHODE DES DEUX EXCITATEURS DÉRIVÉS

Pour charger deux excitateurs au même potentiel, par la méthode statique, il suffit de les réunir métalliquement pôle à pôle. La charge de deux excitateurs au même potentiel dynamique se fait d'après les principes suivants. Considérons un fil entièrement métallique parcouru par une décharge ; choisissons sur ce fil quatre points N_1, N_2, E_1, E_2 , de la façon suivante (fig. 6) : N_1 et N_2

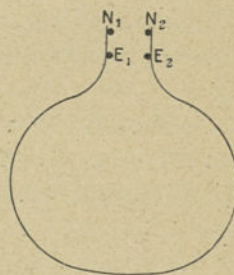


Fig. 6.

comprennent entre eux une certaine longueur de fil ; N_1 est placé très près de E_1 , N_2 très près de E_2 de façon que les segments de fil $N_1 N_2, E_1 E_2$ aient une résistance et un coefficient d'induction très voisins. Dans ces conditions, si aucune étincelle n'éclate entre les deux points $N_1 N_2, E_1 E_2$, la différence de potentiel entre les points $E_1 E_2$ est à chaque instant la même qu'entre N_1, N_2 .

Entre les points N_1, N_2 la différence de potentiel est :

$$v_N = r_1 i + l_1 \frac{di}{dt},$$

r_1 désignant la résistance du segment $N_1 N_2$, l_1 le coefficient d'induction de tout le circuit sur ce segment, i le courant, t le temps.

Entre les points E_1, E_2 la différence de potentiel est :

$$v_E = r_2 i + l_2 \frac{di}{dt},$$

r_2 désignant la résistance du segment $E_1 E_2$ et l_2 le coefficient d'induction de tout le circuit sur ce segment.

Si l'on peut poser :

$$r_2 = r_1 + \varepsilon, \quad l_2 = l_1 + \tilde{\tau}_1,$$

ε et $\tilde{\tau}_1$ étant respectivement très petits par rapports à r_1 et à l_1 , on a :

$$v_E = r_1 i + \varepsilon i + l_1 \frac{di}{dt} + \tilde{\tau}_1 \frac{di}{dt}$$

$$v_E = v_N + \varepsilon',$$

$\varepsilon' = \varepsilon i + \tilde{\tau}_1 \frac{di}{dt}$, étant une quantité très petite par rapport à $r_1 i + l_1 \frac{di}{dt}$.

Donc, dans ces conditions, entre les points E_1, E_2 et N_1, N_2 , les différences de potentiel sont égales entre elles, à chaque instant de la décharge.

Si on met les points N_1, N_2 respectivement en contact avec les pôles d'un excitateur N et les points E_1, E_2 en contact avec les pôles d'un excitateur E, les deux excitateurs E et N dérivés sur le circuit de décharge sont chargés à chaque instant au même potentiel.

Cela posé, considérons deux excitateurs chargés à chaque instant au même potentiel par un mode de charge statique ou dynamique tel que le potentiel croisse avec le temps. Si une étincelle éclate au premier et non au second, c'est que le potentiel explosif du premier est atteint avant le potentiel explosif du second; les potentiels les plus petits étant atteints les premiers, le potentiel explosif du premier est plus petit que le potentiel explosif du second.

En maintenant le potentiel explosif de N constant et faisant varier progressivement la distance explosive de E on détermine pour E deux distances explosives d_1 et d_2 aussi voisines que possible et telles que pour l'une d_1 le potentiel explosif V_E de E soit inférieure au potentiel explosif V_N de N; pour l'autre d_2 , V_E soit supérieure à V_N , de sorte que la

distance explosive de E pour laquelle les potentiels explosifs V_E et V_N sont égaux est comprise entre d_1 et d_2 .

En plaçant l'excitateur N dans des conditions physiques constantes et en le chargeant par un mode de charge invariable on maintient le potentiel explosif de N constant; en modifiant les conditions dans lesquelles l'excitateur E est placé, on pourra déterminer la distance explosive d'un excitateur E placé dans des conditions physiques données et se déchargeant pour un potentiel quelconque mais constant.

Cette méthode a été employée plusieurs fois pour les décharges statiques, je l'appellerai méthode des deux excitateurs dérivés.

Réalisation expérimentale. — La méthode des deux excitateurs dérivés est employée de la façon suivante (fig. 7).

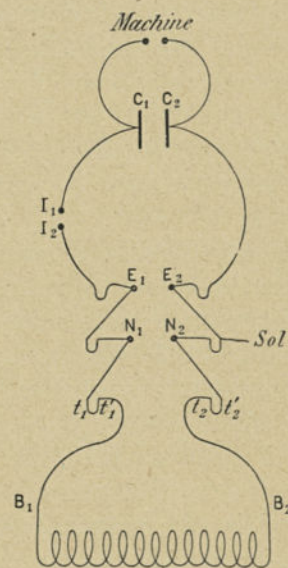


Fig. 7.

Prenons une jarre d'armatures C_1, C_2 , un excitateur I, de pôles I_1, I_2 , deux excitateurs dérivés E et N, dont les pôles E_1, E_2 et N_1, N_2 sont montés sur isolant, et une bobine dont les extrémités sont désignées par B_1, B_2 (¹).

(¹) Si l'on ne dispose pas de bobine traversable par des décharges, on peut y substituer une résistance électrolytique.

On fait communiquer les armatures C_1 , C_2 avec les pôles d'une machine de Holtz et l'armature C_1 avec le pôle I_1 ; on relie métalliquement : 1° les pôles I_2 , E_1 , N_1 et l'extrémité B_1 ; 2° l'armature C_2 , les pôles E_2 , N_2 et l'extrémité B_2 . Le milieu du fil N_2E_2 communique avec le sol (conduite d'eau). Les diverses communications métalliques entre les points précédemment cités se font par l'intermédiaire de tubes en U renfermant du mercure et montés sur paraffine. On voit que, par cette disposition, si une étincelle éclate en I , le condensateur se décharge à travers le circuit et charge *dynamiquement* les excitateurs E et N ; on peut disposer des distances explosives de E et de N de façon que, pour chaque étincelle qui éclate en I , on observe une étincelle en E ou en N , ou deux simultanément ⁽¹⁾.

Si l'on jette un pont entre les pôles I_1 , I_2 , si l'on retire l'extrémité B_1 de la bobine de la branche t'_1 du tube $t_1 t'_1$ et si l'on tourne la machine de Holtz, on charge les excitateurs E et N par la *méthode statique*.

La disposition expérimentale est conforme aux principes précédemment établis. En effet : 1° pour la décharge considérée, la différence de potentiel entre les pôles des excitateurs dérivés est une fonction croissante du temps, au début de la décharge, page 5; 2° les pôles des excitateurs E et N sont à chaque instant chargés au même potentiel. Pour démontrer cette dernière proposition, nous ferons les considérations suivantes :

Les conducteurs N_1E_1 et N_2E_2 , qui joignent respectivement les deux pôles positifs et les deux pôles négatifs des excitateurs dérivés, sont formés de deux fils de cuivre sensiblement rectilignes, de 30 cm de long sur 1 mm de diamètre plongeant dans les deux branches d'un tube en U renfermant du mercure. La bobine B_1B_2 est faite avec le même fil de cuivre qui a une longueur totale

de 40 m environ. Les coefficients d'induction des fils N_1E_1 et N_2E_2 sont évidemment négligeables devant la self-induction de la bobine; leur résistance est de l'ordre du $\frac{1}{40}$ de celle de la bobine.

Si la différence de potentiel aux extrémités de la bobine était formée surtout du premier terme de la formule :

$$v = ri + l \frac{di}{dt},$$

c'est-à-dire de ri , la différence de potentiel entre les pôles E_1 , E_2 et N_1 , N_2 serait de l'ordre du $\frac{1}{40}$ de la différence de potentiel totale, ce qui est une quantité nettement appréciable.

Si, au contraire, le terme $l \frac{di}{dt}$ joue un rôle prépondérant dans la formation du potentiel entre E_1 , E_2 et N_1 , N_2 , les différences de potentiel seront les mêmes ou, tout au moins, présenteront des écarts négligeables que l'expérience sera incapable de mettre en évidence.

Voici quelques expériences montrant bien

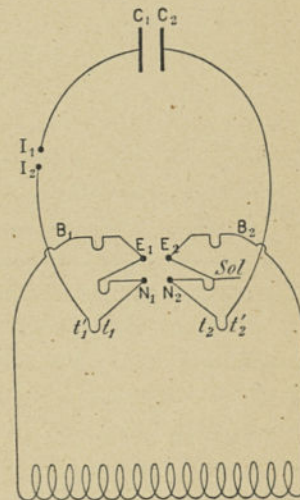


Fig. 8.

que les conditions théoriques sont satisfaites dans la disposition expérimentale adoptée et que le terme ri ne joue aucun rôle appréciable dans la formation du potentiel.

⁽¹⁾ On évite les étincelles simultanées; on n'en observe que très rarement par les temps secs, si la distance explosive de l'excitateur principal I , formé de deux sphères de 2 cm de diamètre, est inférieure à 5 ou 6 mm.

Expérience. — Prenons deux cas extrêmes :
1° joignons directement le pôle principal I_2 au pôle E_1 et l'armature C_2 au pôle E_2 ; N_1 , N_2 communiquant directement avec B_1 , B_2 (fig. 7);
2° joignons directement le pôle I_1 au pôle N_1 , l'armature C_2 au pôle N_2 , E_1 , E_2 communiquant avec B_1 , B_2 (fig. 8).

Dans le premier cas, E_1 , E_2 forment les extrémités de [conducteur E_1 , N_1 + B_1 , B_2 + conducteur N_2 , E_2], et N_1 , N_2 forment les extrémités de la même résistance B_1 , B_2 .

Dans le deuxième cas, E_1 , E_2 forment les extrémités de B_1 , B_2 et N_1 , N_2 forment les extrémités de [conducteur N_1 , E_1 + B_1 , B_2 + conducteur E_2 , N_2].

Suivant que l'on passe du premier cas au second, la différence des conducteurs intro-

duits est de deux fois [conducteur E_1 , N_1 + conducteur E_2 , N_2].

L'expérience montre qu'il n'est pas possible de déceler la moindre différence entre ces deux positions extrêmes. Si l'étincelle éclate en E , dans le premier cas, elle éclate encore en E dans le second, quoique les potentiels de E et N soient aussi voisins que possible. On obtient encore le même résultat en intercalant entre N_2 et E_2 puis entre E_2 et C_2 un fil plié en zigzag, de façon à rendre sa self-induction insensible et dont la résistance est égale à la moitié de la résistance métallique du circuit total.

Donc, à un instant quelconque de la charge dynamique, les deux excitateurs dérivés sont chargés au même potentiel.

CHAPITRE II

ÉTUDE DES PERTURBATIONS

CAUSES D'INÉGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS, STATIQUE ET DYNAMIQUE

OBSERVATIONS PRÉLIMINAIRES

Le principe de la comparaison de deux potentiels explosifs dynamiques, par la méthode des deux excitateurs dérivés, est très simple en apparence. Mais si l'on opère par la méthode généralement suivie pour la comparaison de deux potentiels statiques, on rencontre dans la pratique des difficultés très considérables et on obtient des résultats très bizarres et très discordants.

J'examinerai *une à une* les causes d'erreur qui influent sur le potentiel explosif d'un excitateur donné. Ces causes agissent en sens opposé, s'enchevêtrent l'une dans l'autre et compliquent, de cette manière, étrangement le phénomène. Elles jouent un rôle considérable dans la question qui nous occupe parce qu'elles exercent une action beaucoup plus grande sur les potentiels explosifs dynamiques que sur les potentiels explosifs statiques.

Ces causes d'erreur ont leur source dans les influences suivantes :

- 1° Fréquence des étincelles ;
- 2° État des surfaces polaires ;
- 3° Lumière ultra-violette.

Observations générales sur quelques opérations.

1° *Polissage des pôles.* — Les étincelles ternissent les surfaces polaires entre lesquelles elles éclatent : dans la suite, on sera amené à enlever la couche d'oxyde formée. Le polissage des pôles dont il sera question ici, se fera d'abord avant de les placer sur l'excitateur,

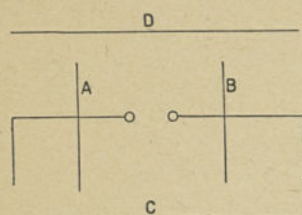
en les tenant dans la main et en frottant énergiquement leurs surfaces polaires avec une toile d'émeri assez fin pour ne pas les rayer.

On adapte ensuite les pôles à l'excitateur et, pour les polissages suivants, il sera inutile de les enlever. On se contentera de passer la toile d'émeri sur chaque surface polaire en frottant légèrement pendant une quinzaine de secondes. Pour plus de commodité, on prendra une bande d'émeri de quelques décimètres de long et de 15 cm de large environ, de cette manière, on ne sera pas gêné par les écrans des pôles de l'excitateur dont on parlera bientôt.

Pour que la distance explosive de l'excitateur ne varie pas par le polissage fréquemment répété des pôles, on serre fortement les pôles sur l'excitateur, de même que toutes les vis qui commandent un déplacement quelconque des branches de l'excitateur.

2° *Précautions contre la lumière ultra-violette.* — Pour protéger les surfaces polaires contre la lumière ultra-violette des effluves, aigrettes, etc. (fig. 9) ; 1° avant de visser les pôles à l'excitateur, on place sur chacune des tiges isolantes qui supporteront les pôles, une plaque carrée de paraffine d'environ 1,5 dm de côté et 2 ou 3 mm d'épaisseur, percée en son centre d'un trou du diamètre de la tige isolante, on visse ensuite les pôles à l'excitateur ; 2° en outre, on place devant et derrière l'excitateur deux écrans placés à 1 cm environ des écrans de paraffine des pôles et dépassant de tous côtés ces derniers de quelques centimètres.

L'observateur étant placé en O, ces deux écrans porteront : C, le nom d'écran *antérieur*, D, le nom d'écran *postérieur*; les écrans A et B, portés par les branches des excitateurs, s'appelleront *écrans des pôles* (fig. 9).



O •
Fig. 9.

En somme, les pôles de l'excitateur sont renfermés, pour ainsi dire, dans une boîte disloquée sans fond ni couvercle; les diverses parties de la boîte ne doivent remplir que cette seule condition de masquer la vue des surfaces polaires de tous les points des fils parcourus par la décharge.

Il suffit que les écrans soient opaques pour les rayons ultra-violet; on emploiera à cet effet des plaques de verre, de papier noir, de paraffine, de clinquant, montées sur un petit support en bois.

Il faut éviter aussi qu'entre deux écrans voisins, ou entre un écran et le fil de décharge il éclate une effluve, visible des pôles de l'excitateur.

Les écrans des pôles A et B étant nécessairement très voisins des fils qui amènent la décharge aux pôles, seront faits en une matière parfaitement isolante comme la paraffine ou en une matière conductrice comme le cuivre et dans ce cas directement en contact avec le fil de décharge; dans l'un ou l'autre cas, on évitera les effluves qui pourraient éclater entre le fil et l'écran si ce dernier était un corps imparfaitement isolant.

Lorsque les écrans des pôles sont en matière isolante, il peut arriver que d'une surface polaire de l'excitateur on voie une faible

portion du fil qui amène la décharge à l'autre pôle; ceci n'arrive jamais si le diamètre des pôles est égal ou supérieur au diamètre de la tige isolante qui le supporte: ce fait s'est présenté, dans nos expériences, pour les pôles dont le diamètre est de 1 mm, 3 mm et 5 mm, dont le renflement n'a pas un diamètre suffisant pour masquer entièrement le fil qu'il serre contre l'isolant (p. 4). D'une surface polaire E_1 , on voit la partie courbe f_2 du fil qui amène la décharge au pôle opposé E_2 (fig. 10). Pour éviter l'action de l'effluve qui

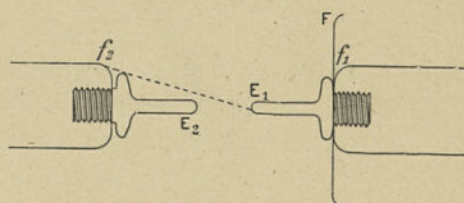


Fig. 10.

pourrait s'échapper de cette partie courbée, on place, entre le fil f et le renflement, une petite flotte F en clinquant dont les bords sont recourbés du côté opposé des pôles de l'excitateur comme on le voit en E_1 (fig. 10) et dont la surface est assez grande pour cacher entièrement les fils de décharge. Si on élargit le diamètre de cette flotte, on obtient des *écrans métalliques*. Ces derniers arrêtent et suppriment avec sûreté les effluves et rendent les écrans isolants inutiles.

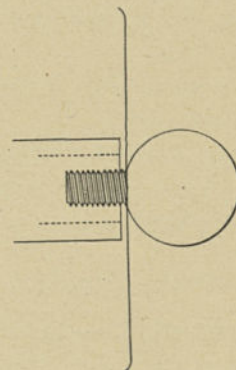


Fig. 11.

Ces écrans métalliques (fig. 11) sont formés d'une feuille circulaire de clinquant de

quelques $\frac{1}{10}$ de millimètre d'épaisseur et de 6 à 10 cm de diamètre, dont les bords sont recourbés comme l'indique la figure.

Chaque écran est percé d'un trou central de diamètre suffisant pour être traversé aisément par la petite tige filetée en forme de vis de chacun des pôles à étudier; le fil qui amène la décharge est serré entre la base du petit cylindre isolant et l'écran métallique par la vis du pôle soumis à l'expérience: l'écran sert de flotte à la vis du pôle.

§ I. DIFFÉRENCE D'ACTION DE LA FRÉQUENCE DES ÉTINCELLES SUR LES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.

a). *Potentiels explosifs statiques.*

Faraday a signalé le premier que, lorsque deux étincelles se succèdent à trop bref intervalle, la seconde éclate pour un potentiel plus petit que la première. Cette influence est très marquée dans les expériences en vase clos, comme l'a montré M. Baille; elle est moins considérable quand l'excitateur est placé à l'air libre, mais on la constate aisément: elle est due, en partie, à l'échauffement de l'isolant par l'étincelle.

Si on fait une série de mesures du même potentiel explosif à l'électromètre, on constate très nettement que la première étincelle se produit à un potentiel légèrement plus élevé que les suivantes, même si elles se succèdent à un intervalle d'une minute environ.

Lorsqu'on veut examiner comment varie le potentiel explosif quand on fait éclater rapidement les étincelles les unes après les autres, on se sert de la méthode des deux excitateurs dérivés.

Expérience. — Je ne rapporterai que l'expérience suivante (fig. 12). E et N sont des excitateurs sphériques presque identiques de 1,65 cm de diamètre, dont les pôles sont réunis aux armatures d'une jarre de capacité 0,005 microfarad, chargée par une machine de Holtz. On fait éclater les étincelles à raison

de une ou deux par seconde, environ. Si $E = 2$ mm et $N = 2,10$ mm, toutes les étincelles éclatent en E et pour faire passer les étin-

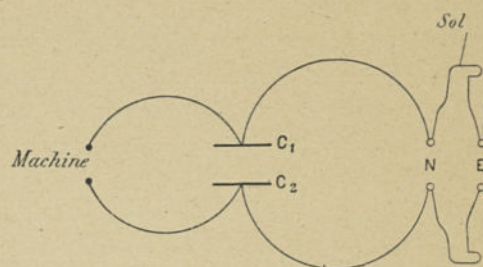


Fig. 12.

celles par l'excitateur N il faut amener ce dernier à une distance explosive de 1,70 mm.

Le potentiel explosif de E pour la distance explosive 2 mm et pour ce régime d'étincelles est donc réduit au potentiel de la première étincelle de N pour la distance explosive 1,70 mm.

M. Baille avait trouvé directement un résultat du même ordre de grandeur⁽¹⁾.

Quand les étincelles se succèdent très rapidement, ce potentiel explosif tend vers zéro, en même temps que la durée qui sépare deux étincelles, car si deux décharges se succèdent sans intervalle le potentiel explosif peut être considéré comme nul, le champ de l'excitateur étant constamment traversé par un courant.

Mais, lorsqu'il s'agit de trouver les distances explosives équivalentes de deux excitateurs, il importe peu que chacun des potentiels explosifs reste constant, il suffit qu'ils se modifient tous les deux dans le même rapport.

L'expérience montre que, pour les potentiels explosifs statiques il en est ainsi si les étincelles éclatent avec la même fréquence aux deux excitateurs. On opère de la façon suivante:

Soient deux excitateurs E et N chargés à chaque instant au même potentiel par une machine de Holtz tournant d'une façon continue.

(1) BAILLE. *Ann. de Chimie et de Physique*, 5^e S., t. XXV, p. 512.

On maintient la distance explosive de l'un des excitateurs E constante et on fait varier la distance de N de la manière suivante : si l'étincelle éclate en E, on diminue la distance explosive de façon que l'étincelle éclate en N et inversement. Après quelques tâtonnements, on arrive à ce résultat en faisant varier la distance explosive de $1/10$ ou $15/100$ de millimètre.

On pourrait donc se servir de la *méthode des étincelles fréquentes et alternatives* pour déterminer les distances explosives équivalentes de deux excitateurs chargés par une machine électrostatique. Si on laisse éclater successivement plusieurs étincelles à l'un ou l'autre des excitateurs, on obtient des résultats moins précis, comme l'a constaté M. Baille.

b). *Potentiels explosifs dynamiques.*

Dans la méthode des excitateurs dérivés, si plusieurs étincelles éclatent successivement à l'un des excitateurs, il faut modifier la distance explosive de l'autre dans des limites très considérables pour y faire éclater une étincelle, comme le montre l'expérience suivante :

Expérience. — Si N est formé de deux sphères de 1,65 cm de diamètre, E de sphères de 1 mm, les distances explosives statiques équivalentes étant 3 mm et 7 mm ; si l'on maintient N constant et que l'on fasse éclater en N un certain nombre d'étincelles, par la méthode dynamique, à raison de deux par seconde environ, pour faire éclater une étincelle en E il faut amener, au bout de quelques secondes, la distance explosive E à 3 mm environ. Pour faire éclater alternativement l'étincelle en E et en N, il faut, en général, faire varier la distance de 1 mm environ, sur une distance moyenne de 5 mm.

Pour faire éclater des étincelles statiques et dynamiques, dans des conditions identiques, il faut attendre que l'influence perturbatrice d'une étincelle sur la suivante ait cessé. D'autre part, si l'on veut mesurer le potentiel explosif statique de l'excitateur, la charge de l'électromètre employé ne peut se faire qu'en une minute environ.

On est donc conduit à cette règle :

Règle. — Dans la comparaison des distances explosives statique et dynamique, on fera éclater les étincelles régulièrement, à un intervalle d'une minute environ.

Conséquences et conclusions.

I. — Un changement de fréquence d'étincelles exerce une influence plus grande sur les potentiels explosifs dynamiques que sur les potentiels explosifs statiques.

II. — A fréquences égales, et même très grandes, un excitateur se décharge avec plus de régularité dans la charge par une machine électrostatique que dans la charge dynamique Ceci explique le résultat de MM. Ebert et Wiedeman, que l'excitateur de Hertz fonctionne plus régulièrement quand on remplace la bobine de Ruhmkorff par une machine électrostatique à grand débit ⁽¹⁾.

III. — Les divergences constatées entre les potentiels explosifs statiques, mesurés par les différents expérimentateurs, dépendent en partie de la durée qui s'écoule entre deux étincelles, durée variable d'un expérimentateur à l'autre, suivant l'amortissement de l'électromètre employé et le condensateur utilisé.

§ II. — DIFFÉRENCE D'ACTION DE L'ÉTAT DES SURFACES POLAIRES SUR LES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.

Lorsqu'on fait éclater successivement plusieurs étincelles à un excitateur préalablement poli à l'émeri, les surfaces entre lesquelles éclatent les étincelles se ternissent par suite d'une oxydation ou de toute autre action ; de plus, ces surfaces sont corrodées par l'arrachement de parcelles métalliques. Nous étudierons ici l'influence de cette action des étincelles sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

a). *Potentiels explosifs statiques.*

La plupart des expérimentateurs qui se sont occupés de potentiels explosifs statiques n'ont signalé aucune action particulière de

⁽¹⁾ *Wied. Ann.*, t. XLIX, p. 1.

l'état des pôles d'un excitateur plus ou moins terni par les étincelles. Toutefois, M. Baille ⁽¹⁾ appelle incidemment l'attention sur cette influence. Cette oxydation des pôles augmenterait la distance explosive, aussi recommande-t-il de nettoyer et de polir fréquemment les pôles.

D'autre part, M. Heydweiler ⁽²⁾ a montré que le potentiel explosif statique n'est pas influencé sensiblement par l'action oxydante des étincelles.

En mesurant les potentiels explosifs d'un excitateur terni par un long usage puis fraîchement poli, on ne peut déceler une action bien nette du poli des pôles.

La concordance des mesures faites par un même expérimentateur avec un excitateur plus ou moins terni par les étincelles fournit une autre preuve de l'influence peu marquée de l'oxydation des pôles sur le potentiel explosif statique.

Nous concluons donc :

Lorsque les surfaces polaires d'un excitateur préalablement poli se ternissent sous l'action des étincelles, le potentiel explosif statique et, par suite, la distance explosive statique, ne subissent que des modifications très faibles, en général, et souvent inappréciables.

b). Potentiels explosifs dynamiques.

L'influence du poli des pôles de l'excitateur sur les potentiels explosifs dynamiques sera mise en évidence par la méthode des deux excitateurs dérivés.

Je donne ici un extrait de mes tableaux d'expériences où se trouvent reproduites les données correspondantes à chaque étincelle pour bien préciser la nature du phénomène.

Les lettres S et D indiquent le mode de charge statique ou dynamique.

Expériences. — Excitateur principal I : sphères de 2 cm de diamètre.

Excitateur dérivé E : sphères en laiton de

1 mm de diamètre, préalablement polies à la toile d'émeri, montées sur isolant et munies d'écrans en paraffine ; on maintient les surfaces polaires de E polies en les frottant avec de la toile d'émeri sans les démonter de l'excitateur.

Excitateur dérivé N : sphères de 1 cm de diamètre ternies par un long usage, montées sur isolant et munies d'écrans en paraffine.

On fait éclater les étincelles toutes les minutes.

l = 4 mm.

	N° d'ordre des expériences.	Distance explosive de N en mm.	Distance explosive de E en mm.	Mode de charge des excitateurs E et N.	Excitateur dérivé auquel l'étincelle éclate.
	1	3	6,8	S	E
De 3 à 14 on diminue progressivement N.	2	3	7	»	N
	3	3	»	D	E
On repolit E.	14	0,7	»	»	»
»	15	0,5	»	»	N
»	16	0,7	»	»	E
»	17	0,7	»	»	»
	18	3	7	S	N
On polit N.	19	»	»	D	»
	20	»	7,15	»	»
On repolit E.	21	»	6,9	»	»
	22	»	»	S	E
On repolit E.	23	»	»	D	»
On repolit E et N.	24	»	7	»	N
	25	»	»	S	E
On repolit E et N.	26	»	»	D	»
»	27	»	7,10	»	N
	28	»	»	S	»

L'excitateur E étant maintenu dans un état invariable et à une distance explosive constante de 7 mm son potentiel dynamique V' est constant.

Si N est terni par les étincelles, la distance explosive dynamique de N qui correspond à V' est comprise entre 0,70 mm et 0,50 mm : expériences 14, 15, 16.

Si N est poli, la distance explosive de N qui correspond à V' est voisine de 3 mm : expériences 23, 24, 26.

⁽¹⁾ BAILLE, *Annales de Chimie et de Physique*, 1882, 5^e S., t. XXV, p. 512.

⁽²⁾ HEYDWEILER, *Wied. Ann.*, 1893, t. XLVIII, p. 217.

Ainsi, suivant que N est poli ou terni, la distance explosive de N varie de 3 mm à 0,70 mm environ.

L'excitateur E étant maintenu dans un état constant à une distance explosive constante de 7 mm, son potentiel explosif statique est constant. Désignons-le par V.

Si N est terni par les étincelles, la distance explosive statique de N, qui correspond à V, est supérieure à 3 mm : expériences, 2, 18.

Si N est poli, la distance explosive statique de N, qui correspond à V, est inférieure à 3 mm : expérience 25.

L'action oxydante des étincelles semble donc augmenter la distance explosive statique.

Conclusions.

I. — *Quand les surfaces polaires d'un excitateur se ternissent sous l'action oxydante des étincelles, la distance explosive dynamique correspondant à un potentiel dynamique quelconque subit une diminution irrégulière qui peut devenir très considérable; tandis que la distance explosive statique reste sensiblement constante ou semble plutôt augmenter légèrement.*

Si l'on suppose que les potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur poli, placé à l'abri de radiations électriquement actives, sont égaux entre eux, il résulte des considérations exposées page 7 et des conclusions précédentes que :

II. — *Le potentiel explosif dynamique d'un excitateur terni est supérieur au potentiel statique.*

La variation très irrégulière de la distance explosive dynamique d'un excitateur terni rend compte du peu de précision avec lequel on peut déterminer la distance explosive dynamique par le procédé des étincelles fréquentes. Dans cette méthode on se sert forcément d'un excitateur terni.

Explication de la différence d'action de l'oxydation des pôles sur les potentiels explosifs statique et dynamique.

La mince couche d'oxyde formée par les

étincelles n'est pas une couche bonne conductrice de l'électricité. Lorsque la charge se fait très rapidement, par la méthode dynamique, l'électricité est distribuée sur la surface de la partie conductrice des pôles de l'excitateur au-dessous de la couche d'oxyde. Cette couche joue, dans la charge dynamique, le rôle d'un diélectrique solide. Pour qu'une décharge éclate entre les pôles de l'excitateur, l'électricité doit, non seulement traverser l'air, mais encore la mince couche d'oxyde; or, pour percer un diélectrique solide, il faut une différence de potentiel beaucoup plus considérable que pour percer la même épaisseur d'air; le potentiel explosif dynamique d'un excitateur terni sera donc plus grand que le potentiel explosif de l'excitateur poli et, comme on le démontre plus loin, la distance explosive dynamique croît en même temps que le potentiel explosif dynamique.

La distance explosive dynamique d'un excitateur poli diminue quand les surfaces polaires se ternissent sous l'action des étincelles.

Dans la charge statique, la charge de l'excitateur se faisant lentement, la couche d'oxyde, qui est douée d'une certaine conductibilité, joue le rôle de conducteur. L'électricité est distribuée à la surface libre de la couche d'oxyde.

La décharge, pour se produire, n'a pas à traverser de diélectrique solide; elle ne doit percer qu'une couche d'air, d'épaisseur très peu inférieure à celle qu'elle aurait à percer si l'excitateur était poli.

Le potentiel explosif statique de l'excitateur terni est donc un peu plus petit que le potentiel explosif de l'excitateur poli (ce que montrent certaines expériences).

La distance explosive statique augmente très peu quand les surfaces des pôles se ternissent sous l'action des étincelles.

Dans ce qui précède, nous avons supposé que l'un des excitateurs dérivés était maintenu dans un état constant et, pour cela, nous nous sommes contentés de frotter ses

surfaces polaires avec une toile d'émeri fin, pendant $\frac{1}{4}$ de minute environ, après chaque étincelle. La régularité des résultats que l'on obtient, quand les deux excitateurs dérivés sont polis, est une preuve de l'exactitude de notre supposition.

En frottant les pôles de laiton, ternis par plusieurs centaines d'étincelles, avec une toile d'émeri fin, pendant une minute ou une minute et demie, on enlève complètement la couche d'oxyde qui s'est formée.

L'oxyde de laiton est très peu adhérent.

Il n'en est pas de même pour tous les métaux : le platine et l'argent se recouvrent d'une couche d'oxyde plus adhérente et plus difficile à percer que le laiton ; les pôles de fer, surtout, se recouvrent d'un oxyde très difficile à enlever par le procédé indiqué. Lorsque ces pôles de fer ont servi pendant quelque temps, il faut exercer un frottement très énergique pour polir les surfaces de l'excitateur, de façon que les distances explosives dynamiques de deux excitateurs identiques au point de vue géométrique, soient égales pour le même potentiel dynamique. Si les pôles de fer oxydés par l'étincelle sont polis par le même procédé que les pôles de laiton, on peut observer entre les deux distances explosives, qui devraient être égales, des différences qui, dans certaines expériences, ont été de l'ordre du $\frac{1}{3}$ ou du $\frac{1}{4}$ de l'une d'elles (p. 24).

Si l'on remarque, en outre, que les pôles à grande courbure, de 1 mm et 3 mm de diamètre, se déforment facilement par l'action répétée de la toile d'émeri et que leur distance explosive dynamique s'altère rapidement et profondément par les étincelles, on est amené à la règle pratique suivante :

RÈGLE. — *On déterminera une distance explosive dynamique entre des pôles en laiton de 1 à 2 cm de diamètre polis après chaque étincelle.*

§ III. DIFFÉRENCE D'ACTION DE LA LUMIÈRE ULTRA-VIOLETTE SUR LES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.

Au cours de ses recherches sur la propagation des ondes électriques, Hertz découvrit une action curieuse de la lumière ultra-violette ⁽¹⁾ sur les potentiels explosifs.

La distance explosive d'un excitateur augmente quand on éclaire cet excitateur par des radiations ultra-violettes d'une très petite longueur d'onde.

Hertz d'abord, puis MM. Wiedemann et Ebert ⁽²⁾ étudièrent l'influence de la plupart des conditions physiques qui font varier le phénomène. M. Bichat, dans un travail inédit, dont il a bien voulu me communiquer les résultats, a montré que l'abaissement du potentiel explosif est une fonction de la distance explosive qui passe par un maximum puis tend vers 0 quand on fait varier progressivement la distance explosive à partir de zéro. L'abaissement changerait de signe pour une distance explosive suffisamment grande et des excitateurs convenables ⁽³⁾.

La plupart des conditions physiques qui influent sur l'abaissement du potentiel explosif avaient donc été étudiées, *l'influence du mode de charge de l'excitateur était passée inaperçue.*

Dans un travail sur les oscillations électriques ⁽⁴⁾, MM. Wiedemann et Ebert avaient allongé la distance explosive d'un excitateur d'un tiers environ de la valeur primitive, en éclairant l'excitateur avec une lampe à arc dont les rayons étaient concentrés sur les pôles par un condenseur en quartz. Je voulus utiliser cette grande variation de la distance explosive sous l'action de la lumière ultra-violette pour changer, dans de grandes pro-

⁽¹⁾ *Wied. Ann.*, t. XXXI, p. 983. D'après MM. Elster et Geitel les métaux alcalins et alcalino-terreux sont sensibles à la lumière visible, nous ne nous en servons pas dans cette étude.

⁽²⁾ *Wied. Ann.*, t. XXXIII, p. 241.

⁽³⁾ ELSTER et GEITEL, *Wied. Ann.* t. XXXIX, p. 232 ; SELLA et MAJORANA, *Ac. r. d. Lincèi*, t. V, fasc. VIII, p. 323 ; *Eclairage Électrique*, 2 janvier 1897.

⁽⁴⁾ *Ueber Electriche Entladungen* (*Wied. Ann.*, 1893, t. XLIX, p. 13).

portions, la distance explosive d'un excitateur sans changer le potentiel explosif. Je fus surpris de n'observer qu'un très faible abaissement de $\frac{1}{100}$ environ du potentiel primitif. En cherchant l'explication de l'énorme différence entre ce résultat et celui de MM. Wiedemann et Ebert mon attention fut bientôt frappée par ce fait que l'excitateur de MM. Wiedemann et Ebert était chargé en un temps très court, tandis que, dans mon expérience, l'excitateur était chargé lentement par une machine de Holtz, dans un intervalle d'une demi-minute environ.

Je fus alors conduit à énoncer la proposition suivante :

L'abaissement du potentiel explosif d'un excitateur éclairé par la lumière ultra-violette est d'autant plus considérable que la charge de cet excitateur est plus rapide; ou, ce qui revient au même :

Sous l'action de la lumière ultra-violette, la distance explosive dynamique d'un excitateur subit un accroissement plus considérable que la distance explosive statique.

La vérification de cette proposition nécessite la détermination de la variation de la distance explosive d'un excitateur chargé : 1° par une méthode statique ; 2° par une méthode dynamique.

L'accroissement ou allongement de distance explosive statique, que j'appellerai *accroissement ou allongement statique*, peut se mesurer indirectement. On mesure à l'aide de l'électromètre absolu de MM. Bichat et Blondlot les potentiels explosifs de l'excitateur éclairé ou non par une source de radiations ultra-violettes et chargé lentement par une machine de Holtz. Dans des limites peu étendues, la variation du potentiel explosif peut être considérée comme proportionnelle à la variation correspondante de distance explosive et on pourra déduire l'accroissement de la distance explosive de l'abaissement du potentiel explosif.

Cette méthode ne donne pas une détermination rigoureuse de cet accroissement, mais

il suffit, pour l'usage que nous voulons en faire, d'avoir une valeur approchée.

La méthode des deux excitateurs dérivés permet de mesurer directement les allongements statique et dynamique de la distance explosive d'un excitateur se déchargeant pour un potentiel inconnu mais quelconque (p. 8). Le potentiel quelconque, mais constant, est le potentiel explosif statique ou dynamique de l'excitateur N dont les pôles maintenus polis, à une distance explosive constante, sont entourés d'écrans opaques pour les radiations ultra-violettes, de sorte que les pôles de N ne sont jamais éclairés par ces radiations.

L'expérience fera connaître la distance explosive de l'excitateur E se déchargeant pour le même potentiel explosif que N : 1° quand l'excitateur E n'est pas éclairé par les radiations ultra-violettes et 2° quand il est éclairé. Suivant que les excitateurs sont chargés par la méthode statique ou dynamique, on mesure ainsi l'accroissement statique ou dynamique de la distance explosive sous l'influence d'une source quelconque de lumière ultra-violette.

Voici quelques expériences établissant la proposition énoncée.

EXPÉRIENCES

Condensateur : jarre d'une capacité 0,005 microfarad. Bobines B₁ et B₂ en série.

Excitateur principal I : sphères de 2 cm de diamètre, en laiton, vissées sur un excitateur de M. Mascart.

Excitateurs dérivés E et N : sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton, vissées sur isolant, voir p. 4, polies fréquemment et munies d'écrans en paraffine contre la lumière ultra-violette des effluves, aigrettes et étincelle principale. Entre les excitateurs E et N, on place un écran de verre transparent pour les rayons visibles, mais opaque pour les rayons actifs de la source placée en face de E.

On se sert des sources suivantes : lampe à arc, étincelle principale, effluve. On fait éclater les étincelles toutes les minutes environ.

I. Lampe à arc.

a). La lampe à arc est placée dans une lanterne Duboscq, à 50 cm de E ; elle est traversée par un courant de 8 ampères environ. On concentre les rayons sur les pôles de E, au moyen d'un condensateur en quartz.

Charge dynamique, $I = 4$ mm.

	Distance explosive N en mm.	Distance explosive E en mm.	Excitateur auquel l'étincelle éclate.
E et N non éclairés	2	2	E
»	2	2,2	N
E éclairé.	2	4,4	E
»	2	4,6	N

Accroissement dynamique, 2,4 mm, environ.

Accroissement statique, 0,1 mm, environ, difficile à constater directement ; on le déduit indirectement en mesurant l'abaissement statique.

b). La lampe à arc, traversée par un courant de 8 ampères environ, est placée à une distance de 70 cm de E, à l'intérieur de la lanterne sans condensateur.

L'*accroissement dynamique* égale 1,3 mm environ.

L'*accroissement statique*, égal à 0,06 environ, est inappréciable directement ; on le déduit indirectement de l'abaissement du potentiel explosif.

II. Effluve et aigrette.

On prend, comme source de radiations électriquement actives, l'effluve ou l'aigrette qui s'échappe de l'extrémité pointue d'un fil de cuivre en communication avec l'un des pôles d'une machine de Wimshurst, dont l'autre pôle est au sol ; l'effluve jaillit à 5 cm environ de l'excitateur E.

L'*accroissement dynamique* est plus grand que 2,2 mm.

L'*accroissement statique* est de 0,1 mm à 0,2 mm, mesuré directement par la même méthode.

Observation. — L'effluve est une source de lumière très variable et les résultats varient d'une expérience à l'autre. Les accroissements rapportés sont des maxima.

III. Étincelle principale.

L'excitateur I est placé en face, et à 30 cm de E : on prend, comme source de radiations ultra-violettes, l'étincelle principale qui éclate en I, un peu avant l'étincelle dérivée (voir page 4).

Accroissement dynamique, 3,3 mm.

Accroissement statique $\leq 0,4$ mm. Cet accroissement est déduit indirectement de l'abaissement du potentiel explosif statique sous l'influence de l'étincelle principale. Pour mesurer cet abaissement, on charge l'excitateur dérivé E par une deuxième machine et on fait éclater une étincelle à l'excitateur principal I dans le circuit précédemment employé pour la charge dynamique et en conservant les mêmes positions relatives des excitateurs E et I. Il est certain que, de cette manière on observe une limite supérieure de l'abaissement qu'on aurait observé s'il avait été possible d'employer deux sources lumineuses identiques dans les deux expériences.

Une étincelle est une source de lumière très complexe, son intensité varie d'un instant à l'autre et dépend de toutes les quantités qui font varier la forme de la décharge dans un circuit donné.

Il est possible, mais peu probable, que l'action de la lumière ultra-violette de l'étincelle atteigne son maximum à l'instant où l'étincelle éclate à l'excitateur dérivé et, dans ce cas, l'abaissement statique observé est bien l'abaissement correspondant à la source de radiations ultra-violettes employée dans la charge dynamique.

S'il n'en est pas ainsi, l'abaissement statique est trop grand.

La proposition annoncée est donc démontrée.

La distance explosive la plus importante à connaître est la distance critique ; je rapporterai quelques expériences relatives à son accroissement qui nous serviront plus loin.

Expériences. — On prend la disposition précédente dans laquelle on ne considère que l'excitateur E ; on rend la distance N assez grande pour qu'il n'y éclate plus d'étincelle.

Distance principale $I = 5$ mm, distance critique de E non éclairé : 4,7 mm.

α Si l'on prend comme source la lampe à arc avec son condenseur, dans les conditions décrites (I. a, p. 19) ; la distance critique de l'excitateur éclairé est de 5,4 mm :

L'allongement de la distance critique est 0,70 mm.

β Avec la lampe sans condenseur, à 0,80 m de E :

L'allongement de la distance critique est inappréciable.

γ Avec l'étincelle principale éclatant à 25 cm : la distance critique de E est 5,70 mm ;

L'allongement est 1,3 mm.

δ Quand l'étincelle principale éclate à 2,50 m ; la distance critique de E est 5,65 mm ;

L'allongement est 1,25 mm.

ϵ En prenant comme source l'effluve qui s'échappe de la pointe d'un fil *ab* en communication avec le pôle isolé E_1 et se terminant

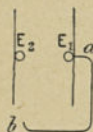


Fig. 13.

à 5 ou 6 cm de E_2 (fig. 13) ; la distance critique de E éclairé par cette effluve est 5,20 mm.

L'allongement est 0,80 mm.

Dans une autre expérience où $I = 8$ mm,

sous l'influence de l'effluve qui s'échappe d'une pointe reliée à une machine de Voss, la distance critique passe de 7,5 mm à 10,6 mm.

ζ Pour déterminer la distance de N qui correspond au même potentiel que la distance critique, on rapproche les pôles N de façon à faire éclater les étincelles en N plutôt qu'en E.

L'expérience a montré que, dans les conditions des expériences α , β , γ , δ , ϵ , la distance critique de N est 4,6 mm ;

Si l'éclairement est suffisamment faible, (expérience β),

E étant à la distance critique 4,7 mm,

N = 4,6 mm, l'étincelle éclate en E,

N = 4,5 mm, » » N ;

Si l'éclairement est intense, (expérience γ),

E étant à la distance critique 5,7 mm,

N = 2,5 mm, l'étincelle éclate en E,

N = 2,3 mm, » » N.

Remarques et conclusions. — Pour une même décharge principale, la distance s'allonge moins qu'une distance explosive dynamique plus petite. En particulier, sous l'influence d'une source assez faible, la distance critique s'allonge d'une quantité inappréciable (exp. β , p. 20), tandis qu'une distance dynamique deux fois plus petite subit un allongement de la moitié de sa longueur primitive (Exp. I. b, p. 19).

En admettant l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur poli placé à l'abri des rayons ultra-violetts, on peut dire :

I. — *Le potentiel explosif dynamique d'un excitateur éclairé par les radiations ultra-violettes est inférieur au potentiel explosif statique.*

II. — *Si l'éclairement de l'excitateur dérivé est assez faible, la distance critique s'allonge comme une distance statique et l'étincelle critique éclate au potentiel maximum.*

Si l'éclairement de l'excitateur dérivé est assez intense, la distance critique s'allonge plus qu'une distance statique et l'étincelle criti-

que éclate à un potentiel inférieur au potentiel maximum (exp. ζ, p. 20).

III. — Les expériences précédentes peuvent se répéter aisément dans un cours pour démontrer l'action des rayons ultra-violet sur les potentiels explosifs. A défaut de bobine traversable par une décharge, on prend comme circuit dérivé sur les excitateurs, une colonne d'une solution électrolytique de SO^4Cu , par exemple; pour réussir très nettement l'expérience, il faut observer les précautions indiquées page 23 et prendre comme distance dynamique une distance environ deux fois plus petite que la distance critique. On évitera avec soin les étincelles dérivées simultanées (voir note, p. 9).

§ IV. DIFFÉRENCE D'ACTION DES RAYONS X SUR LES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE.

Les rayons X, découverts par M. Röntgen, agissent sur les potentiels explosifs statique et dynamique comme les radiations ultra-violettes ⁽¹⁾.

L'abaissement de potentiels explosifs statiques se mesure directement à l'aide de l'électromètre de MM. Bichat et Blondlot, en notant le potentiel explosif de l'excitateur éclairé ou non par ces radiations; l'allongement de la distance explosive se déduit indirectement de cette mesure.

Cette détermination se fait de la manière décrite pour les rayons ultra-violet, avec cette différence que la lampe à arc est remplacée par un tube de Crookes traversé par la décharge d'une bobine de Ruhmkorff actionnée par deux accumulateurs.

Le tube de Crookes étant à 25 cm d'un excitateur à boules de laiton de 1 cm de diamètre et de 5,5 mm de distance explosive, l'abaissement du potentiel explosif est de 1,2 unité électrostatique C. G. S., ce qui correspond à un allongement de distance

explosive inférieur à $\frac{2}{10}$ de mm. Un papier noir, une planche de bois de 1 cm d'épaisseur ne changent pas d'une façon appréciable l'abaissement du potentiel explosif. Une plaque de laiton de 0,5 mm d'épaisseur le supprime.

L'allongement de la distance explosive dynamique se mesure directement par la méthode des deux excitateurs dérivés.

La disposition générale est la même que celle qui a été employée pour la lumière ultra-violette; on place un écran de laiton entre les deux excitateurs dérivés N et E; on remplace la lampe à arc par le tube de Crookes.

Cependant, sous cette forme, la méthode ne donne que des résultats négatifs; cela tient à ce fait que l'éclairement du tube de Crookes est forcément intermittent et ne dure qu'une fraction très petite de seconde; il faudrait un concours très heureux de circonstances pour que le tube fût illuminé au moment de la charge dynamique des excitateurs. Pour tourner cette difficulté, j'ai usé d'un artifice par lequel le tube de Crookes s'illumine en même temps que l'excitateur dérivé se charge par la méthode dynamique (décharge du condensateur) (fig. 14).

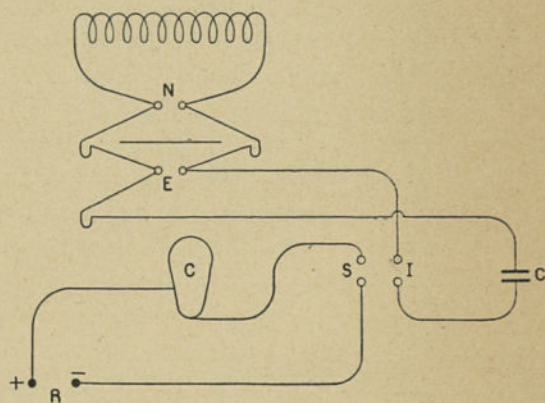


Fig. 14.

Dans le circuit secondaire de la bobine de Ruhmkorff R, on place en série un tube de Crookes C et un excitateur secondaire S. Cet excitateur est placé à 5 cm environ et en face

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, 17 février 1896.

du champ interpolaire de l'excitateur principal I qui permet la charge du condensateur. En actionnant la bobine de Ruhmkorff, à chaque étincelle qui éclate en S, la bobine se décharge à travers le tube de Crookes.

On charge lentement le condensateur par une machine de Holtz ; lorsque l'excitateur I est à un potentiel très voisin du potentiel explosif statique, on actionne la bobine de Ruhmkorff, en continuant la charge du condensateur ; l'une des étincelles qui éclatent en S provoque, par ses radiations ultra-violettes, la décharge de l'excitateur principal et du condensateur et, pendant que la décharge de la bobine illumine le tube de Crookes, la décharge du condensateur charge dynamiquement les deux excitateurs dérivés E et N.

Dans une expérience, l'excitateur I est formé de sphères de 2 cm de diamètre, en laiton, et de 5,5 mm de distance explosive.

Le tube de Crookes, actionné comme pour la mesure des potentiels explosifs statiques, est placé à 25 cm environ de E.

Les excitateurs dérivés sont formés de sphères de 1 cm de diamètre, sur isolant, en laiton (E) ou en platine (N).

L'expérience montre que si les deux excitateurs dérivés ne sont pas éclairés,

$N = 3$ mm et $E = 3,1$ mm : l'étincelle éclate en E ;

$N = 3$ mm et $E = 3$ mm : l'étincelle éclate en N ;

Quand E est seul éclairé par les rayons X,
 $N = 3$ mm, $E = 5$ mm : l'étincelle éclate en E ;

$N = 3$ mm, $E = 5,5$ mm : l'étincelle éclate en N.

L'allongement de la distance explosive est supérieur à 2 mm.

L'interposition d'un écran de papier de verre ne diminue pas d'une façon appréciable cet allongement ; une plaque de laiton le supprime.

L'étincelle de la même bobine de Ruhmkorff produit, dans les mêmes conditions, un

allongement du même ordre de grandeur si aucun écran n'est interposé entre l'excitateur E et l'étincelle.

Un écran de bois, de verre, de papier noir, supprime l'allongement. Les matières précédentes sont opaques pour les radiations ultra-violettes électriquement actives.

Donc, on peut conclure, comme pour les rayons ultra-violets, par la proposition suivante :

Sous l'action des rayons X, la distance explosive dynamique d'un excitateur subit un allongement beaucoup plus considérable que la distance explosive statique.

Sous cette forme, l'expérience peut servir d'expérience de cours (voir conclusion III, chapitre précédent).

§ V. DÉTERMINATION RATIONNELLE D'UNE DISTANCE CRITIQUE

La distance explosive dynamique d'un excitateur, pour un potentiel dynamique donné, diminue sous l'influence de la couche d'oxyde produite par les étincelles et augmente sous l'influence des radiations ultra-violettes.

Ces deux actions contraires peuvent agir simultanément ou isolément dans la détermination de la distance explosive dynamique d'un excitateur suivant la méthode ordinairement suivie.

Si les influences agissent simultanément, les erreurs peuvent se compenser, mais ce ne sera pas le cas général.

Si l'étincelle principale ou une effluve voisine des pôles exerce une action prépondérante, la distance dynamique peut augmenter notablement.

Si les pôles de l'excitateur ternis par les étincelles sont placés à l'abri de l'étincelle et des effluves, la distance dynamique subira une diminution qui pourra être considérable.

Donc, suivant les hasards de l'expérience, on trouvera, pour la distance explosive d'un

même potentiel dynamique, une valeur ou une autre pouvant présenter entre elles un écart considérable.

Pour qu'une distance explosive dynamique soit déterminée avec précision, il faut observer scrupuleusement les trois règles suivantes, qui sont d'autant plus importantes qu'elles sont les conditions dans lesquelles les potentiels explosifs statique et dynamique sont égaux. (Voir 3^e chapitre.)

1^o *L'excitateur dérivé sera protégé par des écrans contre l'étincelle principale et les éffluves ou aigrettes qui peuvent s'échapper, soit des fils qui conduisent la décharge, soit des conducteurs qui chargent le condensateur;*

2^o *Les surfaces polaires de l'excitateur dérivé seront polies à la toile d'émeri fin, après chaque étincelle ou, tout au moins, après deux ou trois étincelles.*

Ce polissage, qui demande un certain temps, un quart de minute, aura en outre l'avantage de chasser l'air échauffé par l'étincelle.

Les pôles de l'excitateur seront en laiton et auront un diamètre de 1 à 2 cm;

3^o *On fera éclater les étincelles régulièrement, environ toutes les minutes.*

Cette troisième règle ne peut pas toujours être observée, dans les expériences de Hertz, par exemple. Dans ce cas particulier, 1^o on provoquera les décharges régulières du vibreur par une machine électrostatique (p. 14), 2^o on déterminera la distance critique du résonateur en observant les deux premières règles et, partant d'une distance explosive supérieure à la distance critique, on diminuera progressivement cette distance jusqu'à ce qu'on observe une étincelle au résonateur.

Voici, comme exemple, la détermination d'une distance critique dans les conditions normales que l'on vient d'indiquer.

Expérience. — On reprend la disposition précédente (p. 18) où l'on ne conserve que l'excitateur dérivé E.

l = 8 mm.

Opérations sur les pôles de E.	N ^o d'ordre des expériences.	Distance explosive de E en mm.	Résultats (on observe en E.)
	19	6,7	Étincelle.
	20	7	»
	21	7,5	Pas d'étincelle.
	22	7,1	Étincelle.
On repolit E.	23	7,4	Pas d'étincelle.
	24	7,15	»
	25	7,05	Étincelle.
	26	7,15	»
On repolit E.	27	7,35	»
»	28	7,55	Pas d'étincelle.
	29	7,35	»
	30	7,15	Étincelle.
On repolit E.	31	7,3	»
	32	7,4	Pas d'étincelle.
On repolit E.	33	7,25	Étincelle.
On repolit E.	34	»	Pas d'étincelle.
	35	»	Étincelle.
On repolit E.	36	»	»
	37	7,4	Pas d'étincelle.
On repolit E.	38	7,35	Étincelle.
	39	»	Pas d'étincelle.
On repolit E.	40	»	Étincelle.

Remarques. — Lorsque l'excitateur E est poli, la distance critique est nettement déterminée, elle est sensiblement égale à 7,35 mm environ (expériences 23, 27, 37, 38, 39, 40).

Si, dans les expériences précédentes, on observe la première et la troisième règle, mais qu'on opère avec des pôles ternis par un usage assez long, on obtient les résultats suivants :

En augmentant peu à peu la distance explosive E jusqu'à ce qu'on n'observe plus d'étincelle dérivée, la distance critique est comprise entre 6,7 mm, et 6,85 mm.

En diminuant peu à peu la distance explosive E jusqu'à ce qu'on observe une étincelle, la distance critique est comprise entre 6,4 et 6,2.

Si on observe les règles relatives à la fréquence des étincelles et au polissage des pôles, mais si on néglige d'entourer d'écrans les excitateurs, pour les protéger contre la lumière ultra-violette, on peut commettre

des erreurs de l'ordre de la moitié ou du tiers de la distance à mesurer. Dans l'expérience (γ p. 20) l'excitateur E, éclairé par l'étincelle principale, a pour distance critique 5,70 mm; si E n'est pas éclairé, sa distance critique est 4,40 mm.

Dans l'expérience (ε p. 20) l'excitateur E est éclairé par une effluve voisine des pôles E; la distance critique est 5,20 mm; si E est protégé soigneusement contre cette effluve, la distance critique est 4,40 mm.

Si on protège l'excitateur dérivé contre les radiations ultra-violettes, et que l'on fasse éclater les étincelles principales toutes les secondes environ, on n'observe ni la règle de la fréquence, ni celle du polissage des pôles. La distance critique varie dans des proportions très considérables comme le montre l'expérience suivante :

Expérience.—On donne à l'excitateur dérivé une distance explosive constante; on fait éclater 50 étincelles principales et on inscrit, pour chaque dizaine, le nombre de celles qui ne provoquent pas d'étincelle dérivée et que j'appellerai *inactives*. On fait cette opération pour diverses distances explosives dérivées, en maintenant l'excitateur principal I à la distance explosive 4 mm et prenant, pour pôles de l'excitateur dérivé, des sphères de 1 cm de diamètre, en laiton, fer et platine.

Voici une expérience complète avec les pôles en laiton :

Distance explosive dérivée.	NOMBRE D'ÉTINCELLES INACTIVES sur 50 étincelles principales.					Total.
	Dans la 1 ^{re} dizaine.	2 ^e dizaine.	3 ^e dizaine.	4 ^e dizaine.	5 ^e dizaine.	
1,5 mm	0	0	0	0	0	0
2 »	0	0	1	0	0	1
2,5 »	4	3	0	1	2	10
3 »	6	7	3	4	3	17
3,5 »	5	10	10	10	10	45
3 »	0	4	1	5	5	15
2,5 »	0	3	3	0	4	10
2 »	0	2	0	0	0	2
1,5 »	0	0	0	1	0	1

La distance critique varie de 1,5 mm environ à 3,5 mm environ.

Pour les pôles de fer, elle varie de 1 mm à 3 mm environ.

Pour les pôles de platine, de 1 mm à 2,5 mm.

En observant les trois règles, on trouve que la distance critique est comprise entre 3,25 mm et 3,35 mm, quelle que soit la nature des pôles de l'excitateur dérivé.

M. Lodge, dans son grand travail sur les paratonnerres⁽¹⁾ a déterminé un grand nombre de distances critiques par cette condition que, dans la rotation continue de la machine, sur un certain nombre d'étincelles principales la moitié provoque une étincelle dérivée, l'autre est inactive. On voit que, pour des pôles en laiton, qui sont généralement employés, la distance critique ainsi définie ne diffère pas beaucoup de la distance déterminée dans les conditions normales; pour des pôles en fer ou en platine, la différence est beaucoup plus considérable et même peut atteindre la moitié de la distance normale.

J'ajoute que l'irrégularité observée dans les étincelles dérivées fréquentes est très marquée pour les petites distances explosives; elle est moins grande aux grandes distances, ce qui est bien conforme à l'explication de l'effet de l'oxydation des pôles (p. 16).

Si la détermination de la distance critique par la méthode des étincelles fréquentes peut donner parfois des résultats exacts, elle conduit le plus souvent à des résultats erronés et contradictoires et toujours irréguliers. Je n'en citerai qu'un exemple: Dans une de ses expériences, M. Lodge⁽²⁾ trouve que si l'on prend successivement, comme circuit dérivé, deux circuits identiques de forme et dimensions, l'un en fer, l'autre en cuivre, la distance critique du circuit en fer est plus petite que celle du circuit en cuivre, ce qu'il énonce en disant que pour éviter la décharge latérale *le fer est préférable au cuivre*.

⁽¹⁾ O. LODGE, *Lightning conductors and Lightning guards*, Wiltaker, London, 1892.

⁽²⁾ O. LODGE, *loc. cit.*, p. 36 et 46.

Dans une autre expérience ⁽¹⁾, faite un autre jour, il trouve que le fer et le cuivre sont équivalents et M. Canestrini ⁽²⁾ a confirmé ce dernier résultat.

Bref, toutes les expériences dans lesquelles se produisent des décharges dérivées sont

⁽¹⁾ O. LODGE *Loc. cit.*, p. 116 et 117.

⁽²⁾ CANESTRINI. *A proposito delle esperienze d. O. Lodge sulle scariche elettriche. R. Stabilimento Proserini. Podowa, 1893.*

toutes extrêmement irrégulières. On a eu tort d'attribuer cette irrégularité à une extrême variabilité de la décharge principale par étincelle ; la cause de perturbation réside dans les conditions initiales de production d'une étincelle dérivée et il est probable qu'en prenant les précautions indiquées tous ces phénomènes prendraient une allure régulière qui permettrait de les soumettre à une étude expérimentale sérieuse.

CHAPITRE III

ÉGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

§ I. APPLICATION DE LA MÉTHODE DES DEUX EXCITATEURS DÉRIVÉS

Il nous reste à justifier l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur à surfaces polaires polies et placées à l'abri des radiations ultra-violettes.

Nous avons déjà vu que la vérification directe de cette égalité est impossible; nous nous bornerons donc à indiquer quelques preuves indirectes.

L'une des conséquences les plus immédiates de ce principe est la suivante :

Si les potentiels explosifs des deux excitateurs sont égaux au point de vue statique, ils sont égaux au point de vue dynamique, quelles que soient les différences de forme et, dans une certaine mesure, les différences de dimensions des excitateurs employés.

Si le potentiel explosif dynamique V' d'un excitateur est égal au potentiel explosif statique V , multiplié par un certain rapport k , différent de l'unité, il est naturel de penser que ce rapport k doit varier d'un excitateur à l'autre ou d'un potentiel dynamique à un autre, ce qui contredirait la proposition précédente.

La constatation de l'exactitude de cette proposition apportera donc une preuve en faveur de l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique.

J'ai fait un grand nombre d'expériences de comparaison à l'aide de la méthode des deux excitateurs dérivés, en employant deux excitateurs de forme et de courbure très différentes;

je prenais les précautions minutieuses indiquées précédemment.

J'ai pris pour excitateur E des excitateurs à boules de 1 cm, 1,67 cm, 2 cm de diamètre en laiton; pour excitateur N des sphères de 5 mm, 3 mm, 1 mm de diamètre, en laiton, des boucles de fil de laiton, de 1 à 2 mm de diamètre, courbées en cercle de 1 cm de diamètre, enfin, des pointes en cuivre de courbure très forte mais non mesurée.

Je ne rapporterai que quelques expériences qui ont toutes confirmé la proposition précédemment énoncée, *si les excitateurs chargés statiquement ne donnaient pas d'effluves ou d'aigrettes.*

Si la distance explosive des excitateurs à forte courbure est assez grande pour que l'électricité s'en échappe sous forme d'effluves ou d'aigrettes, le potentiel explosif statique de ces derniers *est en général plus grand* que le potentiel explosif dynamique, la distance explosive dynamique est plus petite que la distance explosive statique.

a). *Expériences sur des excitateurs n'émettant pas d'effluves.*

C_1, C_2 , grosse jarre de 0,005 microfarad de capacité.

B_1, B_2 , les bobines B_1 et B_2 en série;

I, sphères de 2 cm de diamètre en laiton;

E, demi sphères de 1 mm de diamètre, en laiton; } protégées
N, sphères de 1 cm de diamètre en laiton. } contre les radiations
ultra-violettes

$l = 4$ mm.

Opérations sur les excitateurs.	N ^o d'ordre des expériences.	Distance explosive de N en mm.	Distance explosive de E en mm.	Mode de charge de E et N.	Excitateur dérivé auquel l'étincelle éclate.
On polit N et E	19	3	7,15	D	N
	20	»	7,05	»	»
	21	»	»	S	»
	22	»	6,9	»	E
	23	»	7,05	»	»
On repolit N et E.	24	»	»	D	N
	25	»	»	»	E

Remarque. — Les expériences 20 et 21, 23 et 25 démontrent la proposition.

Pour mettre en évidence l'influence des dimensions ou de la capacité électrique de l'excitateur, on emploie la même disposition, avec les modifications suivantes :

E, sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton, vissées directement sur un excitateur de M. Mascart, muni d'écrans métalliques ; N, sphères de 1,65 cm, de laiton, vissées sur isolant, munies d'écrans en paraffine ; les surfaces polaires de N et E sont donc identiques mais les dimensions de E beaucoup plus grandes (fig. 15).

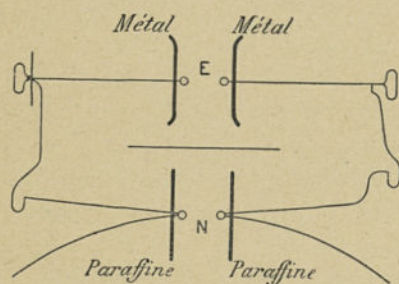


Fig. 15.

La distance explosive de E, se déchargeant pour le même potentiel que N, est comprise entre $E = 3,2$ mm et $E = 3,3$ mm pour la décharge statique, $E = 3,1$ et $E = 3,2$, pour la décharge dynamique.

Donc, quand la capacité électrique de l'excitateur augmente, le rapport de la distance explosive dynamique à la distance explosive

statique diminue $\frac{1}{32}$ environ, dans l'expérience actuelle.

En résumé, au point de vue pratique, on pourra considérer la proposition comme vérifiée.

b) *Expériences dans lesquelles l'un des excitateurs émet des effluves.*

Comparaison de l'excitateur N formé de sphères de 1,65 cm avec un excitateur E formé de deux demi-sphères de 1 mm de diamètre émettant des effluves dans la charge statique.

La distance explosive N restant constante et égale à 4 mm, la distance explosive de l'excitateur E se déchargeant pour le même potentiel que N est comprise :

entre $E = 11$ mm et $E = 12$ mm pour la décharge statique ;

entre $E = 8$ mm et $E = 9$ mm pour la décharge dynamique.

On peut interpréter les résultats précédents en disant que la décharge statique par étincelle est facilitée si elle est précédée par une effluve ou une aigrette.

Dans la charge statique de l'excitateur, l'effluve agit beaucoup plus longtemps que dans la charge dynamique ; en général, on entend un petit crépitement et l'étincelle suit aussitôt.

Les expériences précédentes rappellent les expériences de M. Lodge sur la protection exercée par les pointes contre la foudre⁽¹⁾. M. Lodge montre, en particulier, que les pointes protègent moins bien dans les décharges dynamiques (impulsive rush) que dans les décharges statiques (steady strain). Nos expériences peuvent s'interpréter de la même façon ; elles montrent, en outre, que les résultats de M. Lodge sont limités aux excitateurs de courbure et distance explosive suffisantes pour émettre des effluves ou des aigrettes.

(1) O. LODGE. *Lightning guards, etc.*, p. 54.

Observation. — Ces expériences ont maintes fois présenté de très grandes difficultés. Lorsque les excitateurs ont un faible rayon de courbure (sphères de 1 mm de diamètre, par exemple), le frottement des surfaces polaires par la toile d'émeri déforme rapidement les pôles et la distance explosive de l'excitateur équivalente à celle d'un excitateur à sphères de 1 cm de diamètre varie; il faut parfois plus d'une heure pour faire la comparaison de deux excitateurs pour un potentiel explosif déterminé.

Malgré les précautions contre la lumière ultra-violette et le polissage des pôles, il m'est arrivé, surtout au début de ces recherches, de constater que les deux distances explosives statique et dynamique d'un excitateur E équivalentes à une distance explosive déterminée N différaient de plus d'un dixième de millimètre. Ces divergences sont dues à des causes accidentelles; on ne peut les reproduire systématiquement et on constate des divergences analogues dans la comparaison de deux excitateurs géométriquement identiques. L'expérience montra, dans la suite, que les écarts observés étaient dus à une effluve mal cachée ou à un défaut de polissage des pôles. Je signalerai deux exemples.

Dans la comparaison de l'excitateur E à pôles de 1 mm de diamètre, avec un excitateur N à pôles de 1 ou 2 cm de diamètre, je trouvais que les deux distances statique et dynamique de E, équivalentes à la distance N, pouvaient différer de 2 ou 3 dixièmes de millimètre. Au bout de quelque temps, je trouvais la cause du désaccord. Les pôles de 1 mm de diamètre étaient vissés sur la tige isolante serrant les fils de décharge, comme l'indique la figure 10 p. 12, où les pôles et les fils sont seuls représentés; de l'un des pôles E, on pouvait voir la partie fortement courbée f du fil de décharge en contact avec le pôle E_1 ; le renflement r du pôle était insuffisant pour cacher entièrement le fil f . En plaçant, entre le fil et le renflement, une flotte en clinquant d'un diamètre suffisant pour cacher les fils f ,

comme on le voit en F, les divergences signalées disparaissaient.

En comparant des sphères de fer avec des sphères de laiton, on observait des perturbations dues à l'adhérence relativement grande de l'oxyde de fer produit par les étincelles; un léger frottement à la toile d'émeri ne l'enlève pas, comme pour le laiton.

Enfin, il m'est arrivé, certains jours, de constater des différences de 1/10 de mm environ entre deux distances statique et dynamique de 3 à 4 mm, qui auraient dû être égales, d'après la proposition à vérifier. Je ne parvenais pas à découvrir positivement les causes de la perturbation; mais, comme l'inégalité disparaissait dans la suite, dans des expériences identiques, j'attribuais l'écart observé à une cause accidentelle, une effluve mal cachée, par exemple.

La grande majorité des expériences confirme la proposition et les différences observées ne suivent aucune apparence de loi et sont d'ailleurs négligeables, au point de vue pratique.

§ II. APPLICATION DE LA MÉTHODE DE M. JAUMANN

1^o Principe des expériences.

M. Jaumann a réalisé (*loc. cit.*) un certain nombre d'expériences que nous répéterons sous une forme peu différente; en voici le principe.

Soit un condensateur C en équilibre électrostatique. La différence de potentiel entre ses armatures C_1 , C_2 est V. Augmentons brusquement la capacité du condensateur C, en joignant ses armatures C_1 , C_2 aux armatures γ_1 , γ_2 , d'un second condensateur γ , primitivement à l'état neutre (fig. 16). Au bout d'un temps excessivement court, un nouvel état d'équilibre s'établit: la différence de potentiel entre les armatures C_1 , C_2 , et γ_1 , γ_2 devient V_1 .

Si C et γ désignent les capacités des condensateurs C et γ , on a:

$$CV = (C + \gamma) V_1.$$

La différence de potentiel entre les armatures de C baisse de :

$$\Delta V = V - V_1 = \frac{\gamma}{C + \gamma} V.$$

La différence de potentiel entre les armatures de γ passe de 0 à $V_1 = \frac{C}{C + \gamma} V$.

Entre les deux états d'équilibre, le con-

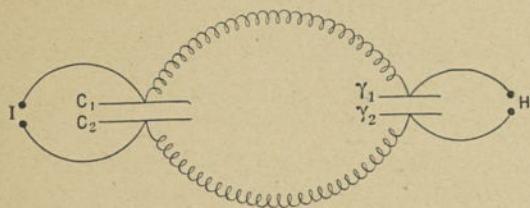


Fig. 16.

densateur C se décharge partiellement dans le condensateur γ et, suivant la nature et la forme des circuits qui relient les armatures

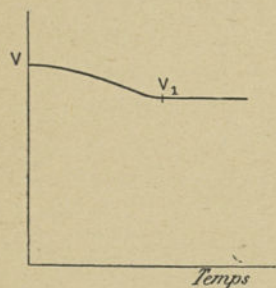


Fig. 17.

respectives des condensateurs, la décharge peut être continue ou oscillatoire.

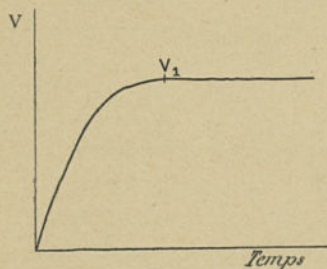


Fig. 18.

Si la décharge est continue, la différence de potentiel entre C_1, C_2 diminue d'une façon continue jusqu'à atteindre le potentiel V_1

(fig. 17) et la différence de potentiel entre les armatures γ_1, γ_2 augmente d'une façon continue de 0 à V_1 (fig. 18).

Si la décharge partielle est oscillatoire, la différence de potentiel entre les armatures C_1, C_2 , atteint sa valeur finale V_1 par une série d'oscillations d'amplitude décroissante (fig. 19) ; la différence de potentiel entre

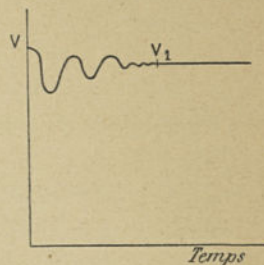


Fig. 19.

γ_1, γ_2 , passe de 0 à V_1 en exécutant plusieurs oscillations (fig. 20).

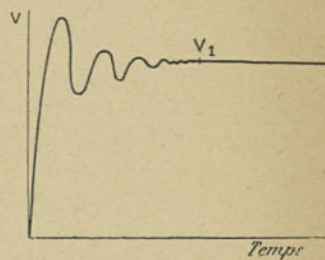


Fig. 20.

Si les pôles d'un excitateur I communiquent respectivement avec les armatures C_1, C_2 de C par des fils métalliques très courts, pendant la décharge la différence de potentiel entre les pôles de I sera, à chaque instant, la même qu'entre les deux armatures. Les figures 19 et 21 représentent la variation du potentiel entre les pôles de I.

De même, si les armatures γ_1, γ_2 de γ communiquent respectivement avec les pôles d'un excitateur H par des fils très courts, entre les pôles de H il existe, à chaque instant de la décharge, la même différence de potentiel qu'entre les armatures γ_1, γ_2 . Les figures 20 et 22 représentent la variation du potentiel de H.

Si les excitateurs I et H ne sont pas reliés de cette façon aux armatures des condensateurs, les différences de potentiel entre H et I subissent des variations analogues, mais non identiques, aux variations des armatures.

Cela posé considérons le condensateur C chargé au potentiel statique V et déchargeons le partiellement dans γ . Examinons ce qui se passe pour les deux excitateurs I et H. Étudions, d'abord, l'excitateur I :

1° *Il ne se décharge pas* : c'est que l'un quelconque Φ' des potentiels dynamiques de la décharge reste inférieur au potentiel explosif dynamique \mathcal{Q}' .

Dans le cas de la décharge continue, on a d'ailleurs $\Phi' > V_1$. Si le potentiel statique V auquel on a chargé le condensateur C ne diffère du potentiel explosif statique \mathcal{Q} que d'une quantité négligeable on peut dire que l'abaissement est inférieur à $\frac{\gamma}{C + \gamma} V$; si $\frac{\gamma}{C + \gamma} < \frac{1}{100}$, cet abaissement sera inférieur à $\frac{1}{100} V$; on pourra dire, avec raison :

Le potentiel explosif de l'excitateur I n'est pas diminué d'une façon appréciable par des variations très petites mais très rapides du potentiel.

2° *L'excitateur I se décharge* ; l'étincelle éclate nécessairement à un potentiel inférieur au potentiel statique V. Désignons par Φ le potentiel statique le plus petit auquel on puisse charger C pour que l'excitateur I se décharge. Si \mathcal{Q} est le potentiel explosif statique, nous appellerons la différence $\mathcal{Q} - \Phi$ l'abaissement apparent du potentiel dans la décharge considérée. L'abaissement réel du potentiel produit par la décharge sera supérieur à l'abaissement apparent, car le potentiel dynamique Φ' auquel éclate l'étincelle est inférieur à Φ .

Étudions de même l'excitateur H :

1° *Il ne se décharge pas* ; c'est que le potentiel explosif n'a pas été atteint, ni pendant, ni après la décharge partielle ;

2° *Il se décharge* (on le suppose réglé pour ne pas se décharger quand on le charge par la méthode statique au potentiel V_1) ; c'est que

le potentiel dynamique atteint pendant la décharge surpasse ou égale le potentiel explosif dynamique de l'excitateur.

Si on admet l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique d'un excitateur placé dans les conditions normales, on pourra voir très simplement si la décharge est continue ou oscillatoire.

2° Réalisation expérimentale.

Les expériences sur l'excitateur I dont nous venons d'exposer le principe sont réalisées de la façon suivante :

Soient (fig. 21) C_1, C_2 les armatures du

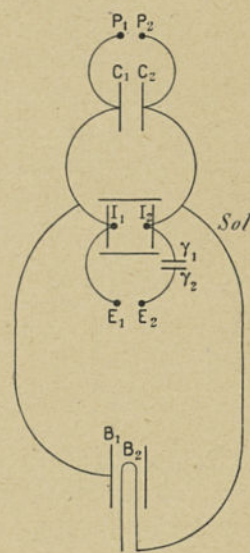


Fig. 21.

condensateur principal C ; γ_1, γ_2 les armatures du condensateur secondaire γ ; I_1, I_2 les pôles de l'excitateur secondaire ; P_1, P_2 les pôles de la machine électrostatique de Holtz ; B_1, B_2 les cylindres extérieur et intérieur de l'électromètre cylindrique de MM. Bichat et Blondlot, extrêmement commode pour toutes ces expériences. On fait communiquer métalliquement : 1° P_1, C_1, I_1, E_1, B_1 ; 2° E_2, γ_2 . On réunit entre eux et au sol $P_2, C_2, I_2, \gamma_1, B_2$. On place des écrans autour de I_1, I_2 pour préserver cet excitateur de l'action de toute lumière ultra-violette provenant de l'étincelle de E_1, E_2 des effluves et des aigrettes qui

peuvent s'échapper des fils, des supports isolants du cylindre B_2 de l'électromètre, des armatures des condensateurs C et γ pendant la charge de C et la décharge partielle de C dans γ et des conducteurs de la machine de Holtz, etc...

L'excitateur I_1, I_2 est un excitateur de M. Mascart dont les pôles sont vissés directement sur les tiges métalliques ou sur isolant.

L'excitateur E_1, E_2 (fig. 22) a l'une de ses

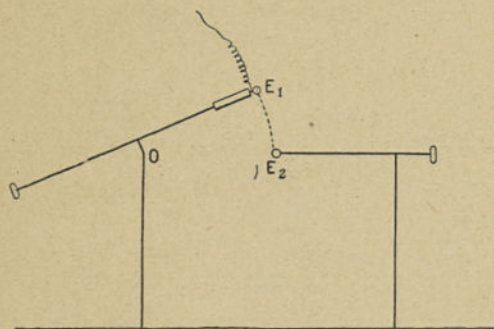


Fig. 22.

branches fixes, l'autre mobile autour d'un point O ; le pôle E_2 est vissé directement sur la branche métallique fixe; le pôle E_1 est vissé sur une tige isolante fixée elle-même à la branche mobile de l'excitateur; de cette manière, on peut toucher la branche mobile sans danger, même quand E_1 est à un très grand potentiel. La distance du pôle E_1 est à un très grand potentiel. La distance du pôle E_1 au point O est telle qu'on puisse amener les pôles E_1 et E_2 au contact en faisant basculer le levier, qui porte le pôle E_1 , autour du point O .

Les fils qui joignent les pôles P_1, P_2 , de la machine de Holtz aux armatures C_1, C_2 , sont des fils de cuivre de 1 m de long environ et de $\frac{8}{10}$ de mm de diamètre; les autres communications sont également en fil de cuivre enroulé en spirale; la longueur totale de l'un des fils entre deux points tels que $C_1, I_1; I_1, E_1$; etc. est de 2 à 3 m.

L'observation électrométrique se fait par la méthode subjective.

Les expériences sont conduites de la façon suivante :

On tourne la machine de Holtz, de façon à charger le condensateur C aussi lentement que possible et, en même temps, on suit, dans la lunette, l'indication de l'électromètre; on note la division de l'échelle qui passe au réticule au moment où l'étincelle éclate en I , ce qui donne le potentiel explosif statique de l'excitateur principal. On recommence la charge avec la même lenteur et, lorsque le potentiel de I est très peu inférieur au potentiel explosif précédemment déterminé, on fait éclater une étincelle en E : le potentiel de I diminue brusquement et γ se charge aux dépens de C ; pour cela, un aide fait basculer le levier qui porte la boule E_1 , amène E_1 en contact avec E_2 et l'éloigne aussitôt, il note la division de l'échelle observée au réticule de la lunette par l'expérimentateur au moment où l'étincelle éclate en E et décharge le condensateur γ . Par suite de l'étincelle en E , le potentiel de I a diminué plus ou moins; on recommence la charge dans les mêmes conditions et l'on fait éclater l'étincelle en E pour un potentiel un peu plus élevé, et ainsi de suite.

Si la variation rapide de potentiel produite par la décharge partielle de C dans γ diminue le potentiel explosif d'une quantité appréciable, on pourra toujours charger statiquement l'excitateur I à un potentiel assez voisin du potentiel explosif statique pour que l'étincelle secondaire en E provoque en même temps la décharge de l'excitateur principal I .

On pourra mesurer l'abaissement apparent par la décharge partielle, en cherchant le potentiel le moins élevé auquel on peut charger l'excitateur I pour qu'une étincelle secondaire en E provoque une étincelle principale simultanée en I .

Ces expériences sont résumées dans des tableaux où les diverses expériences sont relatées dans l'ordre où elles ont été faites. La lettre E indique que l'on fait éclater l'étincelle en E ; la lettre I , que l'étincelle jaillit en I ; le nombre en regard de I ou de E représente la division de l'échelle dont l'image par ré-

flexion sur le miroir de l'électromètre coïncide avec le réticule au moment de l'étincelle. Dans les tableaux, la première colonne donne l'ordre dans lequel les expériences sont faites ; la deuxième, la division de l'échelle lue à l'électromètre ; la troisième, l'excitateur auquel l'étincelle éclate.

Pour trouver le potentiel, j'admets, ce qui d'ailleurs est exact dans les limites de précision de l'expérience, que la surcharge qu'il faudrait ajouter pour ramener la division zéro au réticule est proportionnelle au nombre de divisions de l'échelle comprises entre la division qui coïncide avec le réticule et le zéro de l'échelle.

Lorsque l'électromètre est en équilibre et n'est pas électrisé, l'image de la division zéro coïncide avec le réticule, pour une surcharge de 5 cgr, dans le plateau du cylindre intérieur mobile, l'image de la division 18 coïncide avec le réticule. Donc, un déplacement d'une division correspond à $\frac{1}{360}$ de gr.

Pour l'électromètre employé, si la différence de potentiel entre les cylindres est de 58,93 unités électrostatiques C. G. S., la force attractive est de 1 gr ; si on évalue la force attractive en $\frac{1}{360}$ de gr, le potentiel est donné, en unités C. G. S., par la formule :

$$V = \frac{58,73}{\sqrt{360}} \sqrt{\text{force attractive}} = 3,1 \sqrt{\text{force attractive}}.$$

Les mesures de potentiel explosifs statiques donnent des résultats concordant avec les potentiels explosifs consignés dans les tables.

J'ai fait un grand nombre d'expériences ; je n'en reproduirai que quelques-unes.

a. *Excitateur I non éclairé par les radiations ultra-violettes.*

I_1, I_2 , demi-sphères de 0,5 cm de diamètre, en i Walton, préalablement polies ;

E_1, E_2 , sphères de 1,65 cm de diamètre ;

C_1, C_2 , trois jarres de capacité totale 0,015 microfarad ;

γ_1, γ_2 , condensateur plan de capacité 0,00005 ;

$$\frac{\gamma}{C} = \frac{1}{300}.$$

Charge de l'électromètre, 1 gr.

1	31	I	5	27	E
2	10	E	6	29	»
3	18	»	7	30	»
4	25	»	8		I (*)

Potentiel explosif statique $V = \sqrt{10 \times 36 + 31} = 61,07.$

Abaissement apparent = 0.

Abaissement réel $< \frac{1}{300} V.$

Remarque ()*. — L'étincelle éclate en I quelques instants après l'étincelle en E de l'expérience 7. Ce fait se présente assez rarement.

Lorsque l'excitateur n'est pas entouré d'écrans l'abaissement peut être parfois considérable. Voici une expérience caractéristique,

I_1, I_2 , sphères de laiton de 1 cm de diamètre ;

E_1, E_2 , sphères de 1,65 cm de diamètre en laiton.

C_1, C_2 , deux jarres de capacité totale 0,01 microfarad.

γ_1, γ_2 , condensateur plan, capacité 0,0002 microfarad ; $\frac{\gamma}{C} = \frac{1}{50}.$

1° Potentiel explosif statique de l'excitateur I sans écrans $\mathcal{V} = 72,5.$

Abaissement apparent = 12,5.

Abaissement apparent relatif $= \frac{12,5}{72,5} = \frac{1}{6}$ environ.

2° Potentiel explosif statique de l'excitateur muni de ses écrans, $\mathcal{V} = 71,9.$

Abaissement apparent = 0.

Notre étude préalable de l'influence de la lumière ultra-violette sur les potentiels explosifs statique et dynamique nous amène naturellement à attribuer cette divergence des résultats à l'absence ou la présence de ces radiations.

Nous allons montrer : 1° que, dans les expériences de M. Jaumann, l'excitateur I se décharge ou ne se décharge pas suivant que les pôles de l'excitateur I sont éclairés ou non par des radiations ultra-violettes ; 2° que, dans toutes les expériences où l'on

observe la décharge de l'excitateur I, par suite de la décharge partielle de C dans γ , on peut trouver une source de radiations ultra-violettes électriquement actives, éclairant les pôles de l'excitateur I.

b. *Excitateur I éclairé par les radiations ultra-violettes.*

On entoure l'excitateur d'écrans opaques pour les radiations ultra-violettes, comme dans les expériences précédentes. On place une lanterne de Duboscq en face de l'excitateur I et à 60 cm environ. L'écran antérieur de l'excitateur présente une fente de 1 cm de large et quelques centimètres de long; cette fente est disposée de façon que la lumière d'une lampe à arc placée dans la lanterne puisse éclairer les pôles de l'excitateur I.

I_1, I_2 , sphères en platine de 1 cm de diamètre.

E_1, E_2 , sphères en laiton de 1,6 cm de diamètre.

C_1, C_2 , une jarre de capacité 0,005 microfarad.

$\gamma_1 \gamma_2$ condensateur plan de capacité 0,00005 microfarad.

1° *Excitateur non éclairé.* — Lampe à arc traversée par aucun courant.

Potentiel explosif statique de l'excitateur non éclairé $\mathcal{V}_n = 62,00$.

Abaissement dynamique apparent = 0.

2° *Excitateur éclairé.* — La lampe à arc est traversée par un courant de 13 ampères; on concentre la lumière de l'arc sur les pôles de l'excitateur I par un condensateur en quartz placé sur la lanterne.

Potentiel explosif statique de l'excitateur éclairé $\mathcal{V}_e = 60,7$.

Potentiel Φ_e de l'excitateur éclairé $\Phi_e = 54,5$.

Abaissement statique $\mathcal{V}_n - \mathcal{V}_e = 1,3$.

Abaissement dynamique de l'excitateur éclairé $\mathcal{V}_e - \Phi_e = 6,2$.

Donc, *l'abaissement dynamique est notablement supérieur à l'abaissement statique.*

Les abaissements statique et dynamique

redeviennent nuls si, entre la lanterne et l'excitateur I, sur le trajet des rayons, on interpose une plaque d'une substance opaque pour les rayons ultra-violettes: verre, bois, métal, etc. L'interposition d'une lame de quartz ne supprime pas l'abaissement dynamique; en dispersant la lumière de l'arc par un prisme de quartz, on constate que *ce sont les rayons ultra-violettes qui déterminent l'abaissement des potentiels explosifs dynamiques.*

Ces démonstrations ont d'ailleurs été faites par Hertz sur les potentiels dynamiques.

Pour abaisser le potentiel explosif d'un excitateur I, il faut éclairer l'un des pôles de l'excitateur, *l'éclairage du champ intermédiaire ne produit aucun effet.*

Lorsque l'excitateur est formé de sphères d'un diamètre inférieur à une certaine limite (5 mm), le pôle négatif seul est sensible; l'éclairage du pôle positif ne provoque pas l'abaissement du potentiel explosif.

Lorsque l'excitateur est formé de sphères de diamètre supérieur à une certaine limite (5 mm environ), les deux pôles sont sensibles⁽¹⁾; l'abaissement provoqué par l'éclairage du pôle positif va en croissant avec le diamètre du pôle. Un excitateur formé par des sphères de 2 cm de diamètre a les deux pôles également sensibles; si les pôles ont 1 cm de diamètre, le pôle positif est moins sensible que le pôle négatif; si les pôles ont 5 mm de diamètre, le pôle positif est insensible.

Si les deux pôles sont sensibles, on obtient le même abaissement en éclairant simultanément les deux ou en éclairant uniquement le pôle le plus sensible.

La démonstration de la deuxième partie de la proposition résulte d'une série de constatations analogues à la suivante.

Reprenons l'excitateur I entouré d'écrans cachant plus ou moins complètement la vue de l'excitateur I d'un point quelconque de l'appareil de décharge (condensateurs, excitateurs, fils de communication, électromètre,

(¹) Pour les pôles de 4 ou 5 cm de diamètre, le pôle positif serait seul sensible. (Sella et Majorana, *loc. cit.*)

etc.). Supposons, par exemple, que l'écran postérieur placé entre E et I soit percé d'une fente.

I_1, I_2 , sphères de 1 cm de diamètre en fer, poli à l'émeri.

E_1, E_2 , sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton.

C_1, C_2 , deux jarres de capacité totale 0,01 microfarad.

γ_1, γ_2 condensateur plan de capacité 0,0002 microfarad.

L'excitateur I ne semble éclairé par aucune source de radiations ultra-violettes, mais l'étincelle secondaire qui éclate en E est à 50 cm environ de I et des pôles de l'excitateur I on voit l'étincelle E à travers la fente de l'écran postérieur.

Potentiel explosif statique $\mathcal{P} = 72,5$.

Potentiel $\Phi = 61$.

Abaissement dynamique apparent 11,5.

On supprime entièrement cet abaissement en plaçant un écran opaque pour les radiations ultra-violettes entre l'étincelle secondaire et l'excitateur I. Cet écran peut avoir des dimensions quelconques pourvu qu'il intercepte le faisceau lumineux émis par l'étincelle secondaire éclairant les pôles I.

En déplaçant légèrement l'écran postérieur percé d'une fente on voit que l'éclairement du champ intermédiaire ne provoque pas d'abaissement du potentiel explosif. Quand les pôles ont un diamètre inférieur à 5 mm il faut éclairer la surface polaire négative ; si le diamètre des pôles est supérieur à 5 mm, il suffit d'éclairer un pôle quelconque.

Lorsque le potentiel explosif statique de I croit au delà d'une certaine limite, de nouvelles perturbations apparaissent : 1° les supports en verre desséché par l'acide sulfurique du cylindre extérieur de l'électromètre de MM. Bichat et Blondlot peuvent se recouvrir d'un effluve brillante ; 2° entre les conducteurs chargés à un potentiel élevé et les écrans placés autour de I peuvent jaillir des effluves ou des aigrettes, si ces écrans sont en papier ou en substance faiblement isolante ; 3° le condensateur γ , au moment de sa charge

brusque par l'étincelle secondaire, peut émettre des effluves entre les deux armatures contournant le rebord isolant qui dépasse les deux armatures ou encore entre l'armature isolée et le bâti en bois suivant les conditions atmosphériques. Si l'on a négligé de prendre les précautions suffisantes pour écarter l'action de toutes ces effluves sur l'excitateur I, quoique l'excitateur I ne soit pas éclairé en apparence par aucune lumière ultra-violette, on constate néanmoins un abaissement apparent qui peut atteindre $\frac{1}{50}$ et plus du potentiel explosif statique.

Observation. — A la fin d'une note aux comptes rendus ⁽¹⁾ qui résume les résultats de ce chapitre, j'ai signalé, dans un renvoi, les perturbations dont il vient d'être question, sans les déterminer, en remarquant qu'elles se présentent surtout quand la charge est irrégulière, c'est-à-dire quand l'isolation n'est plus suffisante et que les effluves éclatent facilement à la surface des isolants.

D'ailleurs, il aurait été impossible de faire rentrer dans une loi des abaissements accidentels, même en supposant que les causes des perturbations fussent restées inconnues.

Conclusion. — *Le potentiel explosif d'un excitateur I placé à l'abri des radiations électriquement actives (ultra-violettes, etc.), n'est pas diminué d'une façon appréciable par des variations rapides du potentiel.*

Historique. — M. Jaumann avait trouvé qu'en provoquant des variations rapides du potentiel on diminue le potentiel explosif ⁽²⁾. Les expériences dont il tirait cette conclusion se divisent en deux groupes. Dans les unes, la présence de la lumière ultra-violette est évidente ; il transforme une décharge par effluve en une décharge par étincelle ou par aigrette. Le type de ces expériences est représenté par la figure 21 dont on supprime-

⁽¹⁾ *Comptes rendus*, 22 juillet 1895.

⁽²⁾ *Sitz. Ber. der. Akad. der. Wiss. zu Wien*, juillet 1888, p. 765.

rait l'électromètre et dans laquelle on remplacerait l'excitateur à boules I par un excitateur formé par un fil tendu parallèlement à une plaque en communication avec le sol; une effluve brillante s'échappe du fil, la machine électrostatique maintient le potentiel constant; l'effluve se convertit en une étincelle quand on fait éclater l'étincelle en E.

Le type des expériences du deuxième genre est représenté par la figure 23. AB est un

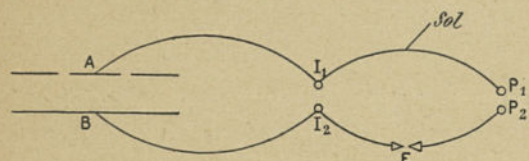


Fig. 23.

électromètre à anneau de garde, $I_1 I_2$ un excitateur à boules de 1 cm de diamètre, $P_1 P_2$ les pôles d'une machine électrostatique, E un excitateur à pointes; on réunit métalliquement et au sol $A I_1 P_1$; on fait communiquer $B I_2$ et on réunit $P_2 I_2$ par l'intermédiaire de E; on fait tourner la machine avec assez de rapidité et de régularité pour que l'indication de l'électromètre reste sensiblement constante.

On constate que, pour une même distance explosive de $I_1 I_2$, le potentiel indiqué par l'électromètre est d'autant plus petit que l'étincelle E est plus longue, c'est-à-dire que les variations du potentiel sont plus rapides. On serait donc tenté de conclure avec M. Jaumann, que le potentiel explosif de $I_1 I_2$ diminue sous l'action des variations rapides du potentiel. Cette interprétation serait exacte si le potentiel indiqué par l'électromètre était une fraction constante du potentiel explosif quelle que soit la distance des pointes E. Cette hypothèse est inexacte; on peut rendre compte des faits en admettant que le potentiel explosif de I ne dépend pas des variations plus ou moins rapides du potentiel. Nous ne développerons pas complètement ce point qui a été exposé ailleurs ⁽¹⁾.

⁽¹⁾ L'Éclairage Électrique, 27 mars 1897.

Remarquons seulement que l'électromètre indique le carré moyen du potentiel. Ce carré moyen sera sensiblement nul si la distance explosive en E est suffisante pour qu'on puisse charger l'électromètre au potentiel explosif de I avec une seule étincelle en E, car l'électromètre se charge et se décharge dans la durée d'une étincelle. Le carré moyen tend vers la valeur qu'il prend pour une distance des pointes E nulle, quand la distance des pointes tend vers zéro. Le potentiel indiqué par l'électromètre est d'autant plus petit que la longueur de l'étincelle secondaire est plus grande, ce qui est le résultat expérimental.

La loi de M. Jaumann doit être limitée au cas où l'excitateur est éclairé par la lumière ultra-violette ou d'autres radiations électriquement actives. Elle peut se formuler sous cette forme, en apparence paradoxale, que pour décharger un excitateur éclairé par les radiations ultra-violettes et chargé à un potentiel voisin du potentiel explosif statique, il suffit de diminuer brusquement son potentiel. Cette proposition explique, comme l'a remarqué M. Jaumann, un certain nombre d'expériences inexplicables jusque-là, en particulier une expérience intéressante de Hertz ⁽¹⁾.

Excitateur H non éclairé par les radiations ultra-violettes.

Les expériences avec cet excitateur se font avec la disposition décrite page 30; on ajoute simplement l'excitateur H dont on joint les pôles aux armatures du condensateur γ par des fils de cuivre de 30 à 40 cm de long. Les pôles de H sont vissés sur isolant et munis d'écrans en paraffine.

Expérience. — I_1, I_2 , sphères de 1,67 cm de diamètre, en laiton et polies;

E_1, E_2 , sphères de 2 cm de diamètre, en laiton;

⁽¹⁾ *Ausbreitung der electrischen Kraft.* A. Barth, Leipzig, 1892, p. 288.

H_1, H_2 , sphères de 1,65 cm de diamètre, en laiton et polies;

C_2, C_3 , jarre de capacité 0,005 microfarad;

γ_1, γ_2 , condensateur plan, de capacité 0,0002 microfarad;

Si la distance explosive de $H = 5$ mm l'expérience montre que pour y provoquer la décharge, il faut faire éclater l'étincelle en E quand le potentiel de I est égal ou supérieur à 55,18 unités électrostatiques C. G. S.

Le potentiel final d'équilibre entre les pôles H immédiatement après la décharge partielle (page 29) est 52,9, le potentiel explosif statique de H observé à l'électromètre est 53,01; donc, si on admet l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique de l'excitateur H, d'après les considérations de la page 30, *la décharge partielle est continue*, ou si elle est oscillatoire, les oscillations ont une très faible amplitude (¹).

§ III. EGALITÉ DES POTENTIELS EXPLOSIFS STATIQUE ET DYNAMIQUE

Les expériences faites avec le dispositif de M. Jaumann nous ont montré que : *pour un excitateur dont les pôles sont polis et placés à l'abri de toute lumière ultra-violette, le potentiel explosif n'est pas inférieur au potentiel explosif statique d'une quantité appréciable.*

Si le potentiel explosif dynamique est réellement inférieur au potentiel explosif statique, la différence est donc trop petite pour qu'on puisse la constater; au point de vue expérimental, on pourra admettre l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique.

Mais, si le potentiel explosif dynamique n'est pas inférieur d'une quantité appréciable au potentiel explosif statique, rien ne prouve qu'il ne lui soit point supérieur. Aucune de ces expériences ne démontre l'égalité des

deux potentiels explosifs d'une manière absolue. Nous essaierons de la justifier par plusieurs raisons.

En pratique, on se sert surtout de la méthode des étincelles pour mesurer le potentiel maximum auquel une décharge peut amener les pôles d'un excitateur; nous nous attacherons surtout à la démonstration de cette égalité dans ce dernier cas.

1° L'expérience montre que le potentiel explosif statique V_a qui correspond à la distance critique d d'un excitateur dérivé non éclairé dans nos expériences (page 23) est environ les $\frac{8}{9}$ du potentiel explosif statique de l'excitateur principal V_1 .

Si le potentiel explosif dynamique pour la distance critique V'_a est supérieur au potentiel explosif statique V_a , il est d'autre part inférieur ou égal au *potentiel maximum* de la décharge, lequel est toujours inférieur au potentiel explosif de l'excitateur principal V_1 (page 5); donc :

Le potentiel explosif dynamique, pour la distance critique, surpasse le potentiel explosif statique d'une quantité inférieure à $\frac{1}{9}$ de l'un d'eux (environ).

Les considérations suivantes conduisent à admettre que le potentiel explosif de l'étincelle critique est égal au *potentiel maximum* et au potentiel explosif statique;

2° En effet, *au voisinage du potentiel maximum d'une décharge*, la vitesse de variation du potentiel tendait vers zéro, *la charge dynamique tend vers la charge statique.*

Cette proposition est appuyée par l'expérience. On a vu en effet (page 20) que lorsque l'étincelle éclate à l'excitateur dérivé éclairé, pour le potentiel correspondant à la distance critique de l'excitateur non éclairé, cette distance s'allonge comme une distance explosive statique.

Donc, à la distance critique d'un excitateur non éclairé, *le potentiel dynamique se comporte comme un potentiel statique vis-à-vis de la lumière ultra-violette;*

(¹) Je reviendrai prochainement sur cette expérience à propos de la question du retard de décharge soulevé par M. Jaumann. *Wied. Ann.*, 1895, et par M. Warburg. (*Wied. Ann.*, t. LIX, p. 117.)

3° Nous avons vu qu'un changement de forme des pôles et, par suite de distribution de l'électricité, influe de la même façon sur les potentiels explosifs statique et dynamique. Ceci nous amène à penser que la distribution de l'électricité est une distribution d'équilibre, dans nos expériences. Cette idée se retrouve d'ailleurs sous une autre forme dans cette proposition, démontrée page 9, que l'on peut considérer le potentiel comme étant à chaque instant le même en tous les points des fils de quelques décimètres de long, sans self-induction, qui conduisent la décharge aux pôles des excitateurs dérivés. Le potentiel satisfait par conséquent à la condition fondamentale de l'équilibre électrique.

4° On est donc conduit à poser en principe que les potentiels explosifs dynamiques différent des potentiels explosifs statiques, non par un changement de distribution, mais par une différence dans la vitesse de charge ou, plus exactement, la vitesse de variation du potentiel, $\frac{dV}{dt}$, de l'excitateur.

Dire que le *potentiel explosif dynamique est supérieur au potentiel explosif statique* revient, dès lors, à énoncer la proposition suivante :

Quand un excitateur se décharge au potentiel V lorsque $\frac{dV}{dt} = 0$, il ne se décharge pas si $\frac{dV}{dt} > 0$.

Je dis que, dans ces conditions, la méthode des étincelles est encore légitime. Soient D et D' les distances explosives statique et dynamique d'un potentiel égal au potentiel maximum V_m d'une décharge, d et d' les distances statique et dynamique d'un potentiel $v < V_m$.

La proposition précédente donne :

$$\begin{aligned} D &= D' \\ d' &< d. \end{aligned} \quad (1)$$

La proposition générale des potentiels explosifs statiques donne :

$$d < D$$

par suite,

$$d' < D'. \quad (2)$$

Il n'existe pas de potentiel $v < V_m$ dont la distance explosive dynamique d' soit égale ou supérieure à la distance explosive D' du potentiel maximum ; donc D' est la distance critique de la décharge.

Donc, à la distance critique, l'étincelle éclate pour le potentiel maximum et, d'après (1) le potentiel maximum est égal au potentiel explosif statique correspondant, ce qui démontre la proposition.

CONCLUSIONS PRINCIPALES

En résumé, la fréquence des étincelles, l'état de poli des pôles, la lumière ultra-violette, les rayons X exercent une action différente sur les potentiels explosifs statique et dynamique, ce qui justifie la distinction que nous avons faite entre ces deux potentiels.

Dans le procédé habituellement suivi pour déterminer une distance critique, le potentiel explosif dynamique est, en général, différent du potentiel explosif statique. Suivant les hasards de l'expérience, il lui est égal, inférieur ou supérieur et la différence peut atteindre une fraction notable du potentiel explosif. En opérant avec les précautions indiquées, la distance critique se détermine avec précision, la décharge par étincelle apparaît plus régulière qu'on n'aurait pu le supposer ; l'hypothèse de l'égalité des potentiels explosifs statique et dynamique que suppose la méthode des étincelles est justifiée par l'expérience.

SECONDE THÈSE

PROPOSITIONS DONNÉES PAR LA FACULTÉ

Action de la lumière sur les combinaisons.

Vu et approuvé :

Paris, le 13 février 1897

LE DOYEN DE LA FACULTÉ DES SCIENCES,
G. DARBOUX

Vu et permis d'imprimer :

Paris, le 13 février 1897

LE VICE-RECTEUR DE L'ACADÉMIE DE PARIS,
GRÉARD

ÉVREUX, IMPRIMERIE DE CHARLES HÉRISSEY