

Title	Division des Liquides en Particules dans le Champ Electro-statique
Sub Title	
Author	森, 元吉(Mori, Motokichi) 佐藤, 豪(Sato, Takeshi) 天野, 弘(Amano, Hiroshi) 渡辺, 彰(Watanabe, Akira) 藤森, 正敏(Fujimori, Masatoshi)
Publisher	慶應義塾大学藤原記念工学部
Publication year	1963
Jtitle	Proceedings of the Fujihara Memorial Faculty of Engineering Keio University (慶應義塾大学藤原記念工学部研究報告). Vol.16, No.63 (1963.) ,p.67(1)- 78(12)
JaLC DOI	
Abstract	<p>The atomization of liquid was already mentioned by Abbe Nollet in 1750 in his study on electro-statics. To-day the industry of painting has great concern to this phenomenon, because it became a very important problem to know how the paint is disintegrated in the electro-static field.</p> <p>We studied it by means of high speed cinematograph to find the causes by which the paint is disintegrated, and we found following two phenomena-One is the snaky motion of the liquid string flowing down into the air, and the other is the sudden breaking down of the liquid into particles after the snaky motion.</p> <p>In order to analyse these phenomena, we used the experimental results on the motion of a pendulum which swings in the electro-static field.</p> <p>Passing through these processes, the mechanisms of snaky motion and disintegration of liquid can be explained.</p>
Notes	
Genre	Departmental Bulletin Paper
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO50001004-00160063-0001

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the Keio Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

Division des Liquides en Particules dans le Champ Electro-statique

(Received December 9, 1964)

Motokichi MORI*
Takeshi SATO**
Hiroshi AMANO***
Akira WATANABE****
et Masatoshi FUJIMORI*****

Abstract

The atomization of liquid was already mentioned by Abbe Nollet in 1750 in his study on electro-statics. To-day the industry of painting has great concern to this phenomenon, because it became a very important problem to know how the paint is disintegrated in the electro-static field.

We studied it by means of high speed cinematograph to find the causes by which the paint is disintegrated, and we found following two phenomena—One is the snaky motion of the liquid string flowing down into the air, and the other is the sudden breaking down of the liquid into particles after the snaky motion.

In order to analyse these phenomena, we used the experimental results on the motion of a pendulum which swings in the electro-static field.

Passing through these processes, the mechanisms of snaky motion and disintegration of liquid can be explained.

I. Introduction

A l'état que le liquide tomber librement dans l'air de l'orifice de fin tuyau metalique, si on l'impose une certain tension continue telle haute qu'il y aura lieu l'ionisation près de l'orifice qui se trouve aussi une électrode, alors le liquide se cessera tout à l'heure à tomber en formant des gouttes et il divisera dans l'air

-
- *森 元 吉 Professeur Docteur à la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université KEIO.
**佐 藤 豪 Professeur à la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université KEIO.
***天 野 弘 Professeur adjoint à la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université KEIO.
****渡 辺 彰 Lecteur à la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université KEIO.
*****藤 森 正 敏 Assistant à la Faculté des Sciences de l'Ingénieur de l'Université KEIO.

avec l'étendu conique. Les particules de liquide pulvérisées arrivent à la terre comme au moyen de pluie fine.

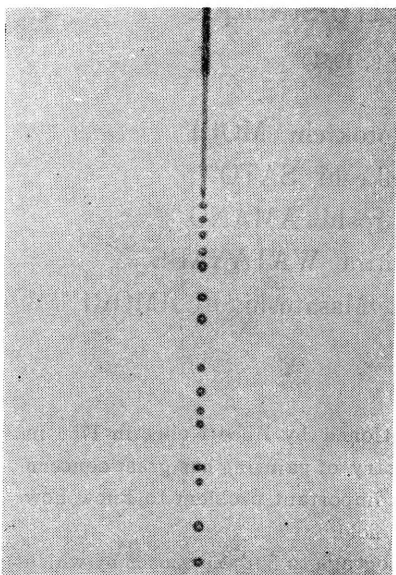


Fig. 1. Les gouttes tombent librement sans la tension appliquée.

Dans le Fig. 1, on voit des gouttes à tomber librement sans tension appliquée. Fig. 2 se trouve la circonstance qu'il y a lieu la division de liquide en particules avec l'apparition de l'ionisation près de l'orifice. Ce qu'on s'a employé est le resin de Melamin.

Ce phénomène de cette désintégration de liquide dans l'air avait été déjà découvert par Abbe Nollet en 1750 et aussi il avait été en 18 siècle. Mais depuis cela, cette recherche n'avait pas été évoluée et il nous semblait plutôt qu'elle était laissé oublier parfaitement de tout le monde. En accompagnant la peinture électro-statique, qu'il paraîtait dernièrement, il est prosé devant nous les questions difficilees sur les brevets et aussi sur les techniques relatif à la pulvérisation de peinture dans le champ électro-statique, notamment l'argumentation se passait concernant quel mécanisme sera établi

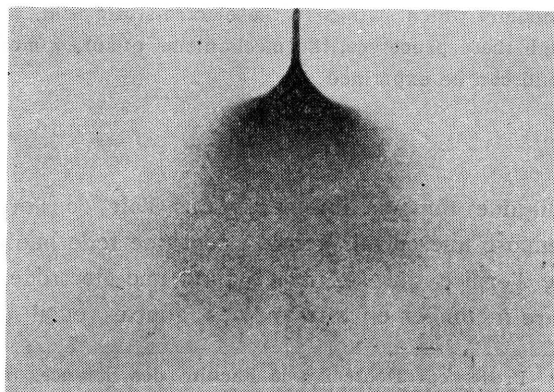


Fig. 2. Le démembrement de liquide commence de l'orifice avec l'application de la tension.

dans le champ électro-statique pour diviser le liquide en particules. Il n'y a personne de moins de penser que la pulvérisation de liquide soit découverte en ce jour. Pour la question avec-quel mécanisme il y aura lieu la désintégration de liquide dans le champ électro-statique, l'auteurs ont essais d'analyser des resultats d'expériences pour expliquer les observations sur des photogrammes.

II. Division de liquide

En le cas qu'on fait jaillir l'eau distillée de l'orifice de fin tuyau, le liquide divisera après avoir étendu jusqu'à un certain longueur en tenant une colonnette sans former des gouttes à l'orifice. Ce depend de la vitesse que le liquide s'écoule dans le tuyau, c'est-à-dire du nombre de Reynolds. C'est pourquoi le liquide ne peut pas encore tenir à la colonnette à cause de l'air turbulent qui se passe près de la colonnette. On exprime cette circonstance dans le Fig. 3. Fig. 3 indique les relations entre les vitesses à s'écouler de liquide et les longueurs de colonnette à se tenir. Si la vitesse de liquide s'accroît, la colonnette augmente son longueur, mais quand la vitesse atteint à 6 m/sec qui correspond au longueur de colonnette de 70 mm, on verra que ce ne fait plus long, car c'est corespondu à la point de maximum et suivant cela, la colonnette se reduit son longueur pour la vitesse accroissant.

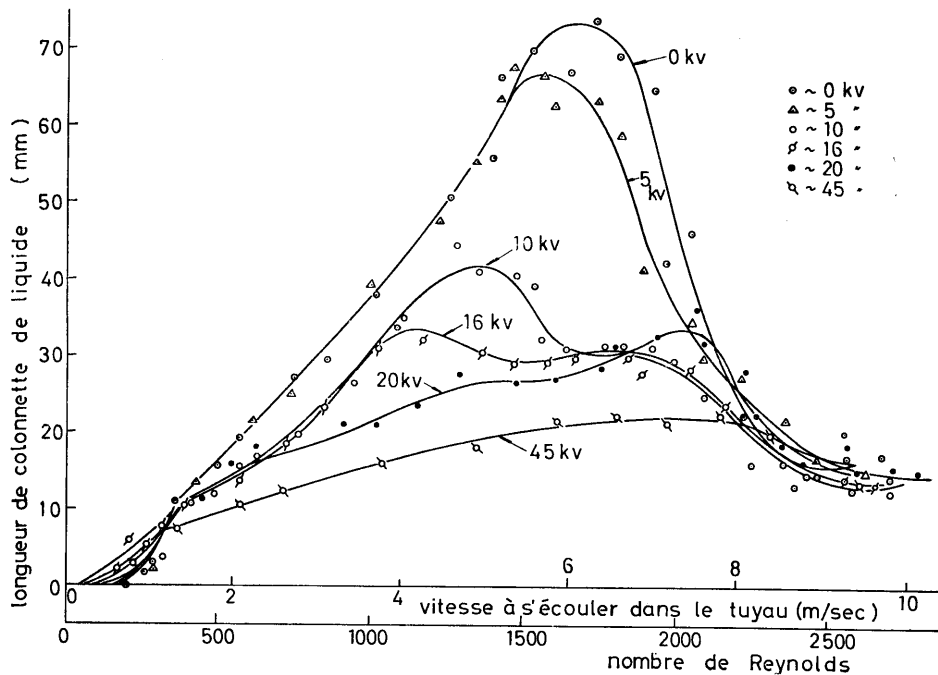


Fig. 3. Relations entre les vitesses à s'écouler dans le tuyau et les longueurs de colonnette de liquide.

Alors, si on en applique une tension continue au haute, la colonnette se reduisera de nouveau à cause de la pulvérisation de liquide dans le champ électro-statique, par exemple, si on en impose la tension negative de 10 kV, on verra qu'il y a 40 mm de colonnette correspondant la vitesse de 5 m/sec. Les points de maximum se transmettent à gauche dans chaque courbe, lorsqu'on accroît la tension appliquée.

Il y a des facteurs physiques essentiels qui agissent sur la peinture électro-statique. Puisqu'il y a deux importants facteurs à choisir pour la peinture ;— la division et

la précipitation pour la peinture, il est nécessaire que les particules prennent une charge aussi grande que possible. On dit qu'il est désirable que la peinture possède la constance diélectrique plus haute et d'autre part, l'expérience indique qu'il est nécessaire d'utiliser de peinture de resistivité limitée.

Dans notre expérimentation, on trouve le fait qu'il y a un group de liquide qui sont difficile à diviser et en contraire, l'autre group qui sont facile à diviser. Dans Table 1, on montre les noms de liquide utilise et leurs propriétés;— les constances diélectriques, les moments de dipôle, les tensions superficielles et les viscosités qu'on a pris de la table physique pour comparer l'un l'autre. On peut dessiner à la table une ligne entre toluène et carbonate diéthylique, pourquoi, pour ceux qui sont situés dessus de cette ligne, ce sont difficile à diviser et en contraire, pour ceux dessous de cette ligne, ce sont facile à diviser. On peut apprendre que ceux que ce sont difficile à diviser ont généralement les petites constances diélectriques et ceux facile ont généralement les plus grandes constances diélectriques.

Table 1.

Sorte d'échantillon	Constante diélectrique	Tension superficielle dyne/cm	Moment de dipôle	Coefficient de viscosité 20°C C. P	Charge électrique Tension électrique coulomb/10 ⁻³ cc/kV <D. C 5kV
n-pentane	1.844	16.63	0	0.237	1.6 × 10 ⁻¹⁵
n-hexane	1.890	18.94	0.08	0.326	4.0 × 10 ⁻¹⁶
n-heptane	1.924	20.85	0	0.43	4.0 × 10 ⁻¹⁶
cyclohexane	2.023	25.64	0		
tetrachlorure de carbone	2.238	26.75	0	0.97	
p-cymène	2.243		0	0.75	5.0 × 10 ⁻¹⁶
benzène	2.284	28.9	0	0.65	3.0 × 10 ⁻¹⁶
m-xylène	2.374	23.8	0.37	0.62	
toluène	2.379	28.53	0.39	0.63	1.4 × 10 ⁻¹⁵
carbonate diéthylique	2.82	26.44		0.87	6.5 × 10 ⁻¹⁴
trichlene	3.42	29.5	0.9	0.57	4.5 × 10 ⁻¹⁴
anisol	4.33	36.18		1.15	7.4 × 10 ⁻¹⁴
acétate amylique	4.75	25.8	1.91	0.92	6.0 × 10 ⁻¹⁴
acétate butylique	5.01	25.2	1.84	0.73	7.5 × 10 ⁻¹⁴
acétate ethylique	6.02	23.8	1.81	0.47	
dichlorométhane	9.08		1.55	0.45	8.0 × 10 ⁻¹⁴
acétone	20.7	23.3	2.7	0.34	6.0 × 10 ⁻¹⁴
éthanol	24.3	22.3	1.68	1.08	7.0 × 10 ⁻¹⁴
méthanol	32.6	22.5	1.66	0.79	5.6 × 10 ⁻¹⁴
eau distillée	80.37	72.8	1.85	1.00	
formamide	109.5	58.4	3.37	3.76	4.7 × 10 ⁻¹⁴

La constance diélectrique et la resistivité sont pratiquement associés, c'est-à-dire, la resistivité est généralement basse, lorsque la constance diélectrique est important. Pour ceux que les resistivités sont supérieure à la valeur $5 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$, la division de la peinture est inconvenant et pour ceux que les resistivités sont moins bas que le valeur de $10^6 \Omega \cdot \text{cm}$, il ne semble pas être convenable. Alors les peintures pour application électro-statique auront le limit de resistivité suivant ; — $10^6 < \rho < 5 \times 10^7 \Omega \cdot \text{cm}$. La division des particules de peinture, sous l'action de champ électro-statique, se poursuit l'apparition d'un équilibre avec les forces de tension superficielle qui s'opposent à l'éclatement. Il est acceptable $28 \sim 33$ dyne/cm, 20°C . La viscosité ne concerne pas trop à la division des particules. On y trouve la question d'inflammation comme la troisième problème, mais ce n'est pas dependu directement à cet article.

III. L'observation au moyen du cinematograph à haute vitesse

On employait une résin de Melamin comme une peinture et on l'a fait diviser en imposant 60 kV de la tension continue negative à l'orifice qu'on l'employait aussi une électrode. Nous Photographions le mouvement de liquide en division dans le domain de $3 \sim 4$ cm dessus de l'électrode pour la direction latérale au moyen de cinematograph à l'haute vitesse dont son pas a 10,000 pièces/second. Fig. 4, Fig. 5 et Fig. 6, ils sont les photogrammes qu'on a pris choisir en interval de 2 millisecond.

Dans chaque photogramme où le liquide descend directement de l'orifice, on peut distinguer du fait que le liquide tient la ligne directe en comprenant l'agitation plus au moins allées à droite et à gauche. Cettes agitations se font les mouvements à serpenter après que l'amplitudes allées à droite et à gauche ont été augmenté lorsque la ligne de liquide est descendu. Quand les parts à serpenter se sont prolongées jusqu'à certaine longueur à mesure latérale, on verra qu'elle sera déchirée en pièces et descendra changeant en pleine fines gouttes comme la bruine. Ce sont des veritables faits que le liquide dirigé d'orifice se forme une seule ligne et que le mouvement à serpenter possède en général la direction radiale sans aller simplement à droite et à gauche. Alors, on peut regarder généralement avoir telle étendue que cette désintégration occupe l'espace conique. Si la pulvérisation électrique a lieu par cette procession, en le cas, pour savoir le mécanisme de désintégration, les deux importants questions seront proposées comme suivant :—

- (1) Par quel mécanisme, la ligne de liquide, agit-elle comme serpentement ?
- (2) Après que la ligne de liquide s'est tirée à la direction latérale jusqu'à certain limite, par quelle cause, est-elle rompu en pièces un instant ?

VI. Le mouvement pendulaire dans le champ électro-statique

On suspend dans l'espace une pièce de fil de conducteur qui a 40 cm de longueur et 0.03 mm de diamètre, tenant un poids au bout de fil pour le faire être extensive possible. Si on l'impose une certaine tension continue plus haute qu'il y paraît

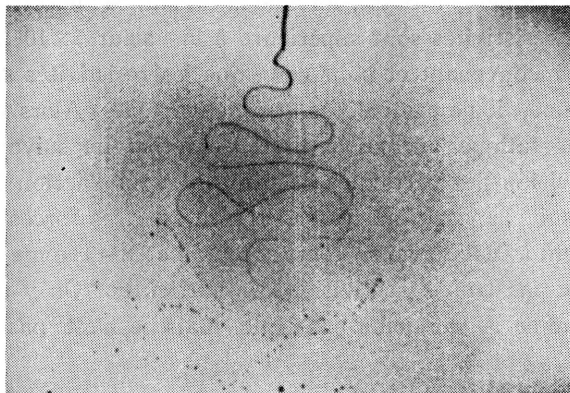


Fig. 4.

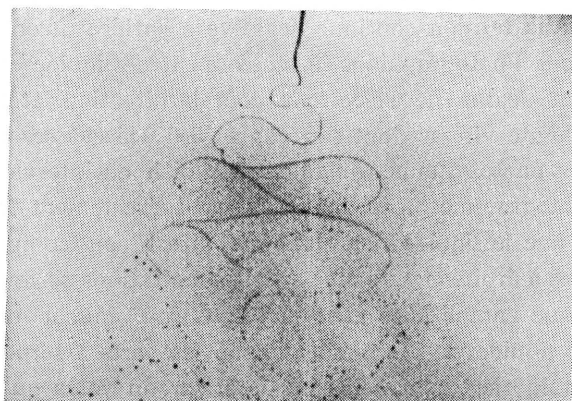


Fig. 5.

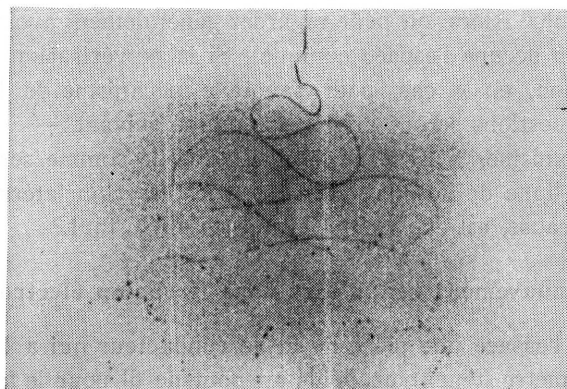


Fig. 6.

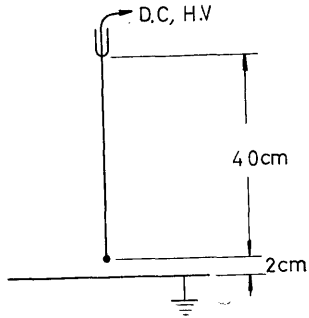


Fig. 7. L'appareil de pendule dans le champ électro-statique.

l'ionisation près du fil, on verra qu'il y se met graduellement à mouvoir avec l'oscillation vers droite et gauche et ce mouvement tient en permanence à la certaine amplitude après avoir graduellement augmenté son agitation. Alors elle se comporte ainsi qu'elle soit une pendule gravitationnelle en tenant une vibration perpétuer, lorsqu'on l'applique une certaine tension électrique et fait ioniser l'air dans l'espace près du fil.

Fig. 8 montre la relation entre les tensions appliquées et les amplitudes d'oscillation. L'amplitude se croît avec l'augmentation de tension et elle atteint à se saturer. En général, il est bien entendu de la Fig. 8, qu'à la tension negative, il agit mieux

qu'à la tension positive. Fig. 9 est le cas où on a fait varier la distance l entre le bout du fil vertical et la plaque mis à la terre et on a pris la relation entre la distance et l'amplitude d'oscillation, et aussi entre la distance et le courant d'ionisation.

Suivant que la distance l se croît, l'amplitude d'oscillation et aussi le courant d'ionisation vont bases avec la même façon. D'après ce fait, on pourra estimer que l'amplitude et le courant se rapportent bien l'un l'autre. Fig. 10 est le cas où on fait d'abord seulement vibrer ce pendule en tenant son amplitude à 25 cm et l'a laissé librement. On a mesuré la transition d'amplitude au cours d'atténuer librement à zero et aussi on a pris les transitions d'amplitude qui sont arrivés aux

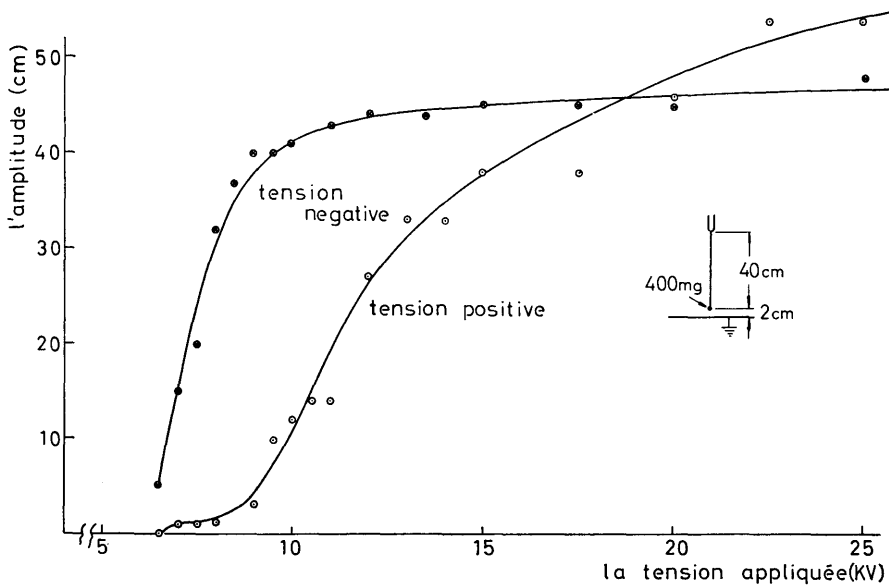


Fig. 8. Relation entre l'amplitude et la tension appliquée.

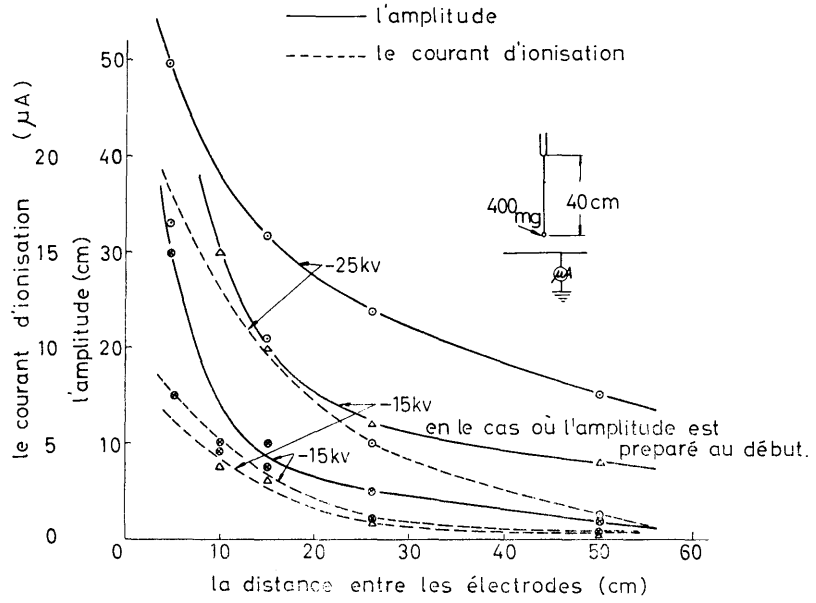


Fig. 9. Rapports de l'amplitude et le courant d'ionisation au changement de la distance entre les électrodes.

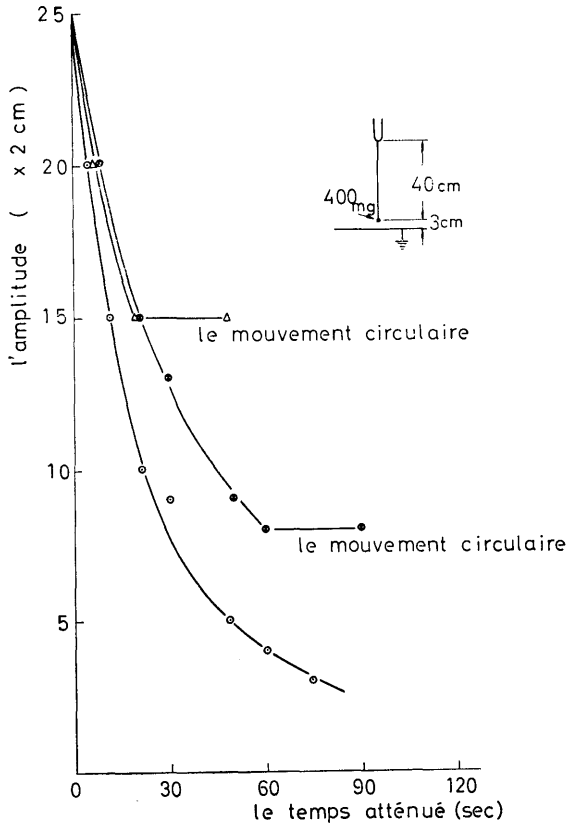


Fig. 10. Relation entre l'amplitude et le temps atténué en le cas où l'amplitude est préparé au début.

constants valeurs en le cas qu'on a appliqué une certaine tension negative. On peut discriminer la différence entre chaque cas dans le Fig. 10 et on peut conclure que la tension contribue à ce mouvement. Et aussi nous concluons que le mouvement de pendule depend beaucoup de la tension à causer de l'ionisation qui éjecte des ions dans l'espace. Autant que le mouvement de fil est grâce à l'apparition de l'ionisation, il est important d'expliquer à quel mécanisme le fil de conducteur fait-il agir, et pour cette question, nous avons préparés le Fig. 11 et Fig. 12.

Fig. 11 montre la distribution de potentiel dans le champ électro-statique où on a pris le potentiel de fil vertical avec le numero 10 et le potentiel de plaque mis à la terre, avec le numero 0. Le champ près du fil 10 est symétrique aux deux côtes; droite et gauche et il se générera les ions à partir de la point du bout du fil, lorsqu'il y a le gradient potentiel plus intensif en dépassant un certain limit. S'il y a quelque place à éjecter des ions vers une direction dans l'espace, il est possible d'estimer qu'il y se produirra une force reactionnel qui le mouve à la contraire direction, mais il n'y a rien de force, car le champ est symétrique. Si l'on présume qu'il y a quelque cause qui rend faire non-symétrique du champ, pour se produire différent effet à éjecter des ions vers deux côtes, par exemple, la différence très faint sur sa construction, c'est pourquoi, c'est très difficile qu'on fabrique parfaitement être symétrique.

En le cas ainsi, on pourra supposer que le fil de conducteur soit déplacé un peu vers la côte droite, comme on voit dans la Fig. 12. Alors, à Fig. 12, on peut

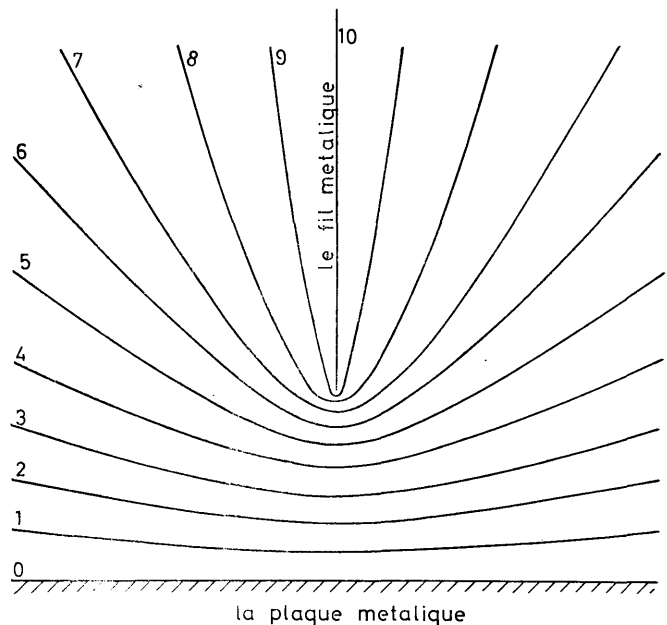


Fig. 11. Le dessein des lignes équipotentielles dans le champ près du fil vertical.

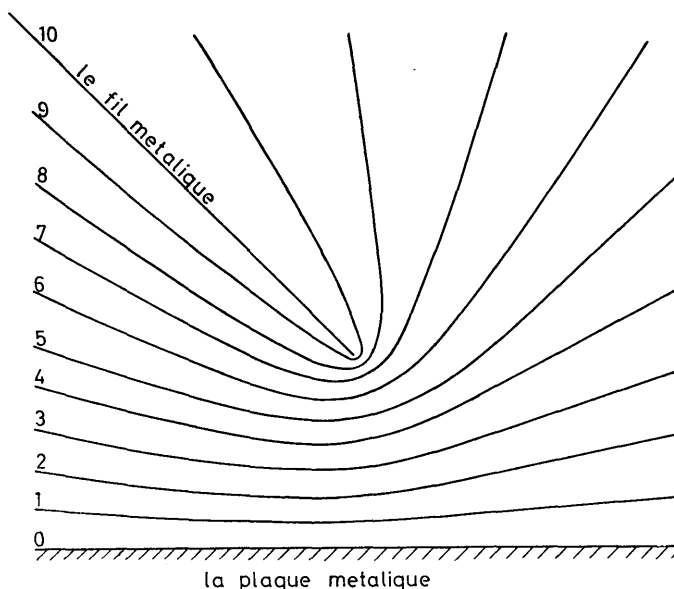


Fig. 12. Le dessin des lignes équipotentielles dans le champ près du fil tenu obliquement.

trouver qu'il y se passera la différence d'intensité du champ pour deux côtes de fil, c'est-à-dire, l'intensité du champ gauche est fait forcer et l'intensité droite est fait diminuer et l'éjection d'ions forcées à gauche rend déplacer le fil à droite. C'est la même façon qu'à quelle côte le fil soit déplacé, c'est pourquoi la force paraîtra de faire déplacer plus intensive vers la même côte. Ce système est du mouvement de pendule gravitationnelle et si le fil s'incline jusqu'à une certaine mesure, il se passera la force gravitationnelle qui le rend revenir et à la fin le fil tiendra à une constant amplitude.

V. Le phénomène auquel la ligne de liquide fait serpenter

Dans l'état à couler librement le liquide de l'orifice de fin tuyau, on trouve que le liquide tombe en formant des gouttes, autant qu'on n'impose pas de tension électrique et aussi le pressage hydraulique. Si on lui impose le tension pour la faire diviser, le liquide se soit allongé à partir de l'orifice en formant ainsi que la ligne de liquide, car la consommation de liquide se croît plus grand par division et le nombre de Reynolds augmente.

Cette ligne de liquide n'est pas égale du fil de conducteur, car elle a la résistivité très haute et la certaine constante diélectrique. Pour les charges adhérentes sur la surface cylindrique de liquide, la ligne a été tiré à quelque direction, s'il n'y a pas de symétrie pour les charges distribuées, par exemple, ainsi qu'on voit à la point (a) dans la Fig. 13 (A).

Si on présume la point (a) tirée vers droite, il se passera générer une point nouvelle (b) qui fait courber de la ligne de liquide. On estime que divers charges seront invit es sur la point pour ensembler à cette point (b). Alors, la point (b) est tiré vers gauche. En suivant cel , la point (c) deviendra la deuxième point courb e et elle sera tir e vers droite après avoir concentr e des charges.

Alors, la ligne de liquide ferra serpenter à cause de se courber l'une l'autre vers deux côtes. Le champ électro-statique est constitué de deux électrodes :— l'aiguille et de la plaque et il se trouve les composants longitudinaux et radiaux avec les intensités de champ électro-statique, car il a un domaine conique dans l'espace. C'est pourquoi les points (a), (b) et (c) sont plus tir es à la direction radiale par l'intensité de composant. Comme cel , le mouvement de la ligne de liquide sera exprim e dans le Fig. 13 (C).

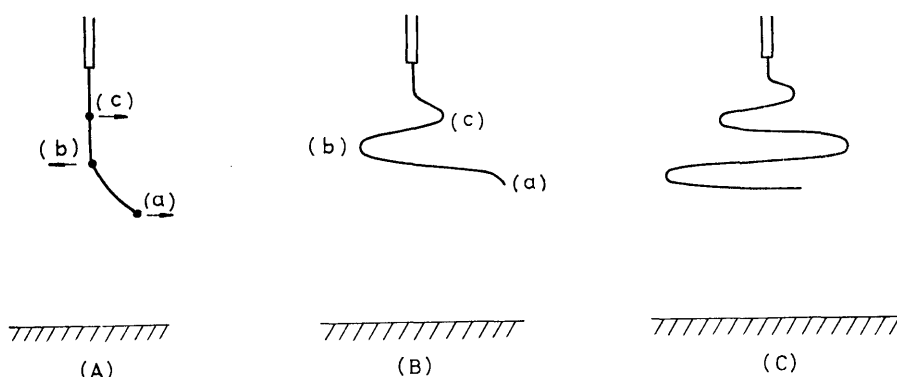


Fig. 13. Les desseins schématiques pour expliquer le mouvement à serpent.

VI. L'éclatement de la ligne de liquide en pièces

La ligne de liquide allong e vers les directions de deux côtes se croit d'avantage avec la force d'extension d'après qu'elle s'approche à la terre, c'est-à-dire, une pièce de ligne avec 0.1 cm de longueur et 0.01 cm de diamètre est étendu jusqu'à 1.5 cm de longueur au cours de tomber jusqu'à 0.5 cm d'orifice.

On suppose que sa force d'extension devient enormment et à la fin quand la force atteint à un certain limit, soudain la ligne éclate en pièces à la fois. A relatif à ce phénomène, nous avons d'abord pris la vue qu'elle est rompu à une seule point au mi ieu de ligne, mais nous prenons maintenant le mécanisme même qu'on

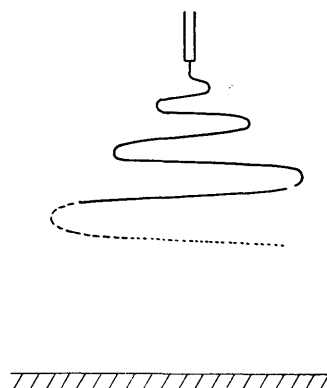


Fig. 14.

peut regarder dans la destruction pour les corps atteints stress enorme, par exemple, la destruction au verre de stress surpassé. Fig. 14 se montre pour expliquer de cette destruction.

VII. Conclusion

Ces qu'on a mentionné jusqu'à present sont le mécanisme à diviser le liquide dans le champ électro-statique, c'est-à-dire, la division se met d'abord à mouver au moyen de serpenter et à la fin la ligne de liquide est éclatée en pièces dans le champ.

Les charges apparus sur les points (*a*), (*b*) et (*c*), on ne sait pas bien où sont-elles venus. Si elles viennent passer la ligne de liquide à partir de l'orifice en formant l'électrode, s'agit-il la resistivité du liquide. On a bien connu que c'est difficile à serpenter, lorsque les liquides ont plus haut resistivité et aussi que les constances diélectriques se contribuent à apparition des charges.

References

1. J. Zeleny. Phys. Rev. Vol. X (2), No. 1 (1917).
2. V. G. Drozin. J. Colloid Sci., 10, 158 (1955).