SUR LES COHÉREURS

PAR

Dr. HURMUZESCU

I.

Le plus important appareil de la télégraphie par les ondes électriques est sans aucune contestation le récepteur ou le détecteur d'ondes. Le radioconducteur ou le cohéreur, est un de ces appareils. Il est basé sur la propriété générale qu'ont les limailles métalliques de diminuer leur résistance électrique sous l'influence des ondes électriques.

Ce phénomène a été découvert par M. Branly [1]), à l'aide de l'expérience suivante d'abord: si l'on prend un tube d'ébonite contenant de la limaille métallique entre deux pistons métalliques, qui bouchent ainsi le tube, et si l'on réunit ces deux pistons ou *électrodes* en séries avec une pile et un galvanomètre de sensibilité moyenne, d'une manière générale on constate, que le courant ne passe pas; mais si l'on décharge une bouteille de Leyde à travers le tube à limaille, celui ci devient conducteur et le courant passe. Un petit choc ou une secousse ramène de nouveau le tube à limaille à l'état initial de grande résistance.

Le même auteur constata que pour obtenir cette diminution de résistance de la limaille métallique, il suffisait qu'une décharge électrique se produisit dans le voisinage. Il obtint ce phénomene même lorsque la limaille était mélangées a des substances isolantes, comme est le soufre, la paraffine, et même lorsque elle se trouvait emprisonée dans ces substances à la suite de la fusion de ce mélange.

---

1) M. Ed. Branly. Rapports présentés au Congrès International de Physique Paris. 1900. t. II p. 325.

Il parait que d'autres experimentateurs avaient rencontré deja ces phénomènes, lesquels sont restés isolés et inconnus de la plupart des physiciens jusqu'à leur découverte récente par M. Branly. A. Righi. Rapports C. Int. Ph. t. II. p. 307.

Pour expliquer ces phénomenès M. Branly admet une certaine polarisation du diélectrique qui sépare les grains métalliques.

Quelque temps aprés, M. Lodge [1]) reprit ces expériences. Il étudia l'action des ondes électriques sur les limailles et pu déceler l'action des ondes à plus de cent métres de leur source de production, toujours par la diminution de la résistance électrique des limailles métalliques.

Les résultats de ces nombreuses expériences ont mené M. Lodge à considérer que la meilleure explication réside dans la cohésion ou la cohérence des grains métalliques par la suite des étincelles qui jaillissent entre ces particules métalliques soumises a l'action de l'induction électrique.

M. Popoff [2]) utilisa cette propriété de la limaille pour enregistrer les décharges électriques de l'atmosphére.

Dans son dispositif il introduit le relais avec le marteau frappeur pour ramener le tube à l'état initial.

Tel était l'état de cette question lorsque M. Marconi publia ses expériences de télegraphie sans fil.

M. Marconi [3]) montra que par des dispositions spéciales, on peut obtenir une grande sensibilité de la part de certaines limailles pour déceler l'existence des ondes électriques. Il trouva ainsi une application très importante à la transmission des signaux à distance, découvrant ainsi la télégraphie à l'aide des ondes électriques.

Depuis, beaucoup de physiciens et expérimentateurs ont essayé de rendre cet appareil non seulement sensible mais precis en même temps. D'autres s'en sont occupé au point de vue théorique et ont essayé de donner une explication plus complète des ces phénomènes.

La grande sensibilité des *cohéreurs* de M. Marconi par rapport à ceux employés avant lui par M. Branly, M. Lodge et M. Popoff tient à ceci: l'intervalle entre les deux électrodes est très petit, de l'ordre du millimétre, la grosseur des grains de la limaille est moyenne et uniforme et le métal appartient à la classe de ceux qui s'oxydent un peu. Le mélange des métaux et des alliages surtout donne les meilleurs résultats.

Les conditions d'un bon cohéreur doivent être : d'abord de diminuer notablement sa résistance par les ondes électriques c'est-à-dire se *cohérer* rapidement, et puis de revenir de nouveau à son état initial par un petit choc, une secousse, ou tout autre moyen analogue ; ce dernier changement constitue le phénomène de la *décohération*.

1) Lodge, Philosophical Magazine t. XXXVII p. 96.
2) Journal de la Société Physico-Chimique Russe t. XXVIII, 1896.
3) Eclairage Electrique t. XII p. 219.

M. Blondel [1]) a montré que cette action se produit facilement lorsque la force électromotrice, introduite entre les deux électrodes du cohéreur, ne dépasse pas une valeur maximum, qu'il appelle tension critique. Cette tension varie suivant les cas. Elle est de l'ordre du volt.

Cohération magnétique.

Pour régler la sensibilité du cohéreur M. Tissot [2]) le soumet à l'action d'un champ magnétique, en mettant le tube à limaille magnétique (fer, nickel, cobalt) et à électrodes de fer, dans la direction d'un champ magnétique, provenant d'un aimant ou d'une bobine. Mais dans cette disposition la limaille s'aimante après quelque temps et la décohération se fait plus dificilement.

Décohération magnétique.

On peut employer avec plus de succès l'action d'un champ magnétique normal à la direction du tube pour produire la décohération plus sûre et plus regulière que par le choc ; chose facile a obtenir avec un reglage determiné. Pourtant le même inconvenient se présente à la longue dans ce cas, la limaille magnétique s'aimante d'une manière permanente et l'appareil perd de sa sensibilité, puisque la décohération se fait de plus en plus dificilement.

Décohération spontanée.

Un fait d'une plus grande importance au moins théorique a été trouvé par M. Tommasina, c'est que des appareils semblables obtenus avec les grenailles de charbon (employées dans les microphones) presentent le phénomène, de la décohération spontanée. [3]) C'est-à-dire que ces systèmes diminuent leur résistance sous l'influence de l'onde, mais aussitôt que cette action a passé, leur résistance augmente brusquement à la valeur primitive.

Cette découverte a été revendiquée après par M. Branly [4]) et par M. M. Popoff et Ducretet. [5])

Avec ces cohéreurs l'opération se trouve beaucoup simplifiée car on n'a plus besoin du marteau frappeur pour ra-

1) M. M. A. Blondel et G. Dobkevitch. C. R. t. CXXX p. 1123.
2) C. R. t. CXXX p. 902.
3) C. R. t. CXXX p. 904.
4) C. R. t. CXXV p. 939. 1897.
5) C. R. t. CXXX p. 1041 1900.

mener le tube à limaille à sa résistance primitive. Pourtant l'emploi de ces cohéreurs a été très limité à cause de leur manque de sensibilité.

M. le capitaine Ferrié a fait une étude plus approfondie sur les cohéreurs décohérents. Il a obtenu ces phénomènes aussi entre métal-charbon, le zinc lui a donné le meilleur résultat. Le contact entre deux métaux presente dans ce cas un réglage très dificile. Des résultats moins bons ont donné ces contacts dans le pétrole comme diélectrique.

Anticohéreurs

Il y a des systèmes sur lesquels l'action de l'onde électrique produit un phénomène contraire, c'est-à-dire que leur résistance augmente sous l'inflence des ondes électriques. Ces effets ont été découverts par M. Neugschwender [1]) et par M. Aschkinass. [2])

Cette action se présente pour les contacts humides. M. Branly a trouvé aussi une augmentation de résistance pour un système à oxyde de plomb ; M. Bose, pour le potassium et le magnesium das le kérasène. Ainsi si l'on prend une glace argentée et que l'on sépare son argenture par une fente etroite, sur laquelle on dépose une couche mince d'humidité, en soufflant dessus, ou quelques gouttes d'un électrolyte liquide ; on a un contact humide conducteur. Toutes les fois que les ondes agissent, sa résistance électrique augmente. Neugschwender explique cela par l'existence des filaments métalliques qui se rompent sous l'action des ondes électriques. Un anticohéreur pratique a pu être employé dans la télégraphie sans fil pour recevoir les ondes électriques jusqu'à 50 km. environ.

Recepteurs d'ondes ou détecteurs d'ondes.

Le cohéreur avec les fils, qui forment le circuit, est un résonateur et comme tel il reçoit l'onde électrique. Du reste tous les résonateurs sensibles peuvent servir à la télégraphie sans fil. M. Righi [3]) a employé deux fils metalliqaes très approchés, (0.5 mm.) dans le vide.

L'action de l'onde etait visible par les etincelles qui apparaissaisent entre les deux bouts du fil.

M. Blondel [4]) utilise pour indiquer les ondes un tube de Geisler construit spécialement de la manière suivante : ses électrodes sont terminées à l'interieur du tube par de larges surfaces très rapprochées. Ce tube se trouve réuni en série avec

1) Wiedemann, s. Ann. t. LXVII p, 430 et t. LYVIII p. 92.
2) Wied. Ann. t. LXVI p. 284.
3) Righi. Rendiconti della reale Academia dei Lincei vol, VI fasc.9 Nov. 1899
4) C. R. CXXX p. 1383.

un téléphone. Lorsque l'onde électrique agit on entend le téléphone parler. Tous ces récepteurs tout en étant très simples et très réguliers ont un défaut capital qui limite leur emploi, c'est leur trop faible sensibilité.

Dernièrement M. Marconi a employé un détecteur magnétique [1]) dont le fonctionnement est basé sur la désaimantion, qu'éprouvent les barreaux d'acier aimantés à saturation, lorsque ces barreaux se trouvent dans une bobine soumise à l'action des ondes électriques.

Nous bornerons ici l'énumeration des différents systèmes employés pour déceler les ondes électriques. Ceux que nous avons décrits nous suffisent pour donner une idée des phénomènes auxquels on a recours pour le choix de ces indicateurs d'ondes.

Parmi tous ces appareils le plus sensible et aussi le plus robuste jusqu'à présent c'est le cohéreur proprement dit, c'est le plus usité dans la télégraphie par les ondes électriques.

En nous appuyant sur les différents phénomènes nous allons voir quelle est la meilleure explication des cohéreurs.

A première vue l'éxplication de M. Branly parait la plus générale et la plus complète, mais d'après cela il s'en suivrait que ces phénomènes soyent indépendents de la nature du métal de la limaille, ce qui n'est pas ; on trouve au contraire que la nature de la limaille y entre pour beaucoup. A ceci on a ajouté que la couche d'oxyde qui se forme à la surface des grains métalliques peut être regardée comme faisant partie du diélectrique. On peut supposer aussi que ces variations de résistance électrique par les ondes électriques soient dues à la couche de gaz condensé dans le métal et dans l'oxyde formé à sa surface. [2])

Pourtant dans ces hypothèses il nous semble difficile d'admettre la persistance de ces modifications après le passage de l'onde.

L'explication de M. Lodge convient mieux, au moins pour les cohéreurs proprement dits. Elle trouve de très favorables points d'appui dans les expériences de M. Arons, [3]) qui a observé au microscope les étincelles apparaissant entre les grains métalliques et leur orientation sous l'influence des ondes électriques, surtout des décharges électriques. M. Tommasina [4]) a pu montrer expérimentalement la formation de ces chainettes de grains entre deux surfaces ayant une différence de potentiel de quelques volts seulement.

1) *On the magnetic detector*, note de M. Marconi presentée à la *Royal Society* par le professeur Fleming, 12 Juin 1902.
2) Guthe et Trombridge. Eclairage Electrique t. XXIX p. 17.
3) Leo Arons. Wied. Ann. t. LXV p. 567—571
4) C. R. t. CXXVIII p. 1092.

L'hypothèse de M. Lodge ne peut expliquer les anticohéreurs, car s'il y a orientation des particules métalliques et formation des chaines métalliques on ne comprend pas comment la résistance augmenterait. De même on ne peut pas expliquer la cohération, dans le cas d'une limaille melangée et emprisonée dans un diélectrique solide.

M. Bose [1]) considére les variations des résistances électriques produites par les ondes électriques dans les limailles métalliques comme étant dues aux modifications allotropiques de ces substances; pour les unes ces modifications entraineraient une augmentation de leur résistance électrique (les anticohéreurs) pour d'autres des diminutions de résistance (les cohéreurs).

Il propose d'appeler ces appareil des *récepteurs moléculaires* au lieu de cohéreurs ou de radio-conducteurs.

M. Guthe [2]) oppose à ces considérations des expériences très nettes où des cohereurs à un seul contact peuvent fonctioner tantôt comme cohéreurs tontôt comme anticohéreurs suivant le degré d'excitation, et que le contact potassium peut donner une diminution de résistance, contraire aux expériences de Bose.

M. Ferrié [3]) qui s'est occupé à étudier les cohéreurs autant au point de vue des applications qu'au point de vue théorique a essayé de donner une explication plus complète.

D'après cette théorie le fonctionement des cohéreurs repose sur les deux hypothèses suivantes: 1°) deux grains de limaille métallique forment un condensateur dont le diélectrique peut etre percé par l'étincelle, quand sous l'influence des ondes électriques, la différence de potentiel entre les deux grains atteint une valeur determinée, cette étincelle entraine des particules métalliques, phénomène connu de l'électrostatique, et il se forment des ponts conducteurs entre les grains. Ceci produit la conductance du cohéreur.

2°) Lorsque ces ponts conducteurs ont été rompus, ils restent entre les grains très rapprochés des cannaux vides de toute matière, dans lesquels prendraient naissance des effleuves électriques. Ces effleuves augmentent par suite de l'élargissement des cannaux lorsque la différence de potentiel des grains croit par les ondes; il en résulte une augmentation de la conductance du cohéreur. Aussitôt que l'onde a passé, les cannaux diminuement de section, les effleuves diminuent de même, donc la résistance augmente. Les variations de résistance des cohéreurs

1) Rapport présenté au congrés de phqsiqus Paris 1900.
2) Ann. der Phy. t. IV p. 762.
3) Rapport présenté au Congrés International d'Electricité de 1900. voir Eclairage Electrique t. XXIV p. 599

autodécohérants tiendraient à l'élasticité et à l'adhérance du diélectrique.

Cette seconde hypothèse ne semble pas admissible sans de sérieuses réstrictions. On ne peut prouver en aucune manière l'existence de ces cannaux, il faudrait admettre qu'il y ait des différences de pression entre les différents points d'un même système, ce qui reste à voir. Dans le vide absolu il n'y a pas d'effleuves possibles, donc dans ces cannaux il ne peut pas y avoir le vide absolu, mais un vide relatif.

II.

Ayant eu a m'occuper des cohéreurs au point de vue de leur fonctionnement dans la télégraphie sans fil, j'ai cru observer que les variations dues aux ondes dépendent aussi du temps plus ou moins long pendant lequel elles agissent.

J'ai entrepris donc d'etudier à ce point de vue les cohéreurs formés de différentes substances. J'ai mesuré d'un côté le temps pendant lequel agit l'onde électrique et d'un autre côté j'al mesuré en même temps la variation de résistance produite.

Méthode experimentale

Pour mesurer la durée de l'action de l'onde électrique j'évaluais d'une manière arbitraire le temps pendant lequel je fermais le circuit primaire d'une bobine d'induction, qui produisait des décharges entre deux boules sphériques d'un oscillateur.

Cette fermeture du courant primaire pendant un temps déterminé était obtenue par un commutateur à mercure comandé par un métronome.

La flèche de cet instrument supportait une fourche à trois dents de gros fil de cuivre. La dent du milieu trempait toujours dans un godet de mercure, tandis que les deux autres latérales prennaient contact avec le mercure par l'oscillation. Ce contact était plus ou moins long suivant que l'amplitude et la période de l'oscillation du métronome était plus ou moins grande.

Cette disposition est très commode et suffisante comme précision pour ce genre de phénomènes. (fig. 1).

Pour la mesure de la variation de résistance électrique, j'ai adopté la méthode suivante: le cohéreur se trouve avec une pile et une résistance R' dans le circuit (No. 1) d'une bobine d'un galvanomètre différentiel Wiedemann-Darsonval, de faible résistance; dans le circuit (No. 2) de l'autre bobine se trouve une résistance R allant de 1^{ω} à 30000^{ω} ohms.

Les deux circuits ont une pile commune E (voir figure) et aboutissent à une double clé D.

Sur le circuit 1 il y avait une dérivation facultative au moyen d'une clé Morse et suivant qu'on touchait le contact *a* ou le contact *b*, le cohéreur se trouvait être sorti ou introduit dans le circuit.

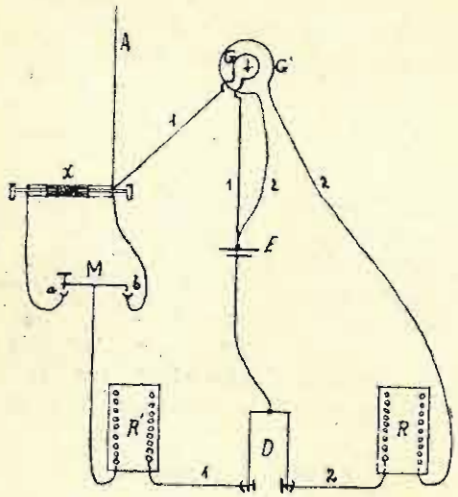


Fig. 1

Pour une certaine position des bobines, l'aiguille du galvanomètre reste au zéro, lorsqu' on a dans les deux circuits :

$$G'i' = Gi$$

or $$i = \frac{E'}{a+R} \quad \text{et} \quad i = \frac{E}{x+b}$$

d'où $$\frac{G'E'}{a+R} = \frac{GE}{x+b}$$

si l'on dispose les bobines préalablement à des distances telles que pour un même courant *i*, on ait leurs actions compensées, sur l'aiguille ; il résulte G'=G.

Comme la pile est commune aux deux circuits E=E' il reste en fin de compte

$$a+R = x+b$$

a étant la résistance très faible du circuit 2 moins R, et *b* la résistance du circuit No. 1 sauf le cohéréur

Donc $$x = R + a - b$$

a et *b* étant du même ordre, leur différence est petite et absolument negligeable lorques R est de l'ordre de 100 ohms, il reste qu'en ayant R, on a *x*.

Cette méthode n'a pas la sensibilité de la methode du pont de Weathstone, mais elle supprime les inconvenients des extra-courants pendant le régime variable du cohéreur. Dans les mesures que j'ai effectuées, ce qui m'intéressait le plus, ce n'était pas autant la valeur de la résistance du cohéreur à un moment donné, mais surtout la variation de cette résistance pendant un temps déterminé. Il fallait donc pouvoir mesurer vite la résistance du cohéreur qui variait entre des limites très grandes.

Par l'emploi du galvanomètre différentiel on avait l'avantage de compenser les actions sur l'aiguille, de sorte que l'image lumineuse reflechie par le miroir se trouvait toujours sur la règle divisée.

Lorsqu'on était arrivé à un régime plus régulier, par la clé Morse M on sortait du circuit le cohéreur et on introduisait en R'' la résistance équivalente. Ainsi on avait une mesure d-i recte de la résistance du cohéreur.

Une grande partie des mesures effectuées pendant le régime permanent ont été obtenues indifférement par cette méthode ou par la méthode du pont de Weathstone, en employant pour cette dernière une boite en pont, en serie, dont les deux clés sont toujours fermées de manière a diminuer l'action des extra-courants.

On verifiait que les extra-courants n'avaient pas d'influence sur l'état du cohéreur, en effet en introduisant pendant quelque temps une résistance appreciable dans le pont et en la supprimant on constatait que l'état du cohéreur n'a pas changé.

Le cohéreur soumis à l'expérience était formé d'une limaille métallique, en général comprise dans un tube de verre, d'ébonite ou d'ivoire et serrée entre deux pistons de même métal ou de métal différent.

Ces pistons constituaient les électrodes entre lesquels on mesurait la résistance électrique du cohéreur.

Ce dernier était fixé seul à un support solide installé sur un support massif afin que les trépidations ne puissent pas arriver chez lui. Pour le même motif les fils de connexion n'arrivaient pas directement au cohéreur, mais ils étaient fixés aux deux bornes du support où aboutissaient aussi les deux électrodes.

Le cohéreur avec le circuit dont il fait partie constitue un résonateur complexe sensible aux ondes électriques. L'endroit où il y a la limaille, représente le point discontinu des autres résonateurs

Avec les résonateurs Hertz par exemple, on a connaissance du passage de l'onde par les étincelles qui jaillissent dans cette partie discontinue du circuit métallique; dans le cas présent on connait le passage de l'onde par la variation de résistance.

La marche d'une expérience. On commençait d'abord par préparer la limaille d'un certain métal ou d'un mélange de deux et quelque fois de trois métaux, on choisissait les grains autant que possible de même dimension, après quoi on montait le cohéreur et on le portait tout-de-suite à l'appareil pour mesurer l'état de la limaille.

Première période. On mesurait sa résistance et on le tenait en observation pendant le temps suffisant pour que son état devint plus stable.

Deuxieme pèriode. Après cela, on faisait agir les ondes électriques, en commandant à une distance minimum de 6 mètres, au moyen d'un commutateur électrique l'oscillateur d'une bobine Ruhmkorff; on mesurait la variation de résistance résultante. On observait d'une manière continue l'état du tube, dont la résistance généralement variait.

Troisieme période. A la suite d'un certain nombre d'expériences variables avec la nature de la limaille, son état et son temps de service anterieur, le cohéreur gagnait un état determiné, dépendant des chocs et des ondes électriques, mais suffisament constant dans l'intervalle de cette expérience.

C'est dans cette dernière période qu'on étudiait l'influence du temps pendant lequel agissait l'onde électrique. On croisait les expériences pour éliminer les erreurs provenant d'une altération possible du cohéreur.

Résultats des expériences—1°) D'une manière générale tous les cohéreurs présentent la première période, c'est-à-dire les variations de résistances sans aucune cause apparente, du commencement; mais on observe que de préférence cette periode présente plus de changements et dure plus longtemps, lorsque les grains de la limaille ne sont pas trop petits, lorsqu'ils ne sont pas suffisament serrés, lorsque la limaille est fraiche surtout et non oxydée.

On observe cette première période instable très facilement avec la poudre et grenaille de charbon. Avec le magnésium on obtient une période de variations rapides de la résistance.

Le cohéreur précédent avait les électrodes en argent et la limaille en magnésium. Un autre cohéreur à électrodes en argent et la limaille d'antimoine a baissé de lui même sa résistance de 252^{ω} à 148^{ω} après 50'' et à 100^{ω} après d'autrès 50''.

Si à la place de la limaille d'antimoine on emploie la limaille de bismuth on a la variation spontanée en sens invers c'est-à-dire la résistance augmente, donc l'on a une *décohération spontanée.*

Un mélange de limaille de bismuth et d'antimoine présente une diminution de résistance, donc une *cohéraration spontanée.* Ainsi comme exemple, avec un tel cohéreur la résistance est devenu spontanement de

$$436^{\omega} \text{ à } 296^{\omega} \text{ après } 10'$$

et tombait à 87^{ω} après une demi-heure.

La limaille de tellure présente de même ce phénomène de la *cohération spontanée.* Un tel cohéreur a baissé sa résistance de 126^{ω} à 91^{ω} aprés quelques minutes seulement.

Avec de la limaille d'uranium j'ai observé des phénomènes de cohération et décohération spontanée très rapides et très grands pour un certain réglage de la pression à laquelle était soumise la limaille.

Les limailles oxydées par le chauffage presentent moins cette première periode d'instabilité.

2°) L'état variable dans la deuxième période se présente d'une maniére générale pour tous les systémes chez lesquels on a observé un état trés variable dans la première période; mais il y a aussi de ceux qui gagnent ces variations, à la suite des premières actions des ondes électriques. Ainsi un cohéreur à électrodes en acier poli et à grains de magnésium dont la premiére période a été de très courte durée et dont la résistance s'était établie à 7638^{ω}, par l'onde électrique diminuait sa résistance á 3^{ω}, laissé seul il augmentait spontanément sa résistance d'une manière continue et atteignait sa résistance primitive au bout quelques secondes jusqu'a une minute tout au plus. Cette expérience a été répétée une dizaine de fois, les résultats ont été toujours les mêmes.

L'on a trouvé les exemples de cette *décohération spontanée* après que l'onde électrique eut agi, à beaucoup de cohéreurs, et l'on pourait dire sans exageration que tout système, pour un réglage et un état déterminé de la limaille, doit presenter le phénomène de la *décohération spontanée* plus ou moins net, dans une période de temps plus ou moins long au commencement de son emploi. Un autre exemple: un cohéreur à électrodes de laiton et limaille en acier dur; sous l'influence de l'onde électrique sa résistance baisse de 10000^{ω} à $9,^{\omega}3$, puis laissé seul elle augmente d'une manière lente, au bout de 5 minutes elle était devenue presque 100^{ω}.

Ce phénomène de la décohération spontanée s'est répété avec de faibles modifications quatre ou cinq fois, après quoi il est disparu complètement.

En secouant la limaille et en obtenant un autre réglage, on peut retrouver de nouveau ce phénomène, mais beaucoup plus fugitif cette fois-ci. Nous pourrons citer comme exemple parmi les cohéreurs dont la seconde période est assez remarquable, ceux à électrodes en argent et limaille en aluminium et bismuth et ceux à électrodes en fer et limaille de nickel. Les contacts entre charbons (de michrophone) ou entre charbon et métal présentent, comme on sait déjà, le phénomène de la décohération spontanée au plus haut degrès et d'une manière plus régulière, et cela continuellement non seulement dans la considération de notre cas, c'est-à dire dans la deuxième période.

Pourtant un cohéreur à électrodes en charbon et a limaille de fer m'a donné des phénomènes de cohération spontanée d'abord et de décohération spontanée ensuite jusqu'à ce qu'il soit devenu regulier dans la troisième période.

Partant d'une résistance primitive R_0, on faisait agir les ondes électriques pendant un temps *t*, la résistance devenait R, laquelle variait d'elle même au bout de quelques secondes. On ramenait de nouveau, par un petit choc, la résistance à R_0 et l'on recommençait l'expérience. Nous avons consigné ces résultats dans le tableau suivant

R_0	T	R		
$>10000^{\omega}$	t	81^{ω}	et diminuait peu	
«	«	195	après 15''	121^{ω}
«	«	192	« «	139
«	«	241	« «	108
«	«	242	« «	135
«	«	191	« «	120
«	«	99	et diminue peu	
«	«	95	« augmente	
		après	10 minutes	176
«	«	102	et augmente	
«	«	118	«	
«	«	91	«	
«	«	102	«	
»	«	80	et reste fixe	
«	«	94	invariable	
«	«	78	«	

après quoi le système devient régulier.

3° Considérons maintenant que le cohéreur, pour un réglage determiné, aprés les variations de la premiere et deuxième période soit entré dans la troisiéme.

Cette période est caracterisée par cela, que la variation de resistance se fait entre deux valeurs R_0 et R. C'est-à-dire que par l'action de l'onde le cohéreur diminue sa résistance de la valeur initiale R_0 à une valeur actuelle R et que par un moyen quelconque de décohération elle revient de nouveau à la valeur primitive R_0 ou à une valeur très approchée. En faisant agir de nouveau l'onde on doit trouver de nouveau une valeur voisine de R.

C'est dans cette période que nous allons étudier l'influence du temps pendant lequel agit l'onde electrique sur le cohéreur; a) d'abord quand sa résistance primitive R_0 devient R ; b) ensuite lorsque sa résistance étant R par suite d'une première action des ondes, devient R_1 par une action ultérieure.

a) En faisant agir les ondes électriques pendant un temps plus ou moins long sur un cohéreur, à partir de sa résistance primitive R_0 on obtient les résultats suivants : Dans les tableaux qui suivent R_0 represente la résistance primitive, T le temps pendant lequel agit l'onde et R la résistance actuelle après l'action de l'onde. Le temps normal pris comme mesure arbitraire est marqué par t ; lorsque le temps employé par l'onde est plus petit que t on le marque $<$t, si au concontraire il est plus grand on mettra $>$t, si le temps est deux fois plus grand on mettra $>>$ et ainsi de suite. Après chaque mesure, on tape doucement le cohéreur à l'aide d'un crayon pour que sa résistance monte à sa valeur initiale.

On a soin que les coups portés soient semblables autant que possible pour ne pas faire varier l'état du cohéreur.

Voici à titre d'exemples quelques unes des nombreuses expériences réalisées dans cette voie.

1° Expérience, cohéreur à électrodes en fer, limaille de fer.

R_0	T	R
$>20000^{\omega}$	t	35^{ω}
»	»	28
»	$<$t	**49**
»	t	30
»	»	23
»	$>$t	**94**
»	t	33
»	$>$t	**47**
»	t	33
»	$>$t	**98**
»	t	40

2° Expérience. Electrode en charbon limaille de fer.

$>20000^{\omega}$	t	86^{ω}
»	»	87
»	»	83
»	$>$t	109

R	T	R
20000ω	>> t	**135**
«	t	98
«	«	76
«	<t	**101**
«	t	89
«	>t	**99**
«	t	84

3° Expérience. Electrodes-fer-limaille aluminium

R_0	T	R
>30000ω	t	7,ω 5
«	«	7, 4
«	<t	**14, 1**
«	t	7, 4
«	«	7, 1
«	>t	**28, 1**
«	t	6, 3
«	>t	**19, 4**
«	t	6, 8

Après un autre réglage du cohéreur

«	t	7, 0
«	>t	**10, 1**
«	t	6, 8
«	<t	**14, 2**
«	t	9, 0
«	>t	**14, 1**
«	t	6, 4

J'ai laissé le système reposer quatre heures, en recommençant on a obtenu

«	t	7, 1
«	t	7, 0
«	>t	**11, 6**
«	t	7. 5
«	>t	**14, 1**
«	t	7, 8
«	<t	**12, 7**
«	t	7, 0

4° Expérience. Electrodes en fer-limaille magnésium.

R_0	T	R
>10000ω	t	1,ω 2
»	«	1, 2
»	«	1, 5
»	«	1, 2
»	>t	**2. 8**
»	t	1, 5
»	>t	**2, 2**
»	t	1, 3
»	«	1, 3

ce cohéreur a été d'une régularité remarquable.

5° Expérience. Electrodes en argent-lim. aluminium

»	t	5,ω 0
»	»	4, 8
»	<t	**7, 2**
»	t	5. 0
»	>t	**8, 1**
»	t	5, 2
»	<t	**9, 1**
»	t	4, 6
»	<t	**14, 5**
»	t	5, 8
»	>t	**7, 8**
»	t	5, 4

6° Expérience. Electrodes-argent-lim. antimoine

1150ω	t	29,ω
1200	>t	**38,**
1120	t	26,
1300	>>t	**52,**
1500	t	32,
1600	<t	**60,**
1450	t	31,

7° Expérience. Electrodes en argent-lim. cadmium

R_0	T	R
>10000ω	t	25,ω
»	>t	**31, 2**
»	t	27, 0
»	»	28, 5
»	>t	**32, 1**
»	t	25, 6

8° Expérience. Electrodes en argent-lim. magnésium

>20000ω	t	6,ω 7
»	»	6, 5
»	>t	**12, 4**
»	t	6, 9
»	>t	**13, 2**
»	t	7, 0
«	>>t	**14, 6**
»	t	7, 3

9° Expérience. Electrodes en fer-limaille nickel. J'ai effectué les mesures suivantes, le troisième jour après l'avoir monté, lorsqu'il était devenu tout-à-fait régulier.

>20000ω	t	36,ω 2
«	«	36, 5
«	>t	**42, 3**
«	t	34, 4
«	>t	**43, 1**
«	t	34, 0
«	«	35, 1
«	«	35, 5
«	<t	**39, 2**
«	t	36, 0

10° Expérience. Un cohéreur formé par deux électrodes de fer entre lesquels il y avait un globule de mercure. Les électrodes étant à vis, comme dans tous les systèmes étudiés, pouvaient se rapprocher du globule. Le réglage de ce cohéreur était plus délicat que dans les autres cas précédents, mais une fois obtenu il se gardait longtemps dans le même état. L'appareil a été monté samedi matin et on a travaillé avec lui jusqu'à mardi soir. La série suivante de mesures a été obtenue mardi dans l'après midi.

R_0	T	R
>30000ω	t	1,ω 4
»	»	1, 7
»	«	1, 5
»	>t	**2, 8**
«	t	1, 1
«	«	1, 3
«	<t	**1, 9**
«	t	1, 5

Lorsque les surfaces des électrodes étaient bien planes et bien polies, le mercure très pur et le globule de certaines dimensions déterminées pour chaque système, le cohéreur se décohèrait spontanément.

Aussitot que la moindre humidité pénètre, la decohération se fait moins bien.

11° Expérience. Electrodes en fer, limaille d'aluminium melangée de graphite.

>10000ω	t	26,ω
«	«	29,
«	<t	**53, 2**
«	<t	**58, 7**
«	t	30, 2
«	>t	**46, 1**
»	t	23, 6
»	>t	**65, 2**
»	t	28, 5

En observant ces résultats on voit :

1°) que le temps pendant lequel agit l'onde électrique sur le cohéreur a une influence remarquable sur sa variation de résistance.

2°) qu'il existe un temps *t* determiné pour chaque système (vibrator, cohéreur) que nous appelerons temps normal, pour lequel la résistance R gagne une valeur minimum

3°) que pour un temps plus petit ou plus grand que le temps normal la résistance actuelle R du cohéreur possède une valeur plus grande.

Ainsi donc la résistance du cohéreur diminue par rapport au temps pendant lequel agissent les ondes électriques, et passe par un minimum.

Si l'on rapporte ce résultat à un système d'axes coordonées, le temps étant pris sur l'abscisse et les résistances sur l'ordonnée, la courbe représentative aurait la forme suivante (fig. 2) Le point M, minimum de la courbe, correspond à T=t et est donné par $\frac{dR}{dT}=0$.

Pour un temps $t_1<t$, nous aurons sur la courbe le point N, en deça du point M.

Si le temps T est t_2 plus grand que le temps normal t, $t_2>t$, le point representatif sera P, au dela du point M.

Cette méthode graphique traduit d'une manière exacte les résultats des nombreuses expériences, la forme générale de la courbe étant la même, elle diffère, bien entendu, dans ses dimensions pour chaque expérience considérée :

Nous allons poursuivre les expériences pour trouver l'autre branche de la courbe.

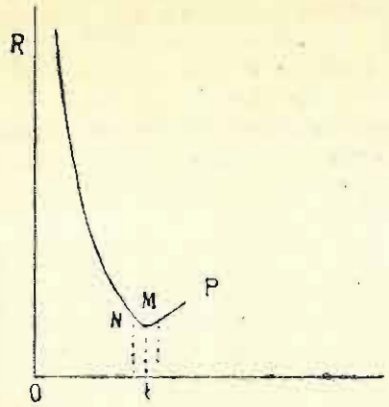


fig. 2.

b) Continuons l'action des ondes électriques sur le cohéreur dans la seconde phase *b*, c'est-à-dire lorsque par une première action des ondes sa résistance est tombée de R_0 à R.

Dans cette phase il y a deux cas à distinguer: 1) pour des systèmes tel que: électrodes fer ou argent avec les limailles argent, fer, nickel, aluminum, cuivre, laiton etc, une action ultérieure des ondes ne change pas la résistance du système si le point figuratif se trouve au minimum ou de l'autre côté de ce minimum. Mais si la résistance actuelle R du cohéreur à la

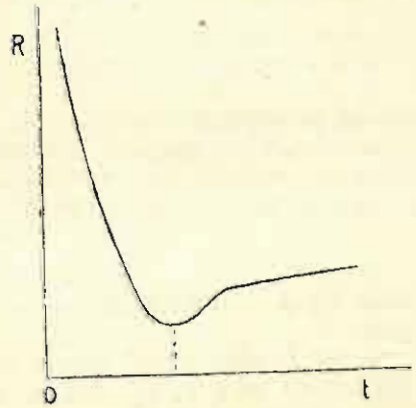


fig. 3.

suite d'une première action des ondes se trouve être en deça du minimum, par une action ultérieure de ces ondes la résistance R descend vers la valeur minimum.

Pour ces corps la courbe représentative ne présente qu'une toute petite branche montante au dela du minimum, après quoi elle devient parallèle à l'abscisse (fig. 3), c'est-à-dire qu'on peut faire agir les ondes tant qu'on voudra, la resistance R restera la même.

2) Pour des systemes formés par des électrodes en fer ou en argent et avec des limailles de cadmium, uranium, magnesium, crome et manganèse, les choses se présentent autrement. Dans ce cas une action uliérieure des ondes augmente toujours plus ou moins la résistance ainsi que la courbe prend la forme suivante (fig. 4).

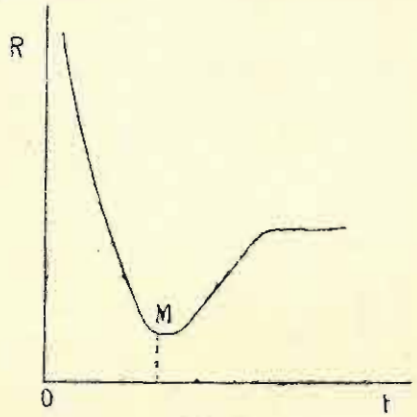


Fig. 4.

L'exemple le plus net de ces phénomènes est representé par la tableau suivant des mesures effectuées avec limaille de manganèse.

Un cohéreur à électrodes d'argent et à limaille de manganèse.

R_0 répresente la résistance initiale
R_1 „ « après la 1-ère action des ondes
R_2 « « „ « 2-me « « „
R_3 « « « „ 3-me „ « „
et ainsi de suite

R_0		R_1		R_2		R_3		R_4
$>10000^{\omega}$	*A.O.E.*	60^{ω}	*A.O.E.*	90^{ω}	*A.O.E.*	130^{ω}	*A.O.E.*	10000^{ω}
«	„	125	„	300	„	10000	«	—
«	«	80	«	180	«	300	«	10000
«	„	163	„	560	„	10000	„	—
«	„	150	«	360	„	„		—
«	«	361	„	425	„	„		—
«	„	371	„	572	„	«		—
«	«	373	«	10000		—		—

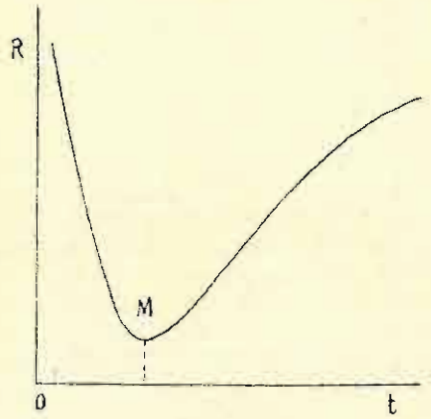
après un autre réglage

R_0		R_1		R_2		R_3		R_4
$>30000^{\omega}$	A.O.E.	58	A.O.E.	328	A.O.E.	10000	A.O.E.	—
«	«	42	„	658	„	«	«	—

J'ai remplacé les électrodes en argent par des électrodes en fer, j'ai mis une autre limaille de manganése.

$>10000^{\omega}$	„	62^{ω}	«	230^{ω}	«	10000	«	—
«	«	200	«	87	„	320	«	10000^{ω}
„	«	120	«	470	„	10000	„	—

Ces résultats sont traduits par la courbe suivante, qu'on



e Fig. 5.

peut regarder comme la résultante de plusieurs courbes ajoutées bout a bout.

Cohéreurs à large surface. J'ai enroulé l'un sur l'autre les deux bouts libres d'un fil de magnésium très peu oxydé, les deux autres bouts etaient mis en serie avec une pile, une boite de résistance et un galvanomètre. Ce circuit constituait un résonateur pour ondes électriques.

Sa résistance primitive R_0 était plus grande que 10000^{ω} En faisant agir l'onde, la résistance tombait a 2^{ω} environ. Voici une serie de mesures :

R_0	T	R
$>10000^{\omega}$	t	1,8
„	«	2,0
«	«	1.5
„	„	1,6

Pour ramener le système à la résistance primitive, on secouait un peu les fils.

En nettoyant les fils au papier et en les enroulant, la résistance était $2,^{\omega}$ elle ne variait pas par les ondes électriques.

En mettant une couche très mince de gomme laque, la résistance R_0 a augmenté vers 1000^{ω}, par l'action de l'onde elle est tombé à 5^{ω}. J'ai employé également d'autres fils et d'autres métaux en fils, le nickel, le laiton, le fer, le cuivre etc. et toutes les fois que la couche d'oxyde ou de diélectrique était suffisament mince j'ai obtenu une grande diminution de la résistance par l'action des ondes electriques.

Dans une autre serie d'expériences j'ai employé le contact entre deux disques en laiton (10 c. m. de diamètre) enduits d'une couche très mince de gomme laque et pressés l'un contre l'autre.

Pour une pression déterminée j'ai trouvé que ce système est sensible a l'action des ondes électriques. Cette action très irrégulière au commencement, finit par devenir plus uniforme dans la troisième période :

R_0	T	R_1
15^{ω}	t	$1,^{\omega}6$
16	«	1, 4
28	„	1, 4
35	„	2, 1

Il suffit d'une petite secousse pour ramener le système à l'état *initial* R_0.

L'influence du diélectrique.

Les diélectriques gazeux. Pour cette étude j'ai employé de preférence les cohéreurs à contact unique. En mettant le cohéreur sous une cloche dans laquelle on faisait le vide ou on introduisait un gaz quelconque, on n'observait absolument aucune différence entre les résultats.

Pourtant dans les cohéreurs à limaille, l'oxygène aide beacoup a produire plus tôt l'état de fatigue de ces appareils. Cela doit tenir à l'oxydation plus énergique de la limaille par les étincelles qui prennent naissance entre les différents grains et dans l'atmosphère d'oxygène.

Les diélectriques liquides. Dans le cohéreur à globule de mercure et aux électrodes en fer j'ai mis une goutte de glycérine. J'ai adopté ce système parceque les surfaces de contact se trouvaient bien separées par le diélectrique employé.

En faisant agir les ondes, j'ai toujours observé d'abord une diminution de résistance, quelques fois après une augmentation.

J'ai monté un autre cohéreur à limaille de magnésium dans de la glycérine—par l'action des ondes électriques j'ai obtenu les mêmes résultats que précédemment.

$$\frac{R_0}{362^{\omega}} \quad \frac{T}{t} \quad \frac{R}{14^{\omega}} \quad \frac{T}{t} \quad \frac{R_1}{56}$$

En remplaçant la glycérine par de la benzine bien sèche on obtient la marche régulière du cohéreur c'est-à dire que sa résistance diminue par les ondes electriques.

La variation en sens contraire parait tenir à l'humidité ou à la présence de l'eau; ainsi un cohéreur aux électrodes de fer et à limaille de magnésium tenu au préalable dans un espace d'air très humide, présente le phénomène de diminuer sa résistance par une première action des ondes et puis de l'augmenter par une action ultérieure.

$$\frac{R_0}{2321^{\omega}} \quad \frac{T}{t} \quad \frac{R}{850^{\omega}} \quad \frac{T}{t} \quad \frac{R_1}{1360^{\omega}}$$

et cela peut continuer quelque temps de la sorte.

Le même phénomène avec une limaille de fer humide et oxydée

$$\frac{R_0}{165^{\omega}} \quad \frac{T}{t} \quad \frac{R}{62^{\omega}} \quad \frac{T}{t} \quad \frac{R_1}{180^{\omega}}$$

$$800 \quad « \quad 64 \quad « \quad 340 \quad t \quad 870^{\omega}$$

Les diélectriques solides. J'ai soumis à l'expérience un cohéreur à globule de mercure et un autre à limaille d'aluminium, mais dont les électrodes étaient vernis à la gomme-laque.

Tant que la couche de vernis était épaisse (relativement) on n'obtenait aucun résultat; mais lorsque cette couche était extrêmement mince le cohéreur donnait les mêmes résultats ordinaires, c'est-à-dire sa résistance diminuait par l'action des ondes.

J'ai essayé de même dans un cohéreur un mélange de soufre en poudre et de limaille d'aluminium. Si la fleur de soufre n'était pas en trop grande quantité, le cohéreur marchait; mais si la quantité de fleur de soufre était trop grande, on ne trouvait plus aucune variation de la résistance du cohéreur par l'action des ondes électriques même les plus intenses.

En emprisonnant la limaille dans du soufre par fusion et en laissant refroidir, on n'obtient de même aucune variation par les

ondes. Un tel système peut devenir conducteur si l'on fait passer dedans la décharge d'une bouteille de Leyde. On obtient les mêmes phénomènes si à la place du soufre on emploie la paraffine.

Résultats et Conclusion.

En résumant les résultats de ces expériences on peut les formuler de la manière suivante:

1) D'une manière générale les limailles métalliques deviennent bonnes conductrices d'électricité sous l'action des ondes électriques.

2) Tous les cohéreurs présentent un minimum dans la variation de leur résistance électrique par rapport au temps pendant lequel agit l'onde électrique.

3) Ce changement de résistance est permanent pour la plupart des systèmes. Il y a pourtant un nombre de cas ou cette modification cesse en même temps que la cause qui lui a donné naissance. Tels sont les systèmes charbon-charbon, metal-charbon, fer mercure etc. ou les cohéreurs à decohération spontanée.

4) Mais tous ces systèmes perdent la propriété de la décohération spontanée par suite d'une faible oxydation ou d'une fatigue trop rapide du cohéreur en employant des ondes électriques trop intenses. Du reste, nous avons obtenu ces phénomènes d'autodécohération pour un grand nombre de systèmes, dans la première période, au comencement de chaque expérience.

5) Pour certains systèmes, tel que fer-manganèse, argent-manganèse, l'action des ondes diminue d'abord leur résistance puis en faisant agir de nouveau les ondes on constate une augmentation de la résistance électrique du cohéreur. Ces systèmes se comportent donc, dans la première phase comme des cohéreurs ordinaires, dans la seconde phase comme des anticohéreurs.

6) Grand nombre de cohéreurs ordinaires, lorsque leurs surfaces de contact sont humides ou trempent dans un diélectrique contenant de l'eau, présentent les deux phases précédentes, c'est-à-dire que par une première action des ondes leur résistance diminue, pour augmenter vers sa valeur primitive par une action ultérieure. Suivant les différentes conditions, la première phase se trouve plus ou moins abrégée, elle peut même disparaitre dans quelques uns de ces systèmes. Dans ce dernier cas on a affaire à des anticohéreurs.

7) Tous les phénomènes dépendent d'une couche de passage, comprise entre les surfaces de contact. C'est dans cette couche qu'intervient le diélectrique de séparation, soit dans l'intervalle soit dans l'oxyde, soit par le gaz condensé aux surfaces mêmes.

Nous allons voir maintenant si ces résultats nous permettent d'apporter un nouvel argument à l'appui d'une des théories existantes pour expliquer le fonctionnement des cohéreurs.

Combien seduisante serait la théorie d'un changement allotropyque. Il y aurait donc des corps dont la résistance électrique changerait par les ondes électriques, de la même maniére que d'autres, comme le selenium, éprouvent une variation de leur résistance électrique sous l'influence des ondes lumineuses. Partant de là il se trouvera un corps ou un système dont la modification citée puisse avoir lieu aussi bien sous l'action des ondes électriques, que sous celle des ondes lumineuses.

Ce système à trouver formerait le pont de liaison entre les deux sortes de phénomènes.

Malheureusement les expériences ne paraissent pas donner raison à cette hypothèse. En effet toutes les modifications eprouvées par les cohéreurs ont leur siège entre les surfaces de contact, dependant au plus haut degré de la nature et de l'état de ces surfaces. Mais on peut tourner cette difficulté en admetant que les modifications allotropyques ont lieu justement dans une couche de passage comprise d'un côté et de l'autre du contact.

Pour poursuivre plus loin la comparaison il faudrait encore expliquer la différence entre les modifications temporaires du selenium par les ondes lumineuses et les modifications permanentes des cohéreures proprement dits par les ondes électriques. Sans rien chercher à expliquer, la chose étant plutôt difficile, on se contente de constater que nous avons la même différence entre le magnétisme temporaire du fer doux et le magnétisme permanent de l'acier.

Par cette analogie nous ne sommes pas plus avancés car nous ne connaissons pas d'avantage le mécanisme intime des phénomènes magnétiques.

Nos expériences nous conduisent à une autre manière d'envisager les choses.

L'existence du minimum de variation de la résistance électrique des cohéreurs, par rapport au temps pendant lequel agit l'onde électrique, conduit à une explication commune pour les cohéreurs et pour les anticohéreurs.

Pour les premiers l'action des ondes électriques serait seulement de diminuer la résistance jusque dans le voisinage du minimum M (fig. 5). Ce minimum correspondrait pour un système à la cohération maximum, c'est-à-dire à la formation de chaines entre tout les grains se trouvant suivant la direction du courant.

Pour les seconds, ces chaines métalliques une fois formées par les petites étincelles qui éclatent entre différents grains, se trouveraient interrompues par suite de l'introduction de nouvelles résistances dans la couche de passage, grâce aux oxydations dues aux étincelles mêmes. Ces oxydations dépendent de la nature de chaque métal et du diélectrique avec lequel il se trouve en contact.

Si par la nature du métal et du diélectrique environant l'oxydation des surfaces en regard, des grains, se produit très vite par les premières étincelles, la première phase du phénomène (la chute de résistance) peut nous échapper; c'est le cas des anticohéreurs.

En secouant un peu le cohéreur les surfaces en regard changent et nous pouvons recommencer les expériences.

Dans les cohéreurs auto-décohérables les chaines de liaison seraient dues plutôt à des étincelles électriques ou à des effluves et disparaitraient en même temps que la cause qui les produit, c'est-à-dire les ondes électriques.

Dans les cohéreurs permanents ces effluves d'étincelles produiraient des chaines métalliques en soudant des petites particules entre les grains de limaille.

Lorsque le diélectrique est solide ces effluves ne peuvent plus se produire que pour des variations très grandes du champs électrique. Il faut donc une décharge puissante pour déchirer le diélectrique et former cette chaine. Un cohéreur à soufre fondu et solidifié ne devient conducteur qu'en y faisant passer la décharge d'une bouteille de Leyde; mais il est insensible aux ondes électriques qui agissent sur les cohéreurs à diélectrique gazeux ou même liqude.

Mai 1902.

Laboratoire de Physique, Université de Iassy.

Communiqué au Premier Congrès Roumain des Sciences.

Iassy 3 Juin 1902.