



HAL
open science

La conduction électrique des hydrocarbures liquides en couches minces

L. Bruninghaus

► **To cite this version:**

L. Bruninghaus. La conduction électrique des hydrocarbures liquides en couches minces. Journal de Physique et le Radium, 1931, 2 (3), pp.69-85. 10.1051/jphysrad:019310020306900 . jpa-00233053

HAL Id: jpa-00233053

<https://hal.science/jpa-00233053>

Submitted on 4 Feb 2008

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LE JOURNAL DE PHYSIQUE

ET

LE RADIUM

LA CONDUCTION ÉLECTRIQUE
DES HYDROCARBURES LIQUIDES EN COUCHES MINCES;par L. BRUNINGHAUS.¹

Sommaire. — On étudie dans ce travail le *régime conducteur* des hydrocarbures liquides en couches minces, signalé dans un précédent mémoire. Les expériences, faites dans des conditions nouvelles, plus rigoureuses, vérifient la réalité du phénomène, et permettent d'en préciser les particularités : elles montrent, notamment, qu'il ne s'agit pas d'une conduction proprement métallique.

Une discussion des résultats obtenus permet de situer plus exactement le phénomène, et d'en esquisser le mécanisme probable.

I. Introduction. — Au cours d'un précédent travail (¹), j'ai observé que les hydrocarbures liquides en couches minces, peuvent présenter une conductivité comparable à celle des métaux, lorsqu'on les soumet à des champs électrostatiques de l'ordre de 10^5 volts : cm. J'ai appelé *régime conducteur* le passage d'un courant de grande intensité, de l'ordre de l'ampère, par exemple à travers ces liquides.

Je me suis proposé de chercher à contrôler expérimentalement la réalité du phénomène, en opérant dans des conditions plus rigoureuses et plus certaines que je n'avais pu le faire précédemment. Le but du présent mémoire est d'exposer les résultats obtenus.

II. Appareils employés. — **Montage électrique.** — Je mentionnerai tout d'abord que je n'ai apporté aucune modification aux instruments de mesures électriques, milliampère-mètre et galvanomètre, utilisés dans mon précédent travail, pas plus qu'à leur montage, conditions d'isolement, connexions, etc. On voudra donc bien se reporter, le cas échéant, à ce mémoire, pour tout ce qui concerne les conditions des mesures électriques.

Mesure des épaisseurs. — Le point délicat, et important, est la mesure précise des épaisseurs des couches liquides étudiées. Comme il s'agit d'épaisseurs de quelques microns, j'ai fait appel à une machine à diviser : l'une des électrodes (fixe) était portée par la plateforme de la machine, l'autre (mobile) par le chariot, débarrassé des accessoires usuels de traçage.

Les premiers essais m'ont révélé trois sortes de difficultés. Pour que les expériences soient praticables, il est indispensable que :

1° Tout jeu de l'électrode fixe par rapport à la plateforme, et de l'électrode mobile par rapport au chariot, soit rendu impossible.

2° Les temps perdus de la machine soient supprimés.

3° La commande de la vis soit continue.

(¹) L. BRUNINGHAUS, *C. R.*, **188** (1929), 1386 et *J. Phys.*, 7^e s., t. **1** (1930), p. 11.

1° *Fixation des électrodes.* — Les figures 1 et 2 montrent comment les électrodes sont fixées.

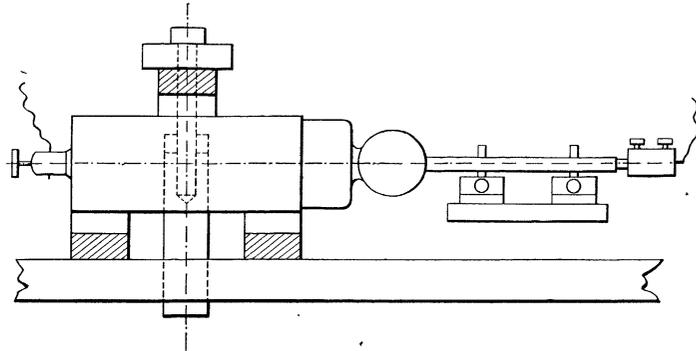


Fig. 1. — Mode de fixation des électrodes. Vue de face.

L'électrode fixe est un cylindre massif de laiton ou d'acier, qui repose sur deux blocs d'ébonite, et se trouve immobilisé par une bride horizontale de laiton appuyant fortement sur sa région médiane, après interposition d'un bloc d'ébonite. L'électrode mobile est le plus souvent une boule de laiton ou d'acier, solidaire d'une tige; cette tige est serrée dans deux pinces, qui sont fixées par l'intermédiaire de deux blocs d'ébonite à la pièce portant d'ordinaire le système traceur. Dans ces conditions, les jeux des électrodes par rapports à leurs supports respectifs sont rigoureusement évités.

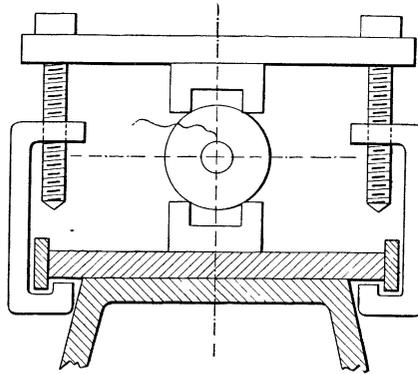


Fig. 2. — Mode de fixation des électrodes. Vue en bout.

2° *Suppression des temps perdus.* — La machine comporte deux temps perdus, dus à ce que la tête de l'écrou entraînant le chariot a une certaine liberté, d'ailleurs indispensable, dans l'alvéole qui lui fait place à la base du chariot. Il y a un jeu longitudinal (suivant l'axe de la vis) de l'ordre du millimètre, et un jeu transversal (perpendiculaire à l'axe de la vis) un peu supérieur. De ces jeux résulte qu'il n'est possible d'entraîner le chariot de façon mesurable que dans un sens, ce qui rendrait les expériences quasi impossibles. Afin de pouvoir entraîner le chariot sans temps perdu dans les deux sens, j'ai supprimé ces deux jeux, sans pourtant diminuer le nombre des degrés de liberté de l'écrou par rapport au chariot. Dans ce but, j'ai assuré le contact permanent de la tête de l'écrou avec deux faces rectangulaires de son alvéole, par des liaisons élastiques ménageant la possibilité à de très petits déplacements relatifs par glissement.

Un premier ressort relie le chariot à l'extrémité droite du bâti (la manivelle de commande de la vis est à gauche).

Ce ressort exerce sur le chariot une traction parallèle à l'axe de la vis et contenue sensiblement dans le plan de la glissière horizontale, afin d'éviter un mouvement de bascule du chariot. Sa tension est réglée de façon à produire à coup sûr le rappel du mouvement du chariot, mais sans excès ; elle est constante, vu les très faibles déplacements du chariot (une vingtaine de microns tout au plus).

Un second ressort, beaucoup plus délicat, relie, comme le montre la figure 3, l'ailette de l'écrou à une tige verticale solidaire du chariot.

La rotation de la vis ne peut dès lors provoquer aucune rotation de l'écrou.

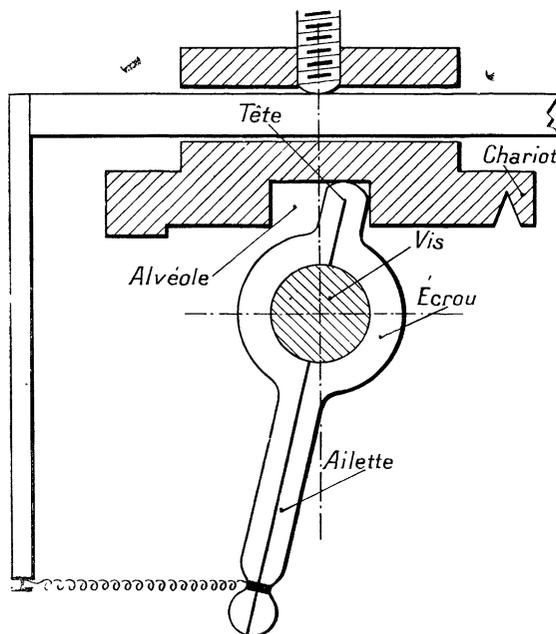


Fig. 3. — Système de rattrapage du jeu d'écrou.

3° *Commande continue de la vis.* — La commande de la vis à la main, par la manivelle, devient malaisée lorsqu'on veut provoquer de très petits déplacements du chariot, le mouvement a lieu par saccades, et c'est à grand peine que l'on réussit à faire tourner la vis de quantités assignées à l'avance. De plus, les traits du tambour de la machine sont d'un accès difficile au cours des expériences, ce qui complique les lectures et augmente exagérément la durée des observations. Pour éviter ces inconvénients, et surtout le premier, j'ai remplacé la manivelle par un levier rigide en aluminium, dont les mouvements sont commandés par une vis micrométrique. La figure 4 fait comprendre le dispositif. La régularité des mouvements du levier ne peut être assurée que si la pointe de la vis motrice glisse sur une surface plane. Dans ce but, j'ai fixé au levier, comme le montre la figure, un morceau de lame de verre plan-parallèle, et le glissement a lieu sur la face inférieure de cette lame.

Le rappel des mouvements du levier (vers le bas) est obtenu très simplement grâce à la masse d'acier M fixée au voisinage de son extrémité. Le tambour de la vis motrice est divisé en vingt parties égales. Les mouvements de translation de cette vis correspondent aux tangentes des angles de rotation du levier, de sorte qu'il n'y a pas exactement proportionnalité entre l'angle de rotation de la vis motrice et le déplacement du chariot. Il est à noter, tou-

telois, que le dispositif est en principe destiné à servir dans la région médiane de la vis motrice, et pour la course très petite qui correspond à un déplacement du chariot d'une vingtaine de microns tout au plus.

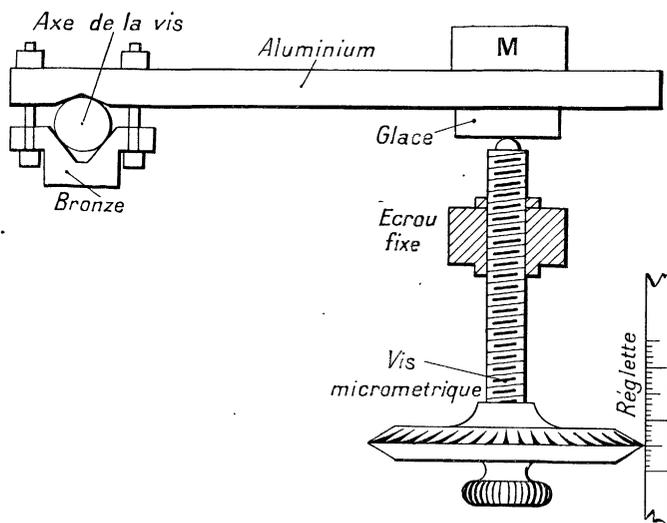


Fig. 4. — Commande des déplacements de l'électrode mobile.

En fait, dans ces limites, j'ai constaté qu'un tour de la vis motrice imprime au chariot une translation constante égale à $1,04\mu$; soit sensiblement 1μ . Les rotations du tambour de la vis motrice permettent ainsi de produire aisément des déplacements même très petits du chariot et connus certainement à moins de 1μ près.

III. Précision de l'appréciation du contact électrique. — Ce n'est évidemment pas parce qu'une tête de vis est divisée en 20 parties égales que l'on peut répondre du vingtième de micron, surtout lorsqu'il s'agit d'apprécier un contact électrique. Les expériences suivantes vont le montrer surabondamment.

Les électrodes sont celles des figures 1 et 2 : cylindre de laiton, dont la base utilisée est à peu près plane (légèrement convexe), et a été polie au papier rouge (1); sphère de laiton de 20 mm de diamètre, avec méplat dans la région du contact, polie au papier rouge, puis à l'alumine sur étoffe.

Le tableau I indique le type d'incertitudes auxquelles le contact électrique est sujet, La colonne « contact » donne les lectures pour lesquelles le contact électrique (courant au milliampèremètre) est observé. Une fois le contact établi, on cherche, en procédant par dixièmes de micron, et en circuit ouvert, de combien il faut écarter le chariot pour que, fermant à nouveau le circuit, le courant ne se rétablisse pas. Les nombres ainsi obtenus sont réunis dans la colonne « rupture ». Après une rupture, on revient en arrière par dixièmes de microns, jusqu'à retrouver le contact électrique, en procédant toujours aux changements de distance en circuit ouvert. Pour lire le tableau dans l'ordre où se font les observations, il faut suivre les flèches qui relient les nombres du haut de la première colonne.

Ce tableau révèle plusieurs faits sur lesquels il convient d'insister :

1° Il se produit des sauts brusques du domaine de contact. Dans la première colonne, nous voyons un tel saut d'environ 0 à environ + 2; dans la seconde, un saut de - 2 à + 6 environ, soit de 8μ , puis bientôt après le saut inverse de + 6 à - 2 environ.

(1) Papier à lustrer du commerce, au colcothar très fin.

2° Cependant, on observe dans chacun des domaines de contact ainsi obtenus une certaine régularité. Par exemple, les lectures

$$\begin{array}{cc} 1,9 \rightarrow 2,1 & 5,7 \rightarrow 6,1 \\ \swarrow & \swarrow \\ 1,9 \rightarrow 2,2 & 5,7 \rightarrow 6,0 \end{array}$$

sont normales ; elles correspondent à l'écart de 0,3 à 0,4 μ , entre le contact et la rupture, que l'on observe (voir plus loin) lorsque les irrégularités que nous étudions ne se produisent pas.

3° Les dernières lectures

$$\begin{array}{c} 5,4 \rightarrow 5,4 \\ \swarrow \\ 5,4 \rightarrow 5,4 \\ \swarrow \\ 5,4 \rightarrow 5,4 \end{array}$$

signifient que le contact cesse de lui-même lorsqu'on coupe le circuit pour le rétablir aussitôt après, mais que, si on le ferme à nouveau, le courant se rétablit de lui-même au bout de quelques instants.

TABLEAU I. — *Etude du contact électrique dans l'air (110 volts).*

CONTACT	RUPTURE	CONTACT	RUPTURE	CONTACT	RUPTURE
0 μ	\rightarrow 0,3 μ ⁽¹⁾ (?)	- 1,8 μ	+ 6,0 μ	5,4 μ	5,4 μ
- 0,1	\rightarrow 7,0	+ 5,7	6,1	5,4	5,4
- 0,7	\rightarrow 2,0	5,7	6,0	5,4	5,4
1,0	2,0	- 1,9	- 0,6		
1,6	2,3	- 1,3	- 0,7		
1,9	2,1	- 2,2	- 1,7		
1,9	2,2	- 2,1	- 1,2		
- 1,3	- 0,7	- 1,2	- 1,2		
- 1,4	- 0,9	- 1,6	+ 2,6		
- 1,3	- 0,8	2,6	5,4		
- 1,6	- 1,1				

(1) Au début, contact incertain, avec émission d'un son (un ut, à peu près) Cette émission de son se produit assez fréquemment lorsque les électrodes sont très voisines Il s'agit de vibrations de l'électrode mobile, qui est attirée lorsque le courant ne passe pas et cesse de l'être lorsque le contact s'établit (champ nul).

Ces faits ne s'observent généralement pas dans l'huile de vaseline. Lorsque ce liquide est interposé entre les électrodes, on retrouve toujours le contact électrique très sensiblement pour la même position du chariot, correspondant à une distance des électrodes soit nulle, soit de 1 μ , plus rarement 2 μ , exceptionnellement 3 ou 4 μ , et la rupture a lieu régulièrement pour un écart de l'ordre de 10 à 15 μ , ainsi qu'en fait foi le tableau II. Ce tableau a été obtenu avec les mêmes électrodes, dans l'état et à la distance où les avaient laissées les mesures du tableau I : on n'a apporté aucun autre changement aux conditions expérimentales que l'insertion entre les électrodes d'une goutte d'huile issue d'une pipette. Ce tableau est à lire de la même façon que le précédent, ainsi que le montrent du reste les flèches du haut de la première colonne. Lorsqu'on a laissé tomber la goutte d'huile, la distance des électrodes, basée sur l'indication du tambour de la vis motrice, était de 5,4 μ . L'insertion de la goutte d'huile ne donna lieu, en circuit fermé sur 110 volts, à aucun

courant. C'est là un fait qui paraît en contradiction avec ce qui sera dit plus bas : il s'observe fréquemment lorsque les conditions de l'établissement du contact dans l'air présentent les anomalies que nous sommes précisément en train d'étudier.

TABLEAU II. — *Etude du contact dans l'huile (110 volts).*

CONTACT	RUPTURE	CONTACT	RUPTURE	CONTACT	RUPTURE
0 μ .	→ 13 μ .	1 μ .	14 μ .	0 μ .	12 μ .
1	→ 11	1	13	1	13
1	→ 13	1	13	1	9
2	→ >14	1	13	0	13
1	→ 14	0	14	0	11
2	→ 14	1	14	1	>14
1	→ 13	1	>14	1	12
1	→ 14	0	11	0	13
1	→ >14	4	13	0	11
2	→ 14	0	>14	0	11

La comparaison des tableaux I et II fait ressortir une action régulatrice de l'huile, sur laquelle nous reviendrons. Elle montre en outre que les incertitudes de contact observées dans l'air ne sont pas imputables à un vice de fonctionnement de la machine à diviser. Le traitement des électrodes paraît au contraire jouer un rôle important dans leur production. Des électrodes soigneusement essuyées avec un chiffon doux et propre produisent presque à coup sûr ces irrégularités ; il en est de même de l'essuyage à la peau de chamois ; le polissage à l'alumine ne se montre pas toujours efficace pour les faire disparaître, et c'est le papier rouge au colcothar très fin (papier à lustrer) qui donne les meilleurs résultats : on doit toujours terminer un nettoyage ou une modification quelconques des électrodes par un polissage de quelques instants sur papier rouge, pour réduire au minimum le risque de contacts incertains.

Lorsqu'on a procédé ainsi, il peut encore arriver que les premières déterminations de contact soient incertaines, mais après quelques essais le phénomène se régularise d'ordinaire, et l'observation du contact devient précise. Il est clair que l'on ne peut pas prétendre à la réalité du régime conducteur des hydrocarbures liquides avant que cet état de choses ait été réalisé : c'est ce qui a été fait dans les expériences relatées plus loin.

Pour expliquer ces contacts irréguliers dans l'air, je suis assez enclin à penser à la présence de grains métalliques très fins détachés du métal au cours du polissage, ou même apportés à lui par essuyage. J'ai constaté, en effet, en observant les surfaces à la loupe, que l'essuyage au chiffon ou à la peau de chamois laisse toujours subsister des petits grains, que l'on n'observe au contraire pas après passage au papier rouge. Si parmi ces grains il en est de métalliques, et de forme irrégulière, on conçoit qu'un tel grain puisse s'orienter sous l'action du champ électrostatique très intense qui règne entre les électrodes, de façon à réunir celles-ci métalliquement pendant qu'on les éloigne l'une de l'autre. Si la longueur du grain est de 5 μ , il pourra être nécessaire d'écartier les électrodes d'un peu plus, par exemple 5,3 μ pour que le courant soit sûrement coupé. Si alors on supprime le champ, le grain pourra retomber sur la surface qui le porte, et présenter suivant les lignes de force du champ, rétabli à nouveau, une dimension plus petite : si celle-ci est de 2 μ , par exemple, il faudra rapprocher les électrodes de 3 μ pour retrouver le contact.

Si d'ailleurs le grain est assez fin, il pourra lui arriver aussi d'être volatilisé par le passage du courant, auquel cas on retrouvera ultérieurement des contacts fidèles et précis.

La stabilisation du contact par l'huile résulterait, dans cette manière de voir, de l'entraînement mécanique des grains, qui se disposeraient suivant la surface libre du ménisque

liquide, c'est-à-dire dans une région d'épaisseur très supérieure à leurs propres dimensions.

Ce fait était du reste vérifiable. Il suffisait de laver les surfaces avec un liquide propre et volatil, tel que de l'alcool éthylique.

J'ai fait dans ce but toute une série d'essais, au cours desquels je prenais la précaution, après polissage des électrodes au papier rouge, de les laver quelques instants à l'alcool bouillant. Toute particule métallique, même invisible à la loupe, retenue à la surface des électrodes, par exemple grâce à un mince film de corps gras adhérent à celles-ci, me paraît devoir dans ces conditions être séparée de l'électrode. En fait, les contacts dans l'air ont montré par ce traitement une très grande régularité, avec un jeu n'excédant pas $0,3 \mu$, tout au moins lorsque des variations importantes de température ne viennent pas apporter aux expériences des perturbations systématiques, dont il sera question plus loin.

Le plus souvent, en effet, le contact s'établit pour une position bien déterminée du tambour de la vis motrice; pour le faire cesser, il faut alors éloigner les électrodes de $0,3 \mu$; pour le rétablir, il faut les rapprocher d'autant.

Entre le contact et la rupture, il y a donc normalement le jeu extrêmement faible de $0,3 \mu$, les électrodes étant dans l'air. Mais, il convient de signaler qu'il se produit parfois, sans que le phénomène perde sa régularité, un lent recul de la position du chariot pour laquelle il y a contact. Par exemple, j'observe le contact pour la lecture $0,3 \mu$ à la tête de la vis motrice, je le fais cesser à $0,6 \mu$, je ne le rétablis qu'à $0,2 \mu$, pour le faire cesser à $0,5 \mu$, et ceci à plusieurs reprises; puis, sans cause apparente, le contact ne se rétablit qu'à $0,1 \mu$, pour cesser à $0,4 \mu$..., etc.

J'ai pensé tout d'abord que cela pouvait tenir à un léger glissement de l'électrode mobile par rapport au chariot qui la porte, lors du contact, car à ce moment il peut y avoir dépassement de la position exacte du contact, et poussée sur l'électrode mobile. Je me suis assuré qu'il n'en est rien, car on ne provoque pas un tel glissement en tournant la vis motrice, au delà du point de contact, de plusieurs dixièmes de tour. Du reste, la même variation systématique se présente aussi en sens inverse.

En réalité, il s'agit certainement d'un effet thermique. Observant en effet un contact parfaitement stable, à $0,3 \mu$ près, avec électrodes lavées à l'alcool bouillant, j'ai coupé l'arrivée de la vapeur du chauffage central: aussitôt, un recul rapide par dixième de microns s'est produit. Ce résultat me paraît dû à de légères inégalités de contraction par refroidissement.

Pour éliminer cette cause possible d'erreur, je me suis astreint à ne jamais expérimenter sur l'huile avant que des conditions parfaitement stables de contact électrique dans l'air aient été atteintes, en attendant notamment que la température du laboratoire soit devenue constante.

De cette discussion se dégage la conclusion que, *entre électrodes métalliques plongées dans l'air, l'appréciation du contact électrique sous 110 volts ne comporte pas un jeu supérieur à $0,3 \mu$, toutes causes d'incertitudes étant supprimées.*

IV. Le régime conducteur des hydrocarbures liquides. — Apparition de l'état conducteur sous 110 volts. — C'est dans ces nouvelles conditions plus rigoureuses, et autrement plus précises que dans mon précédent travail, que des essais systématiques ont été faits ensuite avec l'huile de vaseline. Ce liquide a été choisi de préférence à l'essence et au benzène, en raison de sa non volatilité. On s'est adressé à une vaseline purifiée du commerce, qui avait déjà servi dans le précédent travail.

On opère comme suit: après chaque essai, les électrodes mouillées d'huile sont essuyées avec un chiffon propre, puis repolies au papier rouge, lavées à l'alcool bouillant, et enfin mises en place après refroidissement. On cherche alors la position du contact en l'absence d'huile; on vérifie à plusieurs reprises qu'un écart de $0,3 \mu$ rompt le courant (1), qu'un rapprochement égal le rétablit. On réalise une dernière fois l'écart de $0,3 \mu$ pour lequel le courant est rompu. On vérifie qu'il est bien en effet rompu même au galvanomètre. On écarte

(1) Le courant est en particulier exactement nul au galvanomètre.

alors de la quantité que l'on veut essayer ; on ferme le circuit : le courant est exactement nul, au milliampermètre et au galvanomètre. On dépose alors avec une pipette une goutte d'huile de vaseline, qu'on laisse tomber au niveau du mince intervalle compris entre les électrodes, sans bien entendu toucher celles-ci avec la pipette. Régulièrement, le courant intense s'établit aussitôt en général immédiatement, ou parfois avec un léger retard, de l'ordre de 1 s tout au plus, et cela pour des épaisseurs de 1 μ , 2 μ , 3 μ ... la différence de potentiel appliquée étant de 110 volts.

J'ai pu ainsi pousser dans des conditions similaires l'épaisseur pour laquelle l'interposition d'une goutte d'huile ferme le circuit, jusqu'à 11 μ .

J'ai alors tenté de voir si une couche d'huile, hautement conductrice sous 110 volts, le reste à tous les potentiels.

Pour cela, après repolissage des électrodes au papier rouge, après vérification que le contact dans l'air s'établit de façon fidèle, j'ai écarté les électrodes de 1,25 μ , établi la différence de potentiel de 110 volts, et laissé tomber une goutte d'huile entre les électrodes. Le courant intense s'établit. Je porte alors la différence de potentiel à 0,01 volt, courant nul au galvanomètre. Je remets 110 volts : courant intense, accusé par le milliampermètre (2,3 mA, qui correspondent aux 40 000 Ω environ disposés sur le circuit).

Je fais alors croître progressivement depuis zéro la différence de potentiel appliquée, et obtiens les résultats suivants.

TABLEAU III. — *Mesure du champ limite.*

$V_A - V_B$	i
< 10 volts	0
10	imperceptible
20	0,3 mA
30	0,4
40	0,5
⋮	⋮
110	2,3

Ainsi, lorsque l'huile est hautement conductrice sous 110 V, l'état particulier dans lequel elle se trouve ne commence à se manifester de façon sensible au milliampermètre qu'à partir de 10 volts environ, pour l'épaisseur étudiée. Il y a un champ limite qui est de l'ordre de

$$h_l = \frac{10}{0,000125} = 80\,000 \text{ volts/cm.}$$

Les électrodes d'acier m'ont fourni des résultats analogues. Par contre, les essais tentés avec l'aluminium (métal qui, dans les tubes à vide, éprouve une très faible pulvérisation) et avec le silicium (corps à la fois dur et réfractaire) ne m'ont donné aucun résultat net, contrairement à mon attente, car j'espérais éviter plus sûrement par leur emploi l'apparition de fines particules empruntées à la matière des électrodes.

L'aluminium se polit assez mal ; le silicium au contraire prend un beau poli. Mais, avec l'un et l'autre corps, il s'est présenté de telles incertitudes du contact dans l'air que j'ai dû renoncer à les utiliser (¹).

Disparition de l'état conducteur sous 110 volts. — Les résultats obtenus avec des

(¹) Les difficultés sont plus grandes encore avec le graphite, même soigneusement poli.

électrodes de laiton ou d'acier corroborent et précisent les conclusions de mon précédent travail. Cependant, avant de discuter ces faits et de tâcher de les interpréter, il y a lieu d'insister, plus que je n'avais pu le faire antérieurement, sur les points qui, en dépit des grandes conductivités observées, établissent pourtant une distinction tranchée entre les métaux ou les électrolytes, et les hydrocarbures liquides.

D'abord, nous venons de voir que l'état particulier de l'huile hautement conductrice sous 110 volts ne se manifeste pas pour des champs appliqués inférieurs à environ 80 000 volts/cm. On n'a évidemment rien de semblable avec les métaux.

L'état de l'huile subsiste cependant, tant que les électrodes n'ont pas été trop écartées l'une de l'autre, puisqu'il suffit d'appliquer un champ supérieur à 80 000 volts/cm pour obtenir à nouveau une grande conductivité, à condition peut-être qu'un temps trop long ne se soit pas écoulé.

Si d'autre part on écarte progressivement les électrodes (en circuit ouvert), on observe que le régime conducteur cesse assez régulièrement pour une épaisseur de 10 à 15 μ . Ce fait est conforme au précédent : si le champ limite déterminé plus haut conserve la même valeur à tous les potentiels, on est conduit sous 110 vols à l'épaisseur limite

$$e_l = \frac{110\ 0000}{80\ 000} \approx 14\mu.$$

c'est-à-dire de l'ordre de celle observée.

Mais, à la différence de ce qui se passait sous faible épaisseur et à champ variable, il n'y a plus réversibilité à épaisseur variable et potentiel constant : lorsque l'huile a perdu son état hautement conducteur par écart suffisant des électrodes ⁽¹⁾ (supérieur à environ 15 μ), elle ne recouvre plus cet état, par rapprochement des électrodes, elle resté désormais isolante, et il semble que la stabilité de cet état soit d'autant plus grande que l'écart des électrodes a été poussé plus loin.

Avant de décrire les expériences qui conduisent à ces conclusions, je dois signaler que, lorsqu'on abandonne à lui-même un temps suffisant le liquide dont on a constaté la haute conductivité sous 110 volts, il semble perdre de lui-même cet état ; toutefois, l'état isolant qui en résulte est moins stable que lorsqu'il a été obtenu en éloignant les électrodes.

Réapparition de l'état conducteur sous 110 volts. — Afin de me rendre compte de l'évolution qui se produit dans le liquide avant le rétablissement du régime conducteur, j'ai monté sur le circuit le galvanomètre avec son shunt habituel de 20 000 Ω , de façon à pouvoir le brancher facilement lors du régime isolant, et le disjoindre en régime conducteur. Les instruments étaient disposés de telle sorte que je puisse observer aisément, et tout en manœuvrant la machine à diviser, tout à la fois le milliampèremètre et le galvanomètre. Les électrodes sont en acier, l'une légèrement convexe et de 20 mm de diamètre, l'autre convexe également et de 4 mm de diamètre ; elles ont été polies à l'alumine.

Le circuit comporte une résistance de l'ordre de 100 000 Ω .

Après avoir formé un film d'huile assez épais, on diminue la distance, en appliquant chaque fois 110 volts, pour trouver la position du chariot pour laquelle le contact électrique se manifeste. Cette position est prise pour distance 0 des électrodes ⁽²⁾.

On trouve alors qu'il faut écarter les électrodes de 11 μ pour que le régime conducteur cesse ; c'est à partir de cette position que sont faites les observations du tableau suivant.

(1) Suivi ou non de l'application de la différence de potentiel de 110 volts.

(2) Ceci est arbitraire, puisque l'état conducteur peut apparaître pour une distance de l'ordre du micron mais peu importe ici.

TABLEAU IV. — *Rétablissement du régime conducteur (110 volts).*

DISTANCES DES ÉLECTRODES	INDICATIONS DU GALVANOMÈTRE
11 μ	Quelques oscillations aux premiers instants, puis courant exactement nul.
10	Quelques oscillations de 2 à 3 cm d'amplitude avec chaque fois retour au zéro; puis retour définitif au zéro.
9	Quelques très lentes oscillations de 2 à 3 mm, avec retour au zéro.
8	Une déviation de 3 mm, puis fixation au zéro.
7	Une lente impulsion de 10 cm, puis fixation au zéro.
6	Le spot reste fixe au zéro.
5	Le spot reste fixe au zéro.
4	Spot fixe, puis impulsion de 5 cm durant une dizaine de secondes, puis retour au zéro.
3	Impulsion de 5 cm, durant 30 secondes, puis retour au zéro.
2	Le cadre du galvanomètre tourne d'environ 30° et reste à peu près fixe en cette position.
1	Etablissement du régime conducteur.

Les électrodes sont alors nettoyées et repolies, et l'on opère dans les mêmes conditions que ci-dessus.

La rupture a lieu pour 10 μ (110 volts).

TABLEAU V. — *Rétablissement du régime conducteur (suite).*

DISTANCES DES ÉLECTRODES	INDICATIONS DU GALVANOMÈTRE
10 μ	Déviations à peu près constante de 5 cm.
9	Le spot sort de l'échelle.
8	Idem.
7	Déviations de 15 cm, avec des oscillations.
6	Idem.
5	Déviations un peu plus petites, avec des oscillations.
4	Déviations de 15 cm. Oscillations.
3	Le cadre tourne d'environ 30°. Oscillations, puis le spot rentre vers le milieu de l'échelle.
2	Régime conducteur.

On voit ici que le régime isolant était particulièrement instable; corrélativement, le régime conducteur apparaît à 2 μ .

Voici deux autres séries d'observations faites dans des conditions similaires, après repolissage des électrodes.

On remarquera la très grande stabilité du liquide dans la deuxième série. D'une façon générale, le liquide semble présenter un régime isolant d'autant plus stable que l'on part d'une plus grande distance initiale.

TABLEAU VI. — Rétablissement du régime conducteur (suite).

DISTANCES DES ÉLECTRODES	INDICATIONS DU GALVANOMÈTRE
<i>1^{re} série.</i> — La rupture a eu lieu à 7 μ .	
7 μ .	Déviations $\delta = 20$ cm environ.
6	Idem. Lentes oscillations.
5	Oscillations de 10 cm; retour à 1 cm.
4	Impulsion de 20 cm; retour à 5 mm.
3	$\delta = 3$ cm. Retour au zéro.
2	Impulsion de 10 cm. Retour près du zéro.
1	Oscillations autour d'une moyenne de 20 cm.
0	Contact.
<i>2^e série.</i> — En écartant à nouveau, la rupture a maintenant lieu à 14 μ .	
14 μ .	}
5	
4	Lente déviation de 15 cm avec retour au zéro.
3	Idem.
2	Lentes oscillations entre 0 et 15 cm; retour au zéro.
1	Régime oscillant lent vers le milieu de l'échelle. Une étincelle (brusque impulsion).
0	Contact.
<i>3^e série.</i> — La rupture a lieu à 10 μ . La distance est alors portée à 20 μ .	
20 μ .	}
19	
9	}
8	
7	Pas de déviation.
6	Idem.
5	Idem.
4	$\delta = 10$ cm, puis retour au zéro.
3	$\delta = 10$ cm; oscillations; retour à $\delta = 1$ cm.
2	$\delta = 25$ cm; une étincelle; oscillations.
1	Le cadre tourne de 45°.
0	Contact.

Ces quelques observations, qui ont été renouvelées plusieurs fois encore, montrent l'instabilité fréquente, signalée antérieurement, du régime isolant, et la façon soudaine dont il disparaît lorsque la distance des électrodes devient soit nulle, soit très faible.

Pour faire réapparaître l'état hautement conducteur (sous 110 volts) dans une huile qu'il l'a perdu par écart des électrodes, il est donc nécessaire de rapprocher les électrodes de façon à établir un champ extrêmement intense, peut-être de l'ordre de 10⁶ volts/cm ou même le contact. Ceci fait, l'état hautement conducteur (sous 110 volts) subsistera à nouveau jusqu'à une distance de l'ordre de 10 à 15 μ .

Ainsi, dans le sens des épaisseurs croissantes, et sous 110 volts, l'huile reste hautement

conductrice depuis 0 jusqu'à 10 à 15 μ ; dans le sens des épaisseurs décroissantes, l'huile qui a perdu sa conductivité par écart des électrodes reste isolante depuis l'infini jusqu'à une distance critique, probablement de l'ordre du micron

On peut dire encore : à distance variable, et sous 110 volts, il y a pour l'huile à l'état isolant un champ critique h_c d'apparition de l'état hautement conducteur, et ce champ est de l'ordre de 10^6 volts : cm ; il y a un champ limite h_l de disparition définitive de l'état hautement conducteur, et il est environ dix fois plus faible que l'autre.

Si l'on admet la généralité de ces faits on en conçoit l'importance en ce qui concerne la fidélité des contacts électriques, notamment dans les instruments de mesure, relais, etc. Si le contact électrique doit subsister entre deux pièces métalliques, dont l'une au moins soit susceptible de subir de très petits déplacements, inférieurs à une dizaine de microns, il y aura un avantage évident, d'après ce qui précède, à mouiller les faces en regard par un hydrocarbure non volatil, comme l'huile de vaseline. On aura un contact permanent parfaitement stable, alors que, sans huile, chaque déplacement peut rompre le circuit.

Réciproquement, si un circuit doit rester ouvert tant que deux pièces métalliques, supposées très voisines l'une de l'autre, ne sont pas au contact, il y aura encore avantage à interposer de l'huile de vaseline entre elles, car nous avons vu que, à moins de prendre des précautions rigoureuses, le contact électrique, dans l'air, peut avoir lieu même lorsque les surfaces sont à plusieurs microns de distance, alors que, dans l'huile, le contact électrique ne peut avoir lieu que par réalisation soit du contact mécanique réel, soit de l'extrême proximité des surfaces (distance de l'ordre du micron) (1).

Phénomènes corrélatifs de la disparition ou de l'apparition du régime conducteur.

— Lorsque le régime conducteur est établi dans l'huile de vaseline, le champ extérieur appliqué au film liquide est très faible pour un courant de l'ordre de 2 mA. Il ne saurait se produire dans ces conditions de phénomènes d'ordre disruptif, tels que aigrettes, étincelles, etc., et en fait, je n'en ai jamais observé dans ces conditions. Au contraire, lorsqu'on écarte les électrodes en maintenant la différence de potentiel appliquée (ce que j'évitais en général, pour corroder le moins possible les électrodes), au moment où l'huile redevient isolante, la différence de potentiel reprend sa valeur statique et le champ redevient intense. Les conditions sont alors remplies pour la production de phénomènes disruptifs, si la distance des électrodes le permet. C'est ce qui explique dans ce cas l'observation fréquente d'étincelles, déjà signalée dans mon précédent travail, et que les présentes expériences n'ont fait que vérifier. D'une façon générale, le régime disruptif et le régime conducteur correspondront donc à des conditions en quelque sorte opposées, l'un sera exclusif de l'autre (2). Le passage d'étincelles nombreuses s'accuse au milliampermètre par un courant de quelques dixièmes de milliampère, si la résistance du circuit est de l'ordre de 20 000 Ω : on constate alors que le courant par étincelles est essentiellement irrégulier, l'aiguille du milliampermètre oscille constamment et irrégulièrement ; il n'y a du reste là rien de surprenant. Lorsque le circuit est branché sur le galvanomètre, donc en régime isolant de l'huile, il arrive parfois, quoique rarement, qu'une étincelle isolée éclate dans l'huile. Il se produit alors une très brusque impulsion du spot, qui n'a rien de comparable avec les lentes impulsions erratiques ordinairement observées, et est donc parfaitement reconnaissable.

Je n'ai jamais vu de semblables étincelles précéder l'apparition du régime conducteur. Au reste, il est vraisemblable (2) que, en deçà d'une certaine épaisseur pour laquelle le potentiel explosif doit passer par un minimum, il prend rapidement des valeurs considérables lorsque l'épaisseur diminue encore. On comprend, dans ces conditions, que l'apparition d'étincelles aux très faibles épaisseurs pour lesquelles s'observe le régime conducteur, soit un phénomène purement accidentel.

(1) Voir aussi à ce sujet L. BRÜNINGHAUS, *Annales de l'Office national des Combustibles liquides*, 4 (1930), 635.

(2) Des surfaces d'électrodes dont le poli est insuffisant sont favorables à l'apparition d'étincelles, et empêchent l'établissement du régime conducteur.

(3) Par analogie avec ce qui se passe dans les gaz.

S'il semble bien n'y avoir aucune connexion entre le régime conducteur et les brusques impulsions du spot du galvanomètre qui se produisent accidentellement en régime isolant, on n'en peut pas dire autant des impulsions erratiques mais lentes qui précèdent très régulièrement l'apparition du régime conducteur. Je crois que les deux phénomènes relèvent d'une seule et même cause, dépendent de mécanismes analogues.

Etat des électrodes. — Je me suis toujours préoccupé de préciser ce qui advient à la surface même des électrodes, après plusieurs établissements et ruptures du contact, soit dans l'air, soit dans l'huile et aussi après le passage du courant intense dans l'huile.

Dans l'air, on observe en général, par un examen attentif à la loupe, des traces d'un léger dépoli dans la région du contact; ce dépoli est en rapport avec l'intensité du courant et avec le nombre des ruptures. Il peut être rendu très faible, ou même inobservable, si l'on prend la précaution d'insérer sur le circuit une résistance suffisante pour que le courant soit limité à 0,1 mA. Cette précaution n'empêche nullement la fermeture du circuit par insertion d'une goutte d'huile, entre électrodes distantes de moins de 12 μ . Ceci exclut, ainsi que je l'avais déjà indiqué, un rôle quelconque de particules métalliques venant fermer le courant à travers le film d'huile.

Le passage du courant à travers l'huile, en régime conducteur, s'accompagne, ainsi que je l'avais déjà signalé, de la formation sur les électrodes, dans la région du contact, de taches noires, dont les dimensions dépendent tout à la fois de la courbure des électrodes, de l'intensité du courant, et de la durée de son passage. Avec des électrodes planes et parallèles, ces taches peuvent prendre une grande extension, c'est-à-dire atteindre au bout de quinze minutes et pour un courant de l'ordre de 0,1 ampère, par exemple, un diamètre de 4 à 5 mm. Avec des électrodes convexes, les taches restent naturellement plus localisées. Lorsque le courant est faible et de courte durée, elles se limitent à des points imperceptibles à l'œil nu, mais nettement décalables par un examen attentif à la loupe. A mesure que le courant passe, elles s'étendent progressivement. Le liquide lui-même reste parfaitement limpide, tout en prenant une odeur particulière d'huile décomposée, lorsque le courant a été intense et durable.

Ces taches ne sont pas très adhérentes; on les enlève aisément par essuyage avec un chiffon doux. La surface des électrodes ainsi mise à nu présente alors des traces d'une légère corrosion.

Nous verrons plus loin que ces faits contribuent à rattacher les phénomènes de conduction intense dans les liquides étudiés, à ceux qui se produisent dans la décharge à travers les mêmes corps, pris à l'état de vapeur.

Y a-t-il un courant limite? Lorsque le régime conducteur s'établit, la résistance (apparente) se montre d'autant plus faible que le courant est plus intense⁽¹⁾; et j'ai montré antérieurement que le courant n'est en fait limité que par les résistances disposées sur le circuit. Il s'agit donc d'un régime instable, comparable à celui dont les gaz sont le siège, lorsque la différence de potentiel appliquée dépasse celle qui correspond à la saturation.

Ainsi, *le régime conducteur des hydrocarbures liquides est à rapprocher du régime de l'amorçage de l'arc dans les gaz.* Le fait que ce régime ne s'accompagne, dans ces liquides, d'aucune émission de lumière, sera interprété plus loin.

*
**

V. Discussion. — Les faits à interpréter se ramènent en définitive, à la comparaison des conditions d'établissement et de suppression du courant électrique dans l'air et dans l'huile de vaseline, respectivement.

(1) Cette propriété subsiste d'ailleurs en régime isolant. Voir notamment à ce sujet BLACK (D.-H.) et NISBET (R.-H.), *Phil. Mag.*, 40 (1930), 84.-852.

1° Dans l'air, la zone de contact électrique est normalement de $0,2 \mu$, c'est-à-dire que le contact établi à $0,0 \mu$ n'est sûrement rompu que pour une rotation du tambour de la vis motrice qui correspondrait théoriquement à une translation du chariot de $0,2 \mu$. Il me paraît téméraire d'affirmer que le chariot se déplace exactement de cette quantité, car il ne faut pas oublier que le premier effet produit lorsqu'on actionne un système de commande quelconque consiste en des flexions des pièces interposées entre le système mu et le système moteur. Le fait que le contact subsiste, en général, de $0,0$ à $0,2 \mu$ inclus, et que la rupture subsiste, lors du mouvement inverse, de $0,3 \mu$ à $0,1 \mu$ inclus ne me paraît nécessiter aucune interprétation particulière, capable de justifier la conclusion qu'un film d'air de $0,2 \mu$ d'épaisseur conduirait comme un métal. Nous admettons donc que l'air reste isolant tant qu'il n'y a pas contact mécanique entre les électrodes. Ceci est du reste conforme à des faits bien connus touchant les potentiels explosifs des gaz, et en particulier de l'air sous la pression atmosphérique : entre électrodes dont les surfaces ont des rayons de courbure grands par rapport à la distance qui les sépare, le potentiel explosif passe par un minimum pour une distance donnée, et croît très rapidement lorsque la distance diminue encore.

2° Avec les hydrocarbures liquides, comme l'huile de vaseline, l'essence minérale, le benzène, les choses se passent tout différemment.

a) Fait très remarquable, une goutte d'huile fraîche ferme un circuit sur 110 volts jusqu'à une épaisseur d'environ 11μ , comme le ferait une goutte de mercure.

b) Cet état hautement conducteur (sous 110 volts) ne commence à se manifester au milliampèremètre, à potentiels croissants, qu'à partir d'un champ limite de l'ordre de 80 000 volts/cm.

c) L'état hautement conducteur subsiste tant que les électrodes n'ont pas été trop écartées l'une de l'autre.

d) Lorsqu'on fait croître la distance (en circuit ouvert), l'état conducteur disparaît sous 110 volts, lorsque le champ appliqué reprend sensiblement la valeur du champ limite soit 80 000 volts/cm.

e) Mais alors, l'état conducteur est définitivement aboli; il ne se rétablit que pour une distance critique, soit très faible (1μ), soit peut-être nulle.

f) A partir de ce moment, et sous 110 volts, l'huile restera hautement conductrice, dans le sens des épaisseurs croissantes, depuis 0 jusqu'à 10 à 15μ ; dans le sens des épaisseurs décroissantes, l'huile qui a perdu sa conductivité par écart des électrodes restera isolante depuis l'infini jusqu'à une distance critique, dont l'ordre est peut-être du micron.

g) L'état isolant de l'huile n'est pas simple. Deux régimes s'y superposent en général : un régime stable hautement isolant, le même probablement qui s'observe pour de grandes épaisseurs; un régime semi-conducteur instable.

h) Les impulsions erratiques lentes et à amplitude très variable du galvanomètre en régime semi-conducteur instable précèdent très régulièrement l'apparition du régime conducteur. Les deux phénomènes paraissent relever d'une seule et même cause.

Tels sont les faits. Une première conclusion s'en dégage : Il y a dans l'huile fraîche quelque chose qui, sous 110 volts, rend le liquide conducteur entre 0 et 11μ , mais disparaît au delà. Ceci suggère l'existence préalable dans l'huile d'ions, que j'appellerai les ions naturels de l'huile comparables aux ions naturels de l'air.

L'apparition du courant intense se présente dans des conditions qui rappellent l'amorçage de l'arc électrique, c'est-à-dire la période de la décharge dans les tubes à vide pour laquelle une multiplication extrêmement rapide des ions permet le passage d'un courant dont l'intensité croît très vite. Ces faits s'interprètent aisément.

En effet, les phénomènes que j'observe présentent certains points de ressemblance avec la décharge dans les vapeurs d'hydrocarbures, en courant continu. Le phénomène a été étudié récemment d'une façon très soignée par Linder (1), sur le pentane, l'hexane,

(1) LINDER (E.-G.), *Phys. Rev.*, 36 (1930), 1375.

l'heptane, l'octane et le décane normaux. Cet auteur, en appliquant des différences de potentiel de l'ordre de 500 volts, obtient des courants de 0,5 à 2,3 milliampères dans la vapeur d'hydrocarbure à basse pression (inférieure à 0,1 mm Hg). Il observe de *grandes fluctuations de la différence de potentiel entre les électrodes*, pour un courant d'intensité donnée : fluctuations quelquefois du quart de la différence de potentiel totale.

D'autre part, *la décharge est presque complètement obscure* : à peine une légère lueur autour de la cathode, et *fréquemment pas du tout*. La lueur *diminue d'intensité lorsque la pression croît*. Par contre, un grand nombre d'étincelles scintillent sur la surface de la cathode ; elles sont petites et bleuâtres.

Enfin, il se *dépose sur les électrodes, et surtout sur la cathode, une sorte de cire brune*, hydrocarbure complexe de grande masse moléculaire, insoluble dans tous les solvants organiques usuels, en même temps que divers gaz (hydrogène, méthane, éthylène, propylène, acétylène) se dégagent.

Il est clair qu'il s'agit d'une décomposition chimique de la vapeur. Que cette décomposition soit intimement liée au processus de conduction électrique est prouvé par le fait très remarquable que *la vitesse de réaction est proportionnelle à l'intensité du courant* ; elle est d'autre part indépendante de la pression, de la production de cire sur la cathode, de la différence de potentiel entre les électrodes, et de la distance entre celles-ci. Ce dernier point indique que la réaction chimique n'a pas pour siège la colonne positive, mais la région avoisinant la cathode. Il existe à son niveau, comme dans les gaz usuels, une chute de potentiel importante, il y a là une région de grande énergie électronique, et de grande densité des ions positifs, et il est vraisemblable que c'est là, ou même sur la cathode qu'a lieu la réaction chimique de décomposition de l'hydrocarbure, au moment de la neutralisation des ions, ions complexes formés d'amas de molécules autour d'un ion simple.

Ces caractéristiques se retrouvent assez fidèlement dans la conduction des mêmes corps à l'état liquide. Les impulsions erratiques du galvanomètre en régime semi-conducteur sous 110 volts rappellent *mutatis mutandis*, les fluctuations de différence de potentiel dans la vapeur, sous intensité constante. Dans le liquide, le passage du courant en régime soit conducteur, soit semi-conducteur, ne s'accompagne d'aucune lumière ; dans la vapeur, la lumière émise est très faible, ou même absente, son intensité diminue lorsque la pression croît. Il se peut que cela corresponde au fait connu que les molécules complexes s'ionisent plus aisément que les molécules plus simples.

Dans le liquide, malgré tous les efforts que j'ai faits pour éviter la formation de taches foncées sur les électrodes, un examen attentif m'a montré que ce dépôt avait toujours lieu : réduit à un point imperceptible lorsque le courant du régime conducteur est très faible, ou dure peu, il occupe une étendue croissante de la surface des électrodes pour des courants plus intenses et plus durables, et j'ai signalé antérieurement l'odeur d'huile décomposée que l'on observe fréquemment alors. C'est encore un point d'analogie avec la décharge dans la vapeur.

Les petites étincelles bleues signalées par Linder dans la vapeur, je les observe dans le liquide lorsque j'écarte les électrodes en circuit fermé, au moment où le régime conducteur cesse.

Ainsi, il n'est pas douteux que nous nous trouvons, dans les cas du régime conducteur et du régime semi-conducteur des hydrocarbures liquides, en présence de phénomènes tout à fait comparables à ceux qui se produisent dans la décharge dans les vapeurs des mêmes corps, les différences n'étant dues qu'au changement assez important des conditions qui résulte du passage d'une vapeur chaude et à basse pression à un film liquide probablement froid sous la pression atmosphérique.

Si l'état conducteur survit à la suppression du champ, sans changement de distance, c'est qu'il reste alors dans la masse du liquide des ions en nombre suffisant pour reproduire les mêmes effets que les ions naturels de l'huile.

Si l'état conducteur ne survit pas à une diminution suffisante du champ, par accroissement de distance, c'est que, pour un champ appliqué trop faible, les phénomènes de multiplication des ions (ionisation par chocs, par exemple) n'ont plus lieu. Alors, les ions

n'existent plus en quantités sensibles que près des électrodes, où subsistera une couche double: mince atmosphère d'ions dans le liquide, charge équivalente et de signe contraire à la surface du métal; de très rares ions, ou même pas du tout, dans la masse du liquide.

Lorsqu'on rapproche alors les électrodes, aucun courant intense ne peut s'établir, puisque la masse du liquide est vide d'ions, ou presque, sous la réserve que, de temps à autre, par suite de l'agitation thermique, un ion est lancé hors de sa couche d'équilibre, et y revient avec une vitesse suffisante pour produire quelques ions par chocs: courant momentané, essentiellement variable, observé au galvanomètre, et d'autant moins probable que le liquide aura été plus complètement privé de ses ions.

Ce n'est qu'en rapprochant les électrodes, assez pour que les deux atmosphères d'ions qu'elles portent se compénètrent, qu'une nouvelle multiplication rapide des ions deviendra possible: d'où réapparition du régime conducteur pour une distance de l'ordre du micron.

L'existence des ions naturels des hydrocarbures liquides est conforme à d'autres observations. Lorsque j'ai commencé l'étude de l'électrisation de ces liquides, par simple écoulement dans des tubes métalliques, j'ai constaté qu'à la première passe, l'essence emportait une charge négative énorme; elle était souvent nulle aux passes suivantes, et il devenait très difficile de remettre le tube en état de produire le phénomène, même avec de l'essence fraîche ⁽¹⁾. Comment expliquer ce fait, autrement que par la captation, par le métal (sous l'action de la force électromotrice de contact métal-liquide), des ions positifs préexistants dans le liquide? Le liquide, privé de ses ions positifs par fixation de ceux-ci aux parois du tube, de ses ions négatifs par décharge dans le « collecteur », sera incapable de se charger à nouveau. Le tube, tapissé à l'intérieur d'un film d'ions positifs, faisant face à des charges négatives équivalentes portées par le métal, ne pourra non plus prendre les ions positifs d'une essence fraîche, tant que ce film n'aura pas été détruit, et l'on sait combien ces films sont souvent tenaces.

L'origine des ions naturels des hydrocarbures liquides se rattache évidemment à une cause permanente, venant compenser des destructions d'ions par recombinaison. Il s'agit d'ailleurs d'une cause à action lente, et non d'une sorte de dissociation électrolytique très faible, mais rapide, puisque, nous l'avons vu l'enlèvement des ions est permanent. On peut penser à un phénomène radioactif, mais il est prouvé que, si les pétroles bruts contiennent de l'émanation du radium, ils sont, par contre, complètement dépourvus de radium. Parmi les produits de désintégration de l'émanation, il n'y aurait guère à retenir que le radium D, dont la période de transformation est de 16,5 ans; mais ce corps solide doit vraisemblablement être éliminé, ainsi que ses produits de transformation (radium E et radium F) au cours des opérations de rectification. Il semble donc que l'on doive envisager une autre cause permanente d'ionisation lente, telle que la radiation cosmique de Millikan, qui contribue du reste certainement à la formation des ions naturels de l'air.

VI. Conclusions. — En définitive, les résultats principaux de ce travail sont les suivants:

1° Dans l'air, en observant des précautions rigoureuses de polissage et de propreté des électrodes, et en opérant dans un local à température à peu près constante, l'appréciation du contact électrique, sous 110 volts, ne comporte pas un jeu supérieur à 0,3 μ .

2° Une goutte d'huile de vaseline fraîche ferme un circuit (sur 110 volts), comme le ferait une goutte de mercure, jusqu'à une épaisseur d'environ 11 μ .

3° Cet état hautement conducteur ne commence à se manifester, à potentiels croissants et épaisseur constante, qu'à partir d'un champ limite d'environ 80 000 volts/cm,

4° Il subsiste tant que les électrodes n'ont pas été trop écartées l'une de l'autre.

5° Pour un écart supérieur à 10 ou 15 μ , l'état conducteur est définitivement aboli; il

⁽¹⁾ L. BRÜNINGHAUS. *J. Phys. Rad.*, 7° s, 1 (1930), 12.

ne réapparaît que pour une distance critique soit très faible (1μ), soit peut-être nulle.

6° A partir de ce moment, l'huile restera hautement conductrice, dans le sens des épaisseurs croissantes, jusqu'à 10 à 15 μ , pour redevenir isolante au delà, et le rester jusqu'à épaisseur à nouveau presque nulle.

Ce dernier résultat est susceptible d'applications concernant la régularisation des contacts électriques dans les instruments de précision comportant des pièces sujettes à de très petits déplacements relatifs.

7° L'état isolant de l'huile n'est pas simple : il y a un régime stable hautement isolant et un régime semi-conducteur instable, qui en général superposent leurs effets. Le régime semi-conducteur précède toujours l'apparition du régime conducteur et paraît relever d'une même origine.

8° Le régime conducteur présente des analogies étroites avec celui de l'amorçage de l'arc dans les gaz. Les ions naturels de l'huile, résultant d'une cause ionisante extérieure au liquide, sont présumées nécessaires à la production des phénomènes observés.

Ce travail, comme le précédent, a été fait au Laboratoire de M. le professeur Cotton, membre de l'Institut, et c'est pour moi un agréable devoir de le remercier ici de la cordiale hospitalité qu'il a bien voulu m'y accorder.

Je remercie également M. le directeur de l'Office national des Combustibles liquides des subventions qui m'ont été accordées par cet établissement pour la poursuite de ces recherches.

Manuscrit reçu le 12 janvier 1931
