

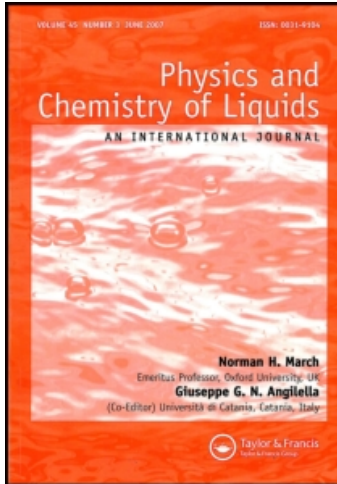
This article was downloaded by:

On: 28 January 2011

Access details: *Access Details: Free Access*

Publisher *Taylor & Francis*

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



## Physics and Chemistry of Liquids

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.informaworld.com/smpp/title~content=t713646857>

### Comportement Electromécanique de Divers Liquides Soumis à un Flux de Charges

A. T. Ahmed El-Haddad<sup>a</sup>; J. Fornazéro<sup>a</sup>; G. Mesnard<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Laboratoire de Physique Electronique, Université Claude Bernard de Lyon, Villeurbanne, Cedex, France

**To cite this Article** El-Haddad, A. T. Ahmed , Fornazéro, J. and Mesnard, G.(1981) 'Comportement Electromécanique de Divers Liquides Soumis à un Flux de Charges', *Physics and Chemistry of Liquids*, 10: 4, 347 – 361

**To link to this Article:** DOI: 10.1080/00319108108079090

**URL:** <http://dx.doi.org/10.1080/00319108108079090>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.informaworld.com/terms-and-conditions-of-access.pdf>

This article may be used for research, teaching and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, re-distribution, re-selling, loan or sub-licensing, systematic supply or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

# Comportement Electromécanique de Divers Liquides Soumis à un Flux de Charges

A. T. AHMED EL-HADDAD, J. FORNAZÉRO et G. MESNARD

*Université Claude Bernard de Lyon, Laboratoire de Physique Electronique,  
43 Boulevard du 11 Novembre 1918, 69621 Villeurbanne Cedex, France*

*(Received January 14, 1981)*

On développe divers aspects de la déformation de couches minces liquides isolantes déposées sur un substrat conducteur horizontal et soumises à un flux constant de charges. On précise la forme des caractéristiques reliant la tension qui apparaît aux bornes de la couche au courant qui passe. On étudie aussi la taille des cellules en fonction du courant. Dans le cas d'une décharge couronne, on envisage l'influence de la polarité, de la pression de l'atmosphère, de la forme de la tension appliquée. On examine aussi le cas de l'apport de charges par cathode chaude, par canon à ions et par canon à électrons sous vide. Des effets électromécaniques particuliers sont enfin envisagés.

Various problems concerning the deformation of thin insulating liquid layers set on an horizontal conducting substrate submitted to a constant flux of charges are studied. The shape of the characteristics connecting the voltage which appears across the layer and the current crossing is examined. The size of the deformation cells is also studied vs current. For the case of a corona discharge, the influences of polarity, pressure of the atmosphere, shape of the voltage applied are considered. One examines also the supply of charges by a hot cathode, an ion gun and an electron gun in vacuum. Particular electromechanical effects are finally introduced.

## 1 INTRODUCTION

La déformation cellulaire obtenue quand un flux de charges est dirigé sur la surface libre d'un liquide isolant déposé en couche mince sur un substrat conducteur relié à la masse a été envisagée antérieurement en relation avec les mécanismes de la déformation.<sup>1,2</sup> Plus généralement le comportement électromécanique peut être appliqué à l'étude de liquides et aussi à la caractérisation de faisceaux de particules chargées. Nous nous proposons, dans cet esprit, de préciser divers aspects des déformations et des mouvements

dus aux forces électromécaniques, au delà du phénomène particulier de la déformation cellulaire.

Nous étudierons d'abord la déformation de liquides isolants organiques en faisant intervenir la relation entre le courant et la tension qui apparaît aux bornes du liquide et en précisant la taille des cellules. Puis nous examinerons l'influence des conditions d'apport des charges et divers mouvements du liquide. Enfin des liquides particuliers seront envisagés.

## 2 CARACTERISTIQUES COURANT-TENSION EN REGIME DE DECHARGE COURONNE

### 2-1 Principes

Lorsqu'on établit, dans l'air à la pression atmosphérique, une décharge couronne entre une pointe et le substrat recouvert de liquide, on doit couramment introduire une tension  $E$  de plusieurs milliers de volts. On obtient alors aux bornes de la couche une tension  $V$  de l'ordre d'une centaine de volts, Il convient de déterminer cette tension tout en laissant la couche libre de se déformer de façon à respecter les conditions des études de déformation; ceci suppose que la surface libre est effectivement équipotentielle.

Nous tirerons la chute de tension  $V$  pour chaque courant  $I$  directement des caractéristiques  $I(E)$ . On utilise pour le substrat une électrode métallique avec un anneau de garde, afin de lire séparément les courants recueillis par la partie centrale et par l'anneau de garde; seul le premier, qui correspond à une région où la densité de courant est sensiblement uniforme, est pris en considération. Pour cela le substrat est constitué par une métallisation réalisée en deux parties sur une plaque isolante.

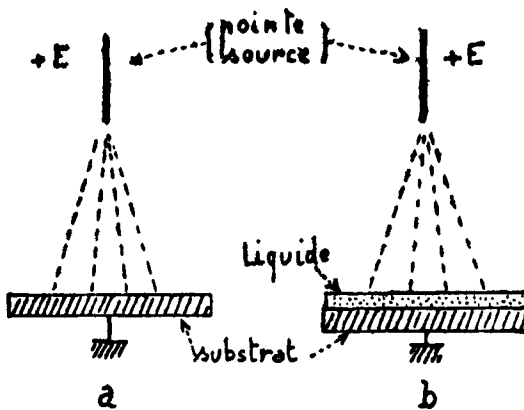


FIGURE 1 Schéma des conditions de mesure.

La mesure repose sur le principe suivant. La caractéristique courant-tension  $I(E)$  est fonction de la distance de la plaque à la pointe: on la trace d'abord sans liquide (Figure 1a), puis avec liquids (Figure 1b), en plaçant, dans ce dernier cas, la surface libre du liquide à la même distance de la pointe. Les caractéristiques  $I(E)$  seraient les mêmes dans les deux cas si la chute de tension à travers la couche était négligeable. En fait il y a pour chaque courant un décalage  $V$  que nous considérons comme étant la chute de tension à travers la couche. Une évaluation satisfaisante de  $V$  exige une très bonne stabilité de la pointe car sa forme influence beaucoup celle des caractéristiques  $I(E)$ ; en particulier on n'utilise que des pointes "stabilisées" par quelques décharges. De toutes façons le précision est médiocre, mais il nous suffit d'obtenir une valeur approximative. D'ailleurs la théorie de la mesure n'est qu'approchée pour une surface libre déformée.

## 2.2 Résultats

Il convient d'abord d'examiner s'il y a une injection de charge dans la couche. Effectivement, si, quelquefois, le début de la courbe  $I(V)$  est assez rectiligne, les caractéristiques s'incurvent très vite dans le sens correspondant à une injection. Un autre résultat important est que, lorsque la déformation s'amorce, la caractéristique passe de la région 1 à la région 2 en présentant une zone à résistance différentielle négative (Figure 2). Il faut l'interpréter par une diminution de la chute de tension à travers la couche, pour un courant donné, lorsqu'elle se déforme, du fait de l'obtention de zones de dépression du liquide. Cette diminution est particulièrement forte pour les liquides visqueux.

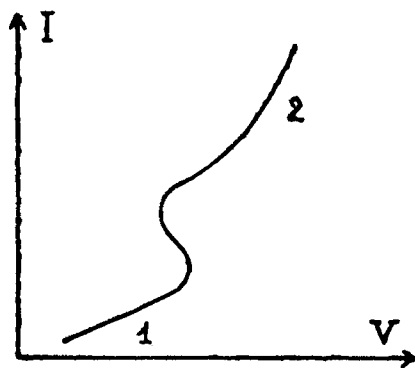


FIGURE 2 Allure de caractéristique  $I(V)$ .

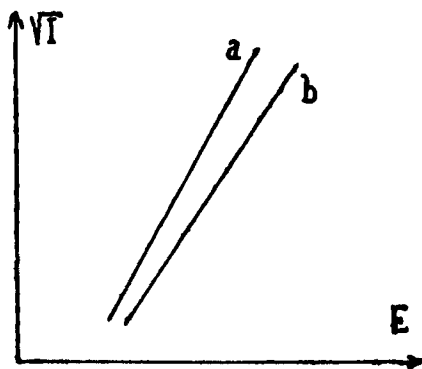


FIGURE 3 Droites obtenues dans la représentation  $\sqrt{I}$  en fonction de  $E$  avec et sans liquide.

Dans la partie 2, le courant croît rapidement avec la tension. Il faut voir là l'effet non seulement de l'injection mais aussi de l'évolution de la déformation, avec obtention de cellules de plus en plus petites: les chemins de conduction à travers la couche par les zones de dépression sont de plus en plus nombreux et la résistance effective moyenne donnée par la mesure diminue rapidement.

Pour l'étude générale de la caractéristique loin du seuil, il est intéressant de partir des courbes donnant  $\sqrt{I}$  en fonction de  $E$ , qui sont sensiblement rectilignes, à la fois sans liquide (droite a) et avec liquide (droite b) (Figure 3). Sur la figure nous avons volontairement exagéré l'écart entre les deux courbes, c'est-à-dire la valeur de  $V$ .

Ainsi la relation entre  $I$  et  $V$  est en gros de la forme  $\sqrt{I} = A(V - V_0)$ .  $V_0$ , qui est très différent de zéro, est une valeur extrapolée. En fait, si la courbe de  $\sqrt{I}$  en fonction de  $V$  n'est pas celle qui correspondrait à une injection idéale (il faudrait avoir  $V_0 = 0$ ), c'est que la couche change de forme en même temps que l'on fait varier  $I$ .

Du point de vue quantitatif, il est très important de noter que l'ordre de grandeur de  $V$ , pour un courant donné et des épaisseurs de couches comparables, est le même pour des corps très différents ayant des viscosités très diverses. Or, si la couche ne se déformait pas, non seulement  $V_0$  serait nul, mais en outre  $A^2$  varierait comme la mobilité  $\mu$  des charges injectées. On peut donc dire que, d'un corps à un autre, la déformation est telle que la tension aux bornes de la couche reste toujours du même ordre quelle que soit sa nature.

Des indications numériques sont données par le tableau suivant, pour divers liquides étudiés. On a noté la viscosité et les valeurs  $V_1$  et  $V_2$  de  $V$  obtenues respectivement pour des épaisseurs au repos de 0,1 et 0,2 mm, dans le cas d'un courant de  $1 \mu\text{A}$ .

Nature du liquide	Viscosité (poises)	V <sub>1</sub> (volts)	V <sub>2</sub> (volts)
huile de paraffine	2	125	210
huile de vaseline	0,32	95	200
huile de ricin	10	—	155
huile d'olive	0,85	80	140
huile d'arachide	2,7	90	160
huile de pompe à palettes	2,6	80	145
huile de haute viscosité	57	130	210

Les liquides précédents ont également été étudiés entre électrodes solides. La conduction a encore lieu par porteurs injectés mais les courants, pour une tension donnée, sont généralement plus faibles; ceci correspond à des conditions d'injection moins satisfaisantes et au fait que le liquide ne se déforme pas dans ce cas.

### 3 DIMENSIONS DES CELLULES

Nous nous intéressons ici au cas où l'on obtient une structure cellulaire. Il est difficile d'établir une loi concernant la taille des cellules en fonction des divers paramètres. En effet, la structure cellulaire n'est bien obtenue que dans une gamme limitée de valeurs des paramètres. Par ailleurs l'épaisseur du liquide déformé est difficile à contrôler car le liquide est toujours chassé vers l'extérieur. Enfin les cellules sont plus ou moins régulières et plus ou moins stables suivant les conditions, ce qui limitera encore la précision.

Il est normal de relier le diamètre des cellules au courant plutôt qu'à la tension aux bornes de la couche. Nous raisonnons bien entendu sur le courant moyen de densité  $J$ . Dans le cadre de la théorie statique des faibles déformation, ce diamètre  $D$  est  $\sqrt{2}$  fois plus grand que pour le modèle unidimensionnel, soit

$$D = 2\pi\sqrt{A\mu} J^{-1/2} \quad (1)$$

Il est alors intéressant de représenter les résultats en traçant des courbes de  $D$  en fonction de  $J^{-1/2}$ . Les courbes seraient des droites, indépendantes de l'épaisseur de la couche, si la théorie était correcte (nous opérons pour des épaisseurs variant autour de 0,2 mm).

La Figure 4 donne des résultats obtenus avec divers liquides (huile de pompe, huile de ricin, ...) dans une gamme assez étendue de valeurs de  $J$ . L'ensemble est assez cohérent, de sorte que l'on peut tracer une droite moyenne, mais, même dans le cadre de la théorie simple, il est normal qu'il y ait de la dispersion car  $A$  et  $\mu$  dépendent de la nature du liquide. Il ne faut

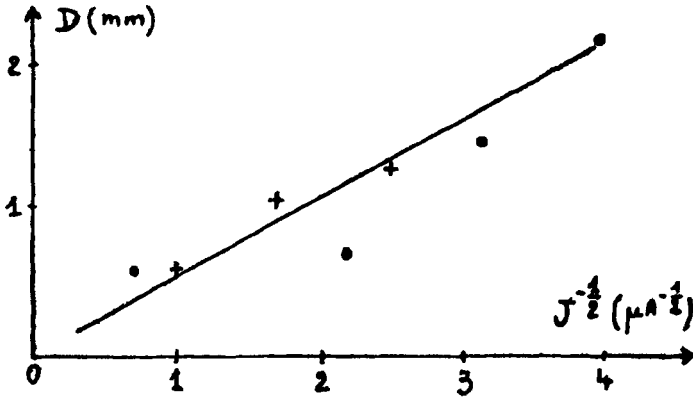


FIGURE 4 Variation du diamètre des cellules en fonction du courant.

toutefois pas tirer de ces résultats une conclusion absolue. Ainsi l'épaisseur au repos a une certaine influence, (le diamètre des cellules augmente avec l'épaisseur) et il y a des effets secondaires.

#### 4 INFLUENCE DES CONDITIONS DE CREATION DE LA DECHARGE COURONNE

##### Influence de la polarité

Les essais décrits jusqu'ici étaient effectués en produisant la décharge couronne dans l'air avec une polarité négative de la pointe. On a aussi fait des essais en inversant la polarité. Le courant, pour une tension et une géométrie données, est nettement plus faible pour la polarité positive. Ceci est normal, car les ions concernés ne sont pas les mêmes dans les deux cas et il faut tenir compte des conditions d'ionisation. Pour  $E$  donné, la déformation n'est pas la même pour les deux polarités. Mais les résultats deviennent analogues lorsqu'on les ramène à un même courant: la nature des charges apportées n'a donc pas d'influence importante, si la technique d'apport reste la même.

Dans le même ordre d'idées, notons que, quand une couche très isolante a été chargée, puis la tension  $E$  coupée, on fait réapparaître la structure cellulaire en approchant de la surface du liquide un fil relié à la masse.

##### Cas d'une pointe alimentée en alternatif

En alternatif, à la fréquence du secteur, le comportement résulte du courant moyen. Celui-ci est nettement moins élevé, pour une tension efficace donnée, que pour la polarité négative et c'est ce qui explique les différences observées.

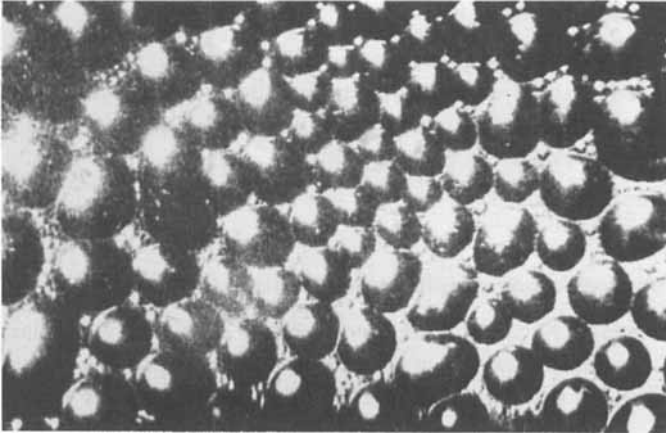


FIGURE 5 Structure cellulaire pour une tension efficace de 6 kV en alternatif (pointe à 1 cm de la surface).

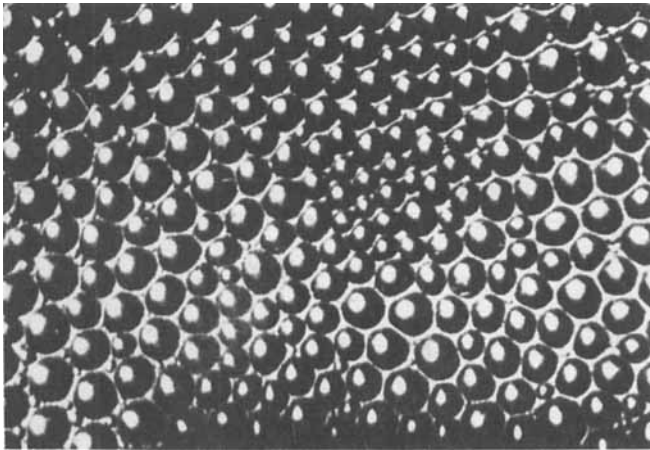


FIGURE 6 Structure cellulaire obtenue pour la même couche en appliquant une tension continue de 6 kV (pointe à 1 cm de la surface).

Les photographies des Figure 5 et 6 donnent un exemple de la différence de structure cellulaire obtenue, toutes choses égales par ailleurs. Le fait d'obtenir un effet moyen en alternatif est lié au fait que le temps de transit des charges dans la couche est supérieur à la période de la tension.



### Cas d'une pression réduite

On a fait aussi la décharge corona en abaissant la pression. Les caractéristiques de la décharge se modifient. Elle devient plus intense (tant que le vide n'est pas trop poussé) et les effets de déformation s'accroissent: c'est encore un effet de la variation du courant.

### Faisceau partiellement occulté ou contrôlé

Le faisceau peut être contrôlé en diamètre par un cylindre coaxial porté à un potentiel réglable. Il peut être partiellement occulté par une grille isolante. Dans tous les cas, on détecte aisément et conformément aux prévisions les régions de la surface du liquide qui reçoivent le faisceau, par un effet de dépression et par l'apparition de la structure cellulaire. Celle-ci constitue donc un moyen visuel commode d'étude de la structure et de l'intensité d'un faisceau; le choix du liquide n'est pas critique.

### Cas de plusieurs pointes

Nous avons envisagé le cas d'un ensemble de pointes, placées à la même distance (relativement faible) de la surface du liquide et portées à la même tension (Figure 7). On distingue les zones de déformation cellulaire associées aux diverses pointes (cf. Figure 8). Il est intéressant de noter l'absence de déformation à la limite entre deux faisceaux; ceci doit être attribué à leur répulsion mutuelle.

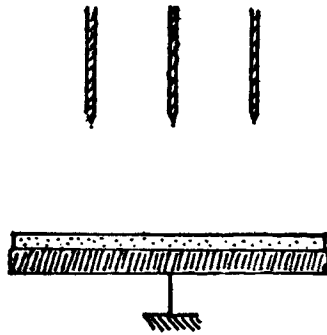


FIGURE 7 Dispositif comportant plusieurs pointes.

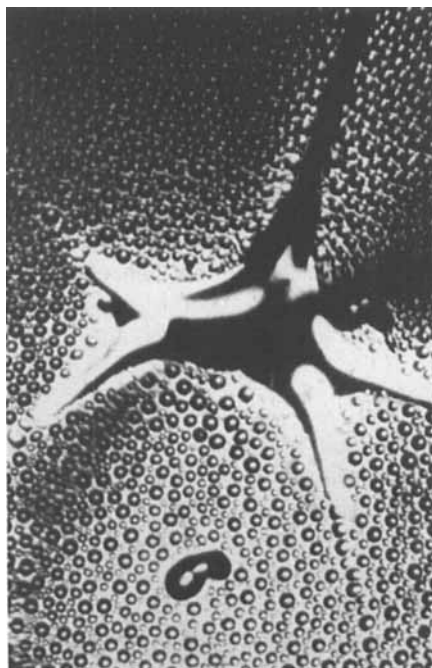


FIGURE 8 Déformation obtenue avec 5 pointes disposées suivant des génératrices d'un cylindre d'axe perpendiculaire à la surface et portées au même potentiel.

## 5 AUTRES METHODES D'APPORT D'IONS

### Emploi d'une cathode chaude

Afin d'apporter des charges par cathode chaude dans des conditions très souples, nous avons utilisé des cathodes chaudes au zirconate de baryum (3). Le zirconate est facile à préparer. On le dépose alors sous forme de poudre (per exemple par électrophorèse) sur un fil ou un ruban chauffé directement. Cette cathode peut fonctionner dans l'air ou sous vide poussé. En présence d'une atmosphère le courant n'est pas uniquement électronique, il est surtout ionique et relativement élevé; c'est dans ces conditions qu'ont été réalisés nos essais.

L'emploi d'une cathode chaude présente l'inconvénient de provoquer l'échauffement de la couche, ce qui modifie ses propriétés. Comme on a eu l'occasion de le signaler,<sup>2</sup> ceci gêne la déformation cellulaire, qui peut même disparaître complètement.

La méthode est surtout utile pour étudier l'amorçage de la déformation, car on contrôle beaucoup mieux que par décharge couronne et d'une façon très progressive l'apport des charges; en outre la tension  $E$  aux bornes du montage est ici beaucoup plus faible, ce qui permet une meilleure détermination de la tension obtenue aux bornes de la couche, en opérant comme précédemment.

A l'échauffement près, les caractéristiques de la déformation rappellent celles que nous avons données plus haut. Il faut toutefois noter que l'on obtient de très faibles chutes de tension aux bornes de la couche aux faibles niveaux du courant; l'injection n'est pas toujours parfaite et une caractéristique ohmique apparaît aux plus bas niveaux.

### Emploi d'un canon à ions

On a aussi utilisé un canon à ions fonctionnant sous pression réduite. Avec ce canon nous avons pu introduire des flux d'ions divers, en modifiant la polarité de la tension appliquée et en opérant dans diverses atmosphères: air, argon, oxygène, azote. On obtient de bonnes déformations cellulaires. Il n'y a pas d'influence notable de la nature des ions du faisceau; c'est la valeur du courant qui compte; mais il n'est pas le même pour une même tension suivant l'atmosphère et suivant la pression résiduelle à laquelle on opère.

Des conclusions analogues ont été obtenues dans le cas de décharges couronnes effectuées sous différentes atmosphères. Dans ce cas a été aussi examinée l'influence de l'humidité. Elle conduit à la disparation des cellules: on peut admettre que des ions  $\text{OH}^-$  provoquent un écoulement de charges en surface. La température de l'atmosphère a aussi été introduite comme paramètre: la décharge est un peu facilitée par une élévation de température, mais la déformation est contrariée pour des raisons déjà indiquées, liées à l'échauffement de la couche.<sup>2</sup>

Comparée à la décharge couronne dans l'air, la méthode du canon à ions est très efficace pour créer la déformation. L'injection de charges dans la couche se fait dans de bonnes conditions et on peut obtenir des chutes de tension très modérées dans la couche. Toutefois les couches s'altèrent très vite, mais il s'agit là d'un tout autre effet.

On a aussi combiné une injection par canon et une injection par pointe conduisant à des résultats tout à fait normaux.

## 6 EMPLOI D'UN CANON A ÉLECTRONS SOUS VIDE POUSSÉ

Les études sous vide poussé sont très intéressantes en utilisant des faisceaux purement électroniques. On a opéré essentiellement avec un canon de

tube à rayons cathodiques usuel. Mais la cathode était interchangeable; il fallait pratiquement la remplacer à chaque rentrée d'air dans le système à vide. La méthode est très souple; on peut régler l'intensité du faisceau, le focaliser plus ou moins, faire des balayages sur la surface du liquide, . . .

La situation du milieu en contact avec le liquide est très différente ici de ce qu'elle était dans les autres cas. Or on sait que ceci est très important au niveau du type de déformation obtenu:<sup>1</sup> l'impédance du milieu source peut être plus ou moins faible devant celle de la couche, de sorte que le potentiel de surface de celle-ci peut être plus ou moins uniforme. Ceci apparaît dans la théorie statique, mais aussi avec la théorie convective: la convection est plus ou moins difficile suivant que la densité de courant tend à être plus ou moins uniforme lorsque la déformation s'amorce.

Or on constate que la déformation se fait beaucoup plus difficilement que dans les cas précédents. Pratiquement il faut une couche très mince. Ceci est en définitive normal: le vide est beaucoup moins conducteur qu'un milieu ionisé: les inhomogénéités de densité de courant nécessaires pour la déformation cellulaire ne peuvent se manifester qu'à petite échelle et par conséquent ne sont compatibles qu'avec une faible périodicité de la déformation. Par contre il est facile d'obtenir un creux sous la faisceau par action purement électrostatique et de déplacer ce creux par balayage.

On pourrait aussi incriminer le défaut d'injection. Or il apparaît que l'injection se fait bien. On a en effet évalué la chute de tension à travers la couche; celle-ci est très réduite. On peut même penser que le séjour sous vide de certains liquides les débarrasse de certaines impuretés volatiles, ce qui accroîtrait la mobilité des charges.

Il faut ajouter qu'on ne peut utiliser sous vide que des liquides relativement visqueux, à faible tension de vapeur. Par ailleurs certains liquides sont altérés par le faisceau électronique. Il faut enfin tenir compte de la possibilité d'une conduction induite.

### **Action combinée d'un flux d'électrons et d'un flux d'ions**

On a fait agir simultanément les deux flux en introduisant à la fois un canon à électrons et un canon à ions sous une cloche à vide, le gaz introduit pour le fonctionnement du canon à ions étant pompé au fur et à mesure. Cet essai est très intéressant. On a pu en effet montrer d'abord qu'un apport d'ions là où arrivent les électrons favorise l'obtention de la déformation cellulaire, les ions augmentant la conductivité du milieu qui est en contact avec le liquide. En outre, en agissant sur la polarité de la source d'ions, on a pu combiner des apports de charge de même signe ou de signes opposés. Il est remarquable d'avoir observé des effets de compensation, même si ceci était prévisible.

## 7 EFFETS PARTICULIERS: MOUVEMENTS D'ENSEMBLE DU LIQUIDE

Des déplacements d'ensemble accompagnent souvent le phénomène de déformation. Ils dépendent des conditions d'apport des charges. Nous allons envisager quelques cas, en revenant à une charge par effet couronne.

Considérons tout d'abord des phénomènes liés à la façon dont la couche liquide est délimitée. La paroi peut être conductrice ou isolante. Près d'une paroi conductrice il est courant de ne pas observer la déformation cellulaire car les charges s'écoulent rapidement sur l'électrode et même le faisceau tend à se localiser sur l'électrode; éventuellement les cellules seront seulement plus grosses. Dans le cas d'une paroi isolante, on peut observer un effet de même sens, dans la mesure où la paroi s'est chargée puis repousse le faisceau. Mais il faut tenir compte du déplacement d'ensemble, tel que l'épaisseur du liquide tend toujours à être plus forte sur les bords.

Prenons maintenant le cas d'une couche qui n'est pas limitée sur la totalité de sa périphérie; elle tend à s'étaler davantage là où elle n'est pas limitée et la grosseur des cellules qui accompagnent le déplacement tend à diminuer quand on s'éloigne de la partie centrale. Si on essaye de limiter l'étalement en introduisant des parois conductrices isolées du substrat, le mouvement du liquide s'arrête avant qu'il n'atteigne la paroi car celle-ci s'est chargée; il en va différemment si la paroi est isolante.

Nous avons d'autre part envisagé le mouvement d'ensemble du liquide lorsque la pointe est placée en position rasante (Figure 9). Dans le cas a), on voit le liquide s'éloigner de la pointe et on a toujours un gradient de grosseur des cellules, qui se déplacent avec le liquide. Dans le deuxième cas de figure, le liquide, pour s'éloigner, remonte le long de la paroi isolante. Ces expériences concernent un liquide suffisamment visqueux.

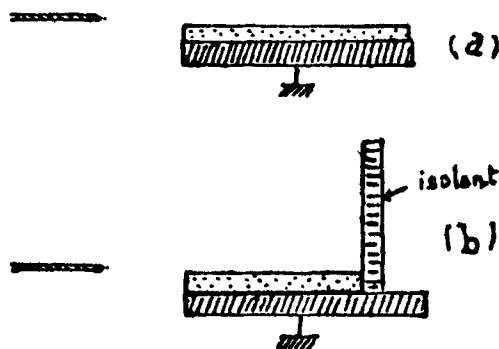


FIGURE 9 Dispositif avec pointe en position rasante avec, dans le cas b, la présence d'une paroi isolante.

## 8 ETUDE DE LIQUIDES PARTICULIERS

Nous avons vu que si de larges variations de la viscosité d'un liquide modifient son comportement vis-à-vis de la déformation cellulaire, celle-ci est analogue pour beaucoup de liquides de sorte que la déformation cellulaire est une bonne méthode pour préciser la structure d'un flux de charges puisqu'elle n'est pas très sensible à la nature du liquide. Voici cependant des résultats particuliers liés à la nature du liquide.

Tout d'abord les liquides qui ne sont pas assez isolants ne donnent aucun résultat; tout au plus observe-t'on une certaine turbulence et une certaine répulsion vers les bords aux forts courants; il en est ainsi en particulier pour les électrolytes. A l'opposé, avec des plastiques fondus, on peut obtenir la déformation (notamment la déformation "en chenilles" si le plastique reste très visqueux avec une densité de courant modérée). Si alors on refroidit le plastique on peut conserver la déformation à l'état solide. C'est un cas connu et susceptible d'applications.<sup>4</sup>

Nous avons d'autre part introduit en suspension dans un liquide donnant la déformation cellulaire de la poudre de graphite. Celui-ci s'amasse sur les lignes polygonales limitant les cellules et gêne la formation de celles-ci. Cette expérience est intéressante; elle montre l'existence de la convection, qui

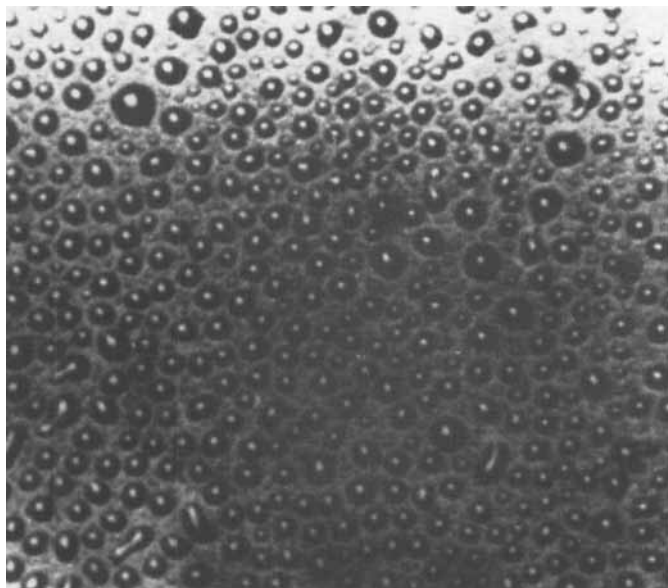


FIGURE 10 Cellules séparées obtenues avec le propionate de cholestérol en couche très mince.



FIGURE 11 Déformation irrégulière d'une couche très mince de propionate de cholestérol.

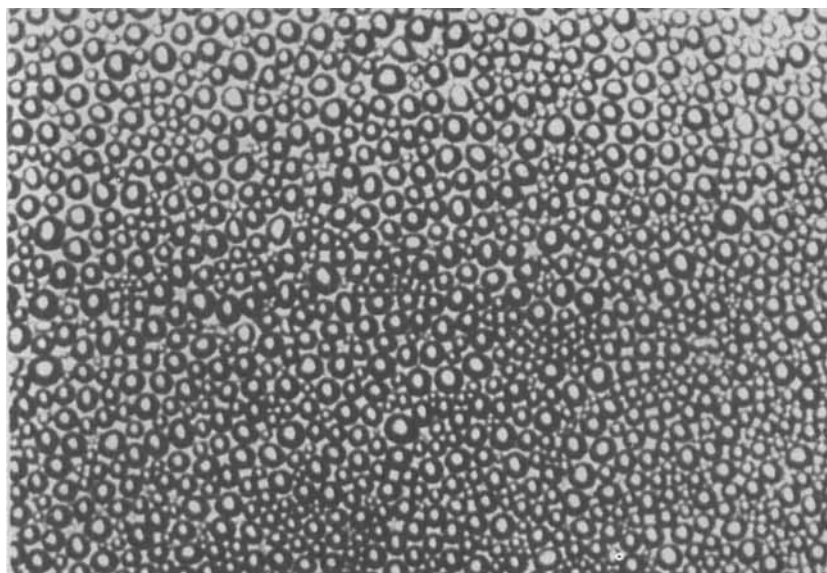


FIGURE 12 Structure cellulaire obtenue avec un mélange de 22% de propionate et 78% de pèlargonate de cholestérol.

devient le phénomène principal dans la déformation car, avec l'abaissement de la charge, les effets purement électrostatiques s'atténuent.

Nous avons d'autre part étudié des cristaux liquides fondus juste au-dessus du point de fusion. Nous avons observé pour divers corps des déformations cellulaires plus ou moins régulières. Elles sont obtenues en élevant la température au-dessus de l'ambiante pour atteindre le point de fusion. En refroidissant ensuite sous tension, la structure cellulaire est conservée dans l'état solide.

Les Figures 10 et 11 sont des photographies obtenues ainsi avec des couches très minces de propionate de cholestérol donnant des cellules séparées plus ou moins régulières.

La Figure 12 concerne une couche mince d'un mélange de propionate et de pélargonate de cholestérol.

Dans certains cas le bombardement de la couche crée des évolutions structurales intéressantes, mais qui ne-sont pas en relation avec la déformation cellulaire; nous ne les examinons pas ici.

## Références

1. A. T. Ahmed El Haddad, J. Fornazero et G. Mesnard, *Phys. and Chem. of Liquids*, **9** (1980).
2. A. T. Ahmed El Haddad, J. Fornazero et G. Mesnard, *Phys. and Chem. of Liquids*, **9** (1980).
3. D. MacNair, *Rev. Sci. Instr.*, **38**, 1967, 124.
4. Cf., par exemple, W. E. Glenn, *J. Appl. Phys.*, **30**, 1959, 1870