

COMMUNICATIONS

DE LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ D'ANKARA

Tome IX

(Série A — Fasc. 1)

İSTANBUL

ŞİRKETİ MÜRETTİBİYE BASIMEVİ

1957

La Revue "Communications de la Faculté des Sciences de l'Université d'Ankara," est une publication englobant toutes les disciplines scientifiques représentées à la Faculté : Mathématiques pures et appliquées, Astronomie, Physique et Chimie théoriques, expérimentales et techniques, Géologie, Botanique et Zoologie.

La Revue, les tomes I, II, III exceptés, comprend trois séries :

Série A : Mathématiques-Physique.

Série B : Chimie.

Série C : Sciences naturelles.

En principe, la Revue est réservée aux mémoires originaux des membres de la Faculté. Elle accepte cependant, dans la mesure de la place disponible, les communications des savants étrangers. Les langues allemande, anglaise et française sont admises indifféremment. Les articles devront être accompagnés d'un bref sommaire en langue turque.

Adresse :

Fen Fakültesi Mecmuası, Fen Fakültesi, Ankara.

Comité de Rédaction de la Série A :

C. Uluçay

B. Tanyel

E. A. Kreiken

COMMUNICATIONS

DE LA FACULTÉ DES SCIENCES
DE L'UNIVERSITÉ D'ANKARA

Série A. Mathématiques-Physique-Astronomie

Tome VIII, Fasc. 1

1957

17

Sur la cause de la variation de la constante diélectrique et de la conductibilité des suspensions par cisaillement

Par

Rauf NASUHOĞLU

*De l'Institut de Physique Expérimentale de la Faculté
des Sciences de l'Université d'Ankara*

Özet : Bu çalışmada bazı katı / sıvı süspansiyonların dielektrik sabitleri ile iletkenliklerinin bir burulma tesiriyle uğradıkları değişimin sebebi araştırılmış ve bunun bir aglomerasyon halinin bozulmasından mı, yoksa sıvı içinde taneciklerin belli bir doğrultuda yönelmesinden mi ileri geldiği meselesi üzerinde durulmuştur. Yeni bir kondansatör ile yapılan ölçmeler bu sabitlerin değişimi üzerinde her iki mekanizmanın da hisseli olduğu sonucunu vermiştir. Grafite - maden yağı süspansiyonlarında, fazla olarak, bu sabitleri değiştiren yeni bir etkinin mevcut bulunduğunu gösteren emarelere raslanmıştır.

I. Introduction

Dans un travail antérieur [1] nous avons fait l'étude expérimentale de l'abaissement de la constante diélectrique et de la conductibilité de quelques suspensions liquides par un cisaillement rectangulaire au champ de mesure du condensateur. La discussion théorique du problème [2] avait soulevé une question relative à la cause de cet effet, c'est-à-dire à savoir si cet effet provient de la destruction de l'état de l'agglomération des parti-

cules de forme allongée qui, par le cisaillement perdraient cette structure et donneraient des particules libres de forme plutôt sphérique, ce qui causerait une diminution des constantes diélectriques et des conductibilités. Ou bien, la cause de diminution serait l'orientation des particules allongées suivant les lignes du courant du mélange, c'est-à-dire, perpendiculairement au champ de mesure. Pour éclaircir ces questions, il a fallu en se servant d'un nouveau condensateur, élargir le problème dans un sens tel que, l'effet de cisaillement soit parallèle au champ du condensateur de mesure. Si la variation de la constante diélectrique et de la conductibilité par le cisaillement a pour cause la destruction d'un état d'agglomération, cette variation restera dans le même sens, c'est-à-dire, dans le sens d'une diminution avec ce nouveau condensateur de mesure. Si, au contraire, la cause de variation est l'orientation des particules en suspension dans le liquide, on doit observer une variation dans le sens contraire, c'est-à-dire une augmentation de ces deux constantes. Décider lequel de ces deux mécanismes est prépondérant dans l'effet observé est le but de ce travail.

II. Les formules théoriques donnant la constante diélectrique et la conductibilité des mélanges hétérogènes et leurs importances pour notre travail.

Plusieurs formules sont proposées pour exprimer les constantes diélectriques et la conductibilité des mélanges hétérogènes, en fonction des constantes diélectrique ϵ_1 , ϵ_2 , des conductibilités λ_1 , λ_2 et les pourcentages en volume v_1 , v_2 de ces constituants. Parmi celle-ci, les formules de Wiener expriment le cas des mélanges hétérogènes de constitution particulière [3], à savoir un mélange formé de lamelles dirigées parallèlement (1) ou de lamelles dirigées normalement (2) au champ de mesure. La constante diélectrique ϵ de tels mélanges seront :

$$(1) \quad \epsilon = \epsilon_1 v_1 + \epsilon_2 v_2$$

$$(2) \quad \epsilon = \frac{1}{\frac{v_1}{\epsilon_1} + \frac{v_2}{\epsilon_2}} .$$

Ces formules donnent les valeurs les plus grandes et les plus petites possibles que la constante diélectrique et la conductibilité d'un mélange peuvent prendre.

Pour une suspension de lamelles solides dans un liquide où les

lamelles s'orienteraient une fois parallèlement et une fois normalement au champ électrique, on aura obtenu deux cas approchés de ces deux cas limites.

D.A.G. Bruggeman [4] a obtenu quelques formules pour le cas des mélanges qui restent à l'intérieur du cadre déterminé par ces cas limites et nous en prenons ici deux formules qui nous intéressent particulièrement dont l'une (3) est pour une dispersion des lamelles sans une orientation définie, et l'autre, (4), pour une dispersion de grains sphériques dans une liquide.

$$(3) \quad \varepsilon = \varepsilon_2 \frac{3 \varepsilon_1 + 2 v_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{3 \varepsilon_2 - v_2 (\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}$$

$$(4) \quad 1 - v_2 = \frac{\varepsilon_2 - \varepsilon}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1} \sqrt[3]{\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon}}$$

Comme nous avons déjà démontré [2], ces formules 1, 2, 3 peuvent être généralisées au cas où l'un des constituants aurait une conductibilité considérable. On obtient alors des formules exprimant les constantes diélectriques et les conductibilités des mélanges en fonction des fréquences de mesure, par lesquelles il est possible de déterminer une région de dispersion, caractérisée par un temps de relaxation, qui se trouve au-dessus de 1 Mc/sec. ce qui sera l'objet d'un autre travail. Donc si nos mesures sont faites à une fréquence constante de quelques centaines de kc/sec, c'est-à-dire, bien au-dessous des fréquences de dispersion, la constante diélectrique du mélange sera constante, tandis que la conductibilité prendra une valeur proportionnelle au carré de la fréquence de mesure [2]. Par cette généralisation nous obtenons pour les formules 1, 2 et 3, à des fréquences suffisamment basses et pour les cas où la conductibilité de la phase dispersée est trop grande vis-a-vis de la conductibilité du milieu de dispersion, les formules

$$(1)' \quad \varepsilon_0 = \varepsilon_1 v_1 + \varepsilon_2 v_2 \qquad \lambda_0 = \lambda_1 v_1 + \lambda_2 v_2$$

$$(2)' \quad \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1}{1 - v_2} \qquad \lambda_0 = \frac{\lambda_1}{1 - v_2}$$

$$(3)' \quad \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1 (1 - v_2) + 2 v_2 \varepsilon_2 \left(1 - \frac{v_2}{3}\right) / 3}{(1 - v_2/3)^2} \qquad \lambda_0 = \frac{\lambda_1 + 2 v_2 \lambda_2 / 3}{1 - v_2/3}$$

D'autre part il n'a pas été possible d'obtenir des formules géné-

rales donnant ces mêmes grandeurs pour les suspensions des grains sphériques. Mais il est relativement facile d'obtenir des valeurs limites pour le cas où $\lambda_2 \gg \lambda_1$:

$$(4)' \quad \varepsilon_0 = \frac{\varepsilon_1}{(1-v_2)^3} \quad \lambda_0 = \frac{\lambda_1}{(1-v_2)^3}$$

Afin de pouvoir mesurer l'effet de cisaillement sur la conductibilité. Avec les fréquences choisies assez élevées pour nos expériences, les constantes diélectriques mesurées correspondent encore aux valeurs ε_0 indiquées dans les formules 1' 2' 3' 4' tandis que les conductibilités contiennent une partie additionnelle (proportionnelle à v^2) aux valeurs λ_0 .

Pour étudier l'effet de cisaillement sur la constante diélectrique et sur la conductibilité d'une suspension, c'est-à-dire pour étudier la variation qui correspond au passage d'une structure à une autre, une seule fréquence de mesure est suffisante. Si le phénomène n'est autre que la destruction d'un état d'agglomération qui conduit des particules de forme assez allongée à des particules plutôt sphériques, la variation sera dans le sens qui va vers l'état exprimé par les formules (4)'; si au contraire c'est l'orientation des particules non sphériques qui cause cet effet, la variation sera dans les deux formules de Wiener (1)' et (2)' suivant que l'orientation se fait parallèlement ou normalement au champ de mesure.

III. La Partie Expérimentale.

1. Les matières employées.

Les suspensions fer/huile, graphite/huile et noir d'acétylène/huile sont préparées comme dans notre travail précédent [1]. Ici encore nous nous sommes servis d'une même huile minérale et des mêmes poudres de fer, c'est-à-dire de la poudre de fer E qui est formée en grande partie de grains sphériques et de fer L qui tout en contenant des grains sphériques est en grande partie formée de particules non sphériques. Les suspensions de noir d'acétylène/huile et graphite/huile sont préparées de la même façon.

2) *Les condensateurs de mesure et l'appareil de mesure.*

A la place du condensateur cylindrique dont nous faisons tourner l'armature extérieure, nous devons prendre un condensateur qui permet d'obtenir un cisaillement parallèle au champ de mesure. Ce condensateur consiste en 8 paires de plaque (Fig. 1), montées radialement sur un baton isolant, et formant une batterie en parallèle. Il peut être complètement plongé dans le mélange liquide. Chaque plaque contient 60 trous de 2 mm de diamètre qui permettent au liquide de subir le cisaillement quand on fait tourner le pot qui contient le tout. Le condensateur vide a une capacité de $105 \mu \mu F$ à l'intérieur du pot.

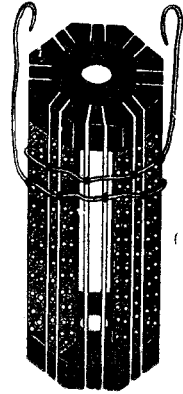


Fig. 1

Les mesures sont faites à l'aide du *circuit magnification Meter or Q meter* de Marconi Instrument Co.

3) *La methode de mesure.*

La mesure de la constante diélectrique se fait par mesure des capacités [1]. Quand aux conductibilités spécifiques, elles sont calculées à partir des facteurs de surtensions «ou des magnifications Q» lus sur l'appareil suivant la formule [5]

$$(7) \quad \lambda_s = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 Q_2} \frac{\omega C_1}{4\pi C}$$

où C_1 est la capacité de résonance de tout le circuit de mesure et C la capacité du condensateur de mesure. Comme les capacités mesurées sont de, $105 \mp 1 \mu\mu F$ et $(200 - 400) \mp 1 \mu\mu F$, l'erreur relative sur la constante diélectrique ne dépassera pas 0,01.

Les conductibilités étant calculées par la formule (7), l'erreur qui aura le plus d'influence sur λ_s sera l'erreur sur la différence $Q_1 - Q_2$ qui peut prendre des valeurs $(20 - 230) \mp 4$; ceci peut causer une erreur de 0,20 sur λ_s dans les cas les moins favorables (petite différence $Q_1 - Q_2$). Dans les cas favorables où cette différence est grande, c'est l'erreur sur Q_2 qui aura le plus d'influence. C'est-à-dire, l'erreur relative sur λ_s n'est jamais inférieure à 0,05, même dans les meilleures conditions.

IV. Résultats de Mesures.

1) Mélange fer | huile

Les mesures qui avaient été faites avec le condensateur cylindrique dont on faisait tourner l'armature extérieure, sont cette fois-ci exécutées avec le nouveau condensateur, avec lequel un cisaillement parallèle au champ de mesure est appliqué. Les résultats des mesures faites à une fréquence 500 kc/sec pour les deux sortes de suspension (fer E et fer L) dans de l'huile minérale sont représentés sur les graphiques Fig. 2 et 3 en fonction du pourcentage en volume v_2 du fer dans le mélange.

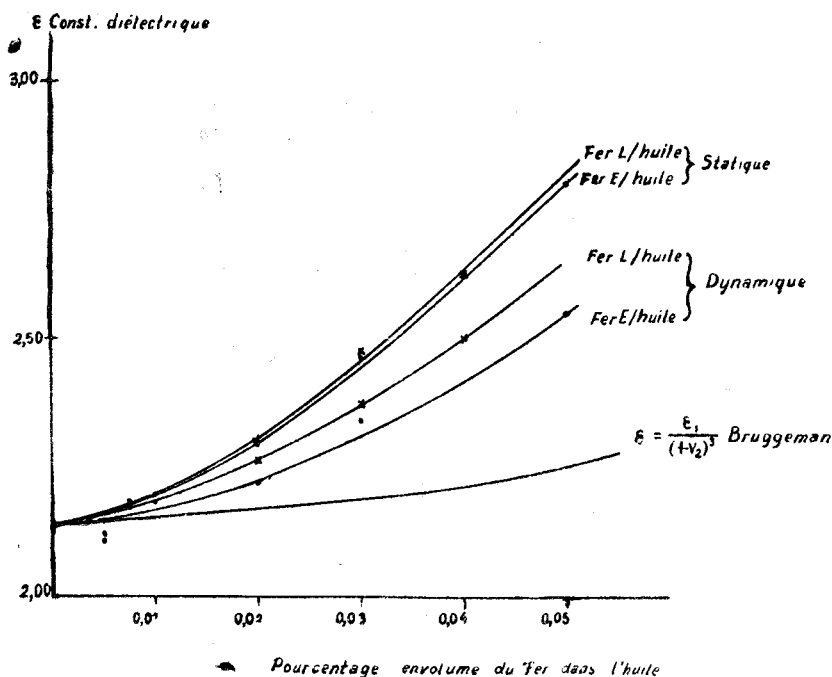


Fig. 2

On voit sur les graphiques que les valeurs dynamiques (c'est-à-dire quand le cisaillement est appliqué) des constantes diélectriques et des conductibilités sont plus petites que leurs valeurs statiques (pas de cisaillement). C'est à dire que le sens de

variation de ces constantes n'est pas influencé par le changement du sens du cisaillement.

Ce résultat montre que l'effet observé vient essentiellement de la destruction de l'état d'agglomération des particules allongées en particules plus petites, de formes sphériques. L'influence de l'orientation des particules non sphériques, si elle existait, devrait, dans le cas du nouveau condensateur, être dans le sens contraire, elle peut donc être complètement couverte par cet effet.

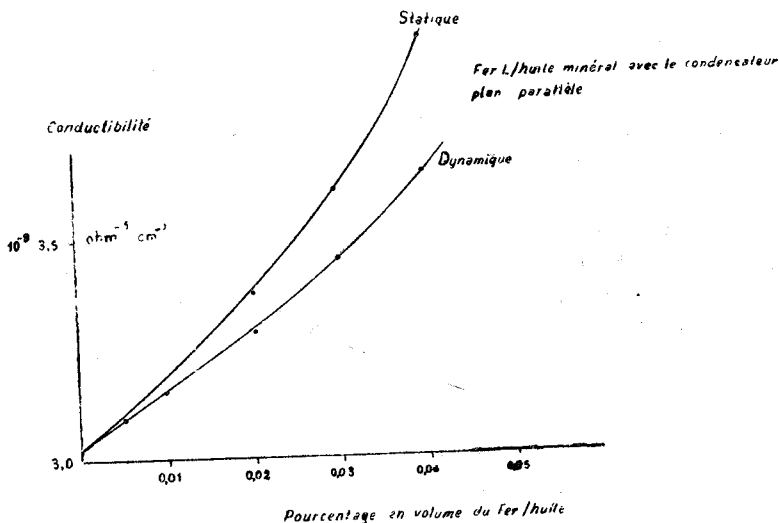


Fig. 8

Aussi la différence des effets entre fer E et fer L est parfaitement compréhensible. Car l'étude microscopique de ces deux sortes de fer montre que les particules du fer E s'éloignent trop peu, et celles du fer L un peu plus de forme sphérique. Or l'influence de cisaillement se fait sentir par une variation plus forte des constantes diélectriques et des conductibilités dans le cas de fer E, que dans le cas de fer L. Donc, la destruction de l'état d'agglomération donne des grains indépendants, et cela rapproche le mélange à l'état du porphyre sphérique; ce rapprochement est naturellement plus grand dans le cas du fer E (grains sphériques) que du fer L (grains en grande partie non sphériques). La cause qui rend les constantes diélectriques et les conductibilités dynamiques des mélanges de fer L plus grandes que celles de fer E, pourrait aussi être en partie l'orien-

tation des grains L, qui influencent en sens inverse que celle de destruction de l'état d'agglomération.

Les mesures suivantes faites avec les suspensions de noir d'acétylène et de graphite nous permettra de mieux préciser ce point. Pour cela il est important de savoir si l'efficacité du cisaillement appliqué est la même pour les deux condensateurs. On peut décider de cette question en comparant pour le fer E (grains sphériques) l'effet de cisaillement obtenu avec les deux condensateurs où comme cause de l'effet il n'y a évidemment que la destruction de l'état d'agglomération. Les résultats de telle mesure avec une suspension de fer E, donné dans le tableau ci-dessous, montre que les différences des valeurs statiques et dynamiques sont les mêmes aux erreurs de mesures près.

Donc si dans les expériences suivantes nous observons des effets de cisaillement différent pour les deux condensateurs, il sera évident qu'il y a une autre cause qui se superpose au premier effet et - contrairement à celui-ci - agit en directions inverses pour les deux manières de cisaillement (p.ex. effet d'orientation).

	$\varepsilon_s - \varepsilon_D$	$\lambda_s - \lambda_D$
Condensateur cylindrique	0,65	$1,7 \cdot 10^{-9} \text{ ohm}^{-1}$
Condensateur plan-parallèle	0,61	$1,7 \cdot 10^{-9} \text{ ohm}^{-1}$

Nous ajoutons les graphiques des Fig. 4 et 5 qui montrent pour les fers E et L les variations des constantes diélectriques et des conductibilités en fonction de temps de repos à partir du moment où le pot s'arrête de tourner. On voit les valeurs statiques commencer à croître à partir de la valeur dynamique et tendre vers une limite supérieure. Ce résultat est le même que celui observé avec le condensateur cylindrique.

SUR LA CAUSE DE LA VARIATION DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE 9

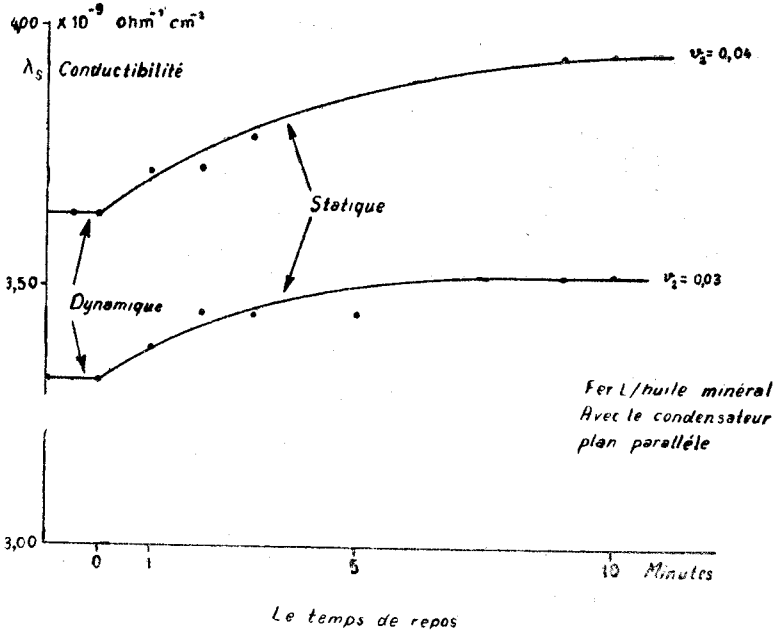


Fig. 4

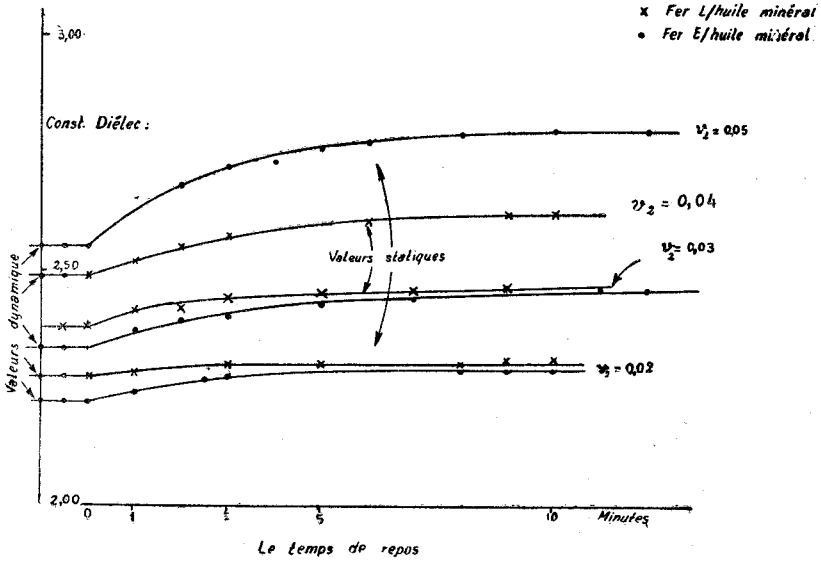


Fig. 5

2) *Le mélange de noir d'acétylène dans l'huile minérale (Fréquence de mesure 330 kc/sec).*

Ces mélanges et les mélanges suivants n'étant pas été employés dans le travail précédent, les mesures sont faites avec les deux condensateurs qui appliquent un cisaillement différent par rapport au champ de mesure. L'étude microscopique du noir d'acétylène, a montré qu'il est formé des particules rondes légèrement aplaties. On peut donc accepter que le mélange s'approche du type du porphyre lamellaire. Les mesures des constantes diélectriques et des conductibilités sont données sur les Fig. 6 et 7 en fonction du pourcentage en volume de la phase dispersée.

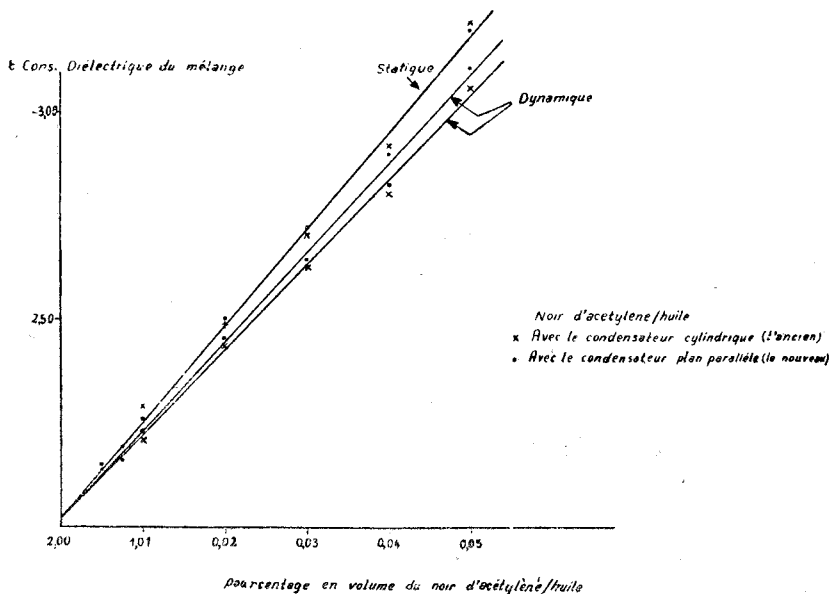


Fig. 6

Les constantes diélectriques statiques sont les mêmes avec les deux condensateurs ; ce qui est normal. Quand aux valeurs dynamiques, on observe des diminutions plus grandes avec le condensateur cylindrique qu'avec le condensateur plan-parallèle. Se basant sur l'expérience précédente avec le fer E, ceci s'explique en admettant que l'effet dû à l'orientation des grains non sphériques s'ajoute à l'effet de la destruction de l'état d'agglomération. Dans le cas de condensateur cylindrique, ces

deux effets sont de même sens, et diminuent la constante diélectrique, tandis que dans le condensateur plan-parallèle, ils sont en sens contraire, c'est-à-dire, les particules orientées étant dirigées parallèlement au champ de mesure grandissent les valeurs mesurées et l'effet total observé devient plus petit. Comme l'influence de la destruction d'agglomération est plus forte, on observe malgré la variation en sens invers une diminution de constante diélectrique. En tout cas, le fait que l'effet observé par les deux condensateurs n'est pas de même grandeur, nous semble être une preuve suffisante, montrant le rôle des orientations des particules, peut être du seconde ordre, sur l'effet observé.

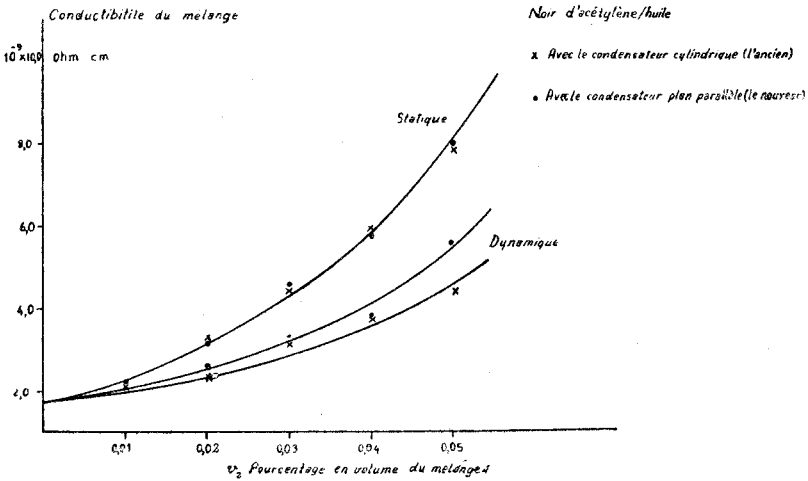


Fig. 7

On voit d'autre part sur les graphiques que les variations de ces constantes en fonction du pourcentage en volume de la phase dispersée sont linéaires. Ceci peut s'expliquer par la formule du porphyre de lamelle de Bruggeman (3) simplifiée sous la forme,

$$\varepsilon = \frac{3\varepsilon_1 + 2v_2\varepsilon_2}{3 - v_2}$$

Ceci se simplifie pour $\lambda_2 \gg \lambda_1$ et $v_2 \ll 3$, prend la forme linéaire

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \frac{2}{3} v_2 \varepsilon_2$$

Les Fig. 8 et 9 montrent les variations en fonction du temps

ϵ Const. Diélectrique

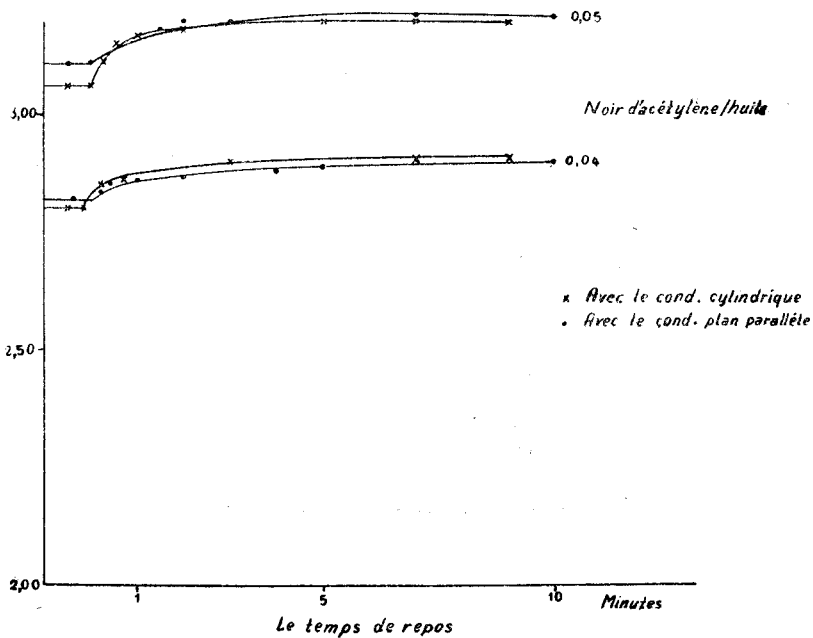


Fig. 8

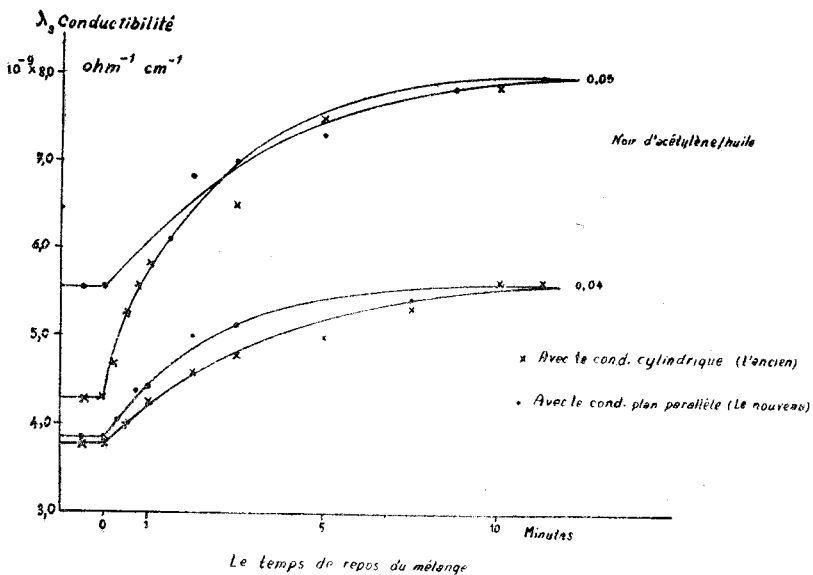


Fig. 9

de repos des constantes diélectriques et des conductibilités des mélanges de $v_2 = 0,04$ et $v_2 = 0,05$, à partir du moment où le cisaillement cesse. Comme nous avons souligné plus haut, cette variation commence par une valeur plus petite dans le cas du condensateur cylindrique, et plus grande, dans le cas du condensateur plan-parallèle et tend vers une limite commune (la valeur statique).

3) *Les suspensions graphite / huile minérale.*

La poudre de graphite est formée de grains de dimensions différentes bien aplatis, c'est-à-dire bien éloignés de forme sphérique. Aussi les résultats obtenus pour ces suspensions sont assez différents des autres. Soulignons dès maintenant que, les constantes diélectriques et les conductibilités de ces mélanges, aussi bien que leurs variations par le cisaillement, sont bien plus grandes que celles observées dans le cas de noir d'acétylène. Cela provient de la forme bien aplatie des grains. La Fig. 10 représente la variation des constantes diélectriques de ces mélanges en fonction de v_1 pour les deux condensateurs de mesure. La forme linéaire des courbes s'explique par la même raison que les suspensions de noir d'acétylène. Les constantes diélectriques statiques qui sont les mêmes avec les deux condensateurs, sont plus grandes que leurs valeurs dynamiques, comme c'était le cas. Ce qui est nouveau ici, c'est que la variation des constantes diélectriques en fonction de temps de repos ne commence pas par ses valeurs dynamiques, mais par des valeurs bien inférieures (Fig. 11). Dans le cas du condensateur cylindrique, les distances de ces points de commencements et les valeurs dynamiques sont plus grandes. Nous avons essayé de préciser la cause de cet effet qui augmente avec le pourcentage en volume de la phase dispersée des mélanges. Ce nouvel effet peut avoir une cause différente des phénomènes des orientations des particules et de destruction de l'état d'agglomération. Il se peut que, les grains de graphite se chargent par frottement et ces charges donnent aux constantes diélectriques et aux conductibilités des valeurs dynamiques plus grandes. La Fig. 12 et 13 montrent la variation de la constante diélectrique en fonction du temps de repos pour la valeur de $v_2 = 0,05$ et $0,07$ pour le condensateur cylindrique. On voit que les valeurs mesurées à partir de l'arrêt du

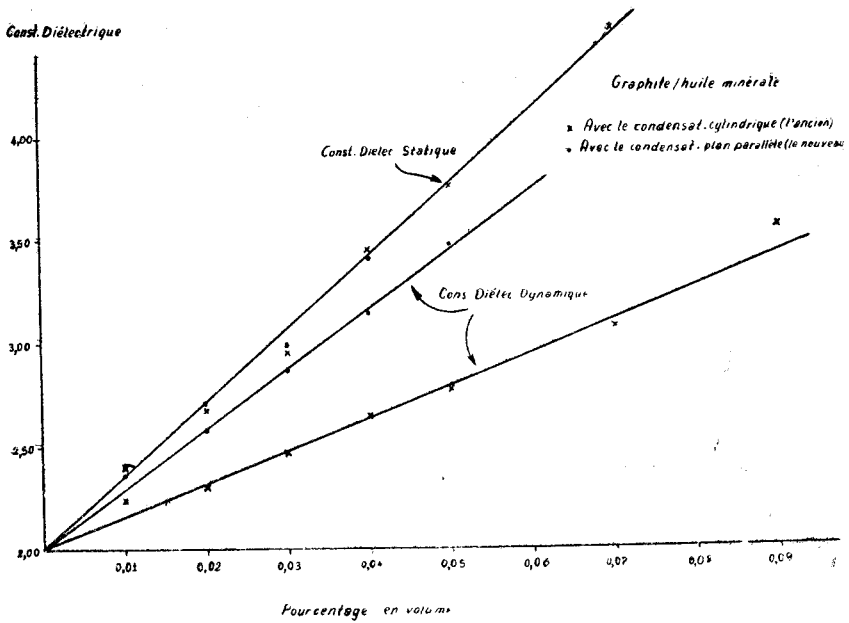


Fig. 10

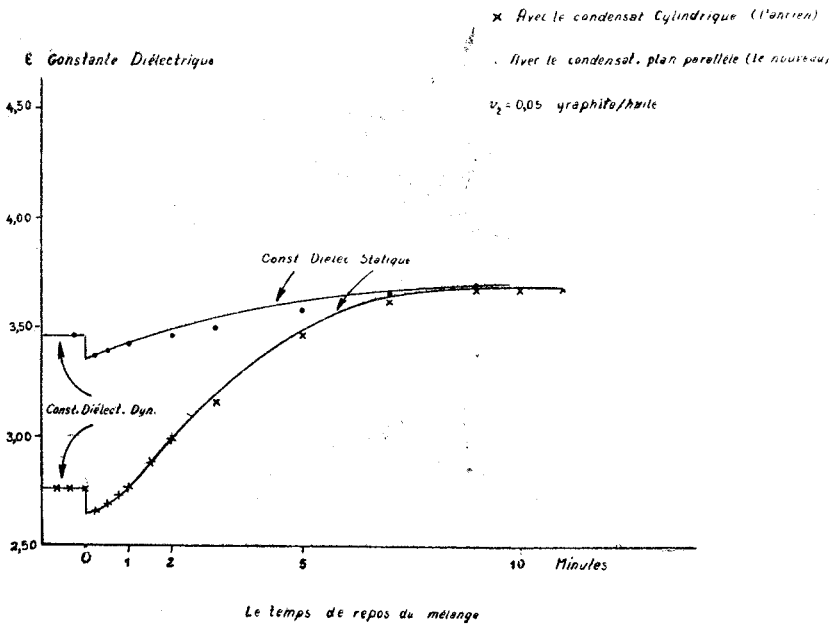


Fig. 11

SUR LA CAUSE DE LA VARIATION DE LA CONSTANTE DIÉLECTRIQUE 15

pot, grandissent au début lentement, mais aux environs de 1. minute cette augmentation devient rapide. L'allure de graphique à partir de cet instant est celle observée avec les autres mélanges. Si nous prolongeons la courbe du haut vers l'origine avec son allure naturelle, nous obtenons une valeur dynamique possible de $\epsilon_D = 2,48$. Donc la constante diélectrique que nous avons mesuré

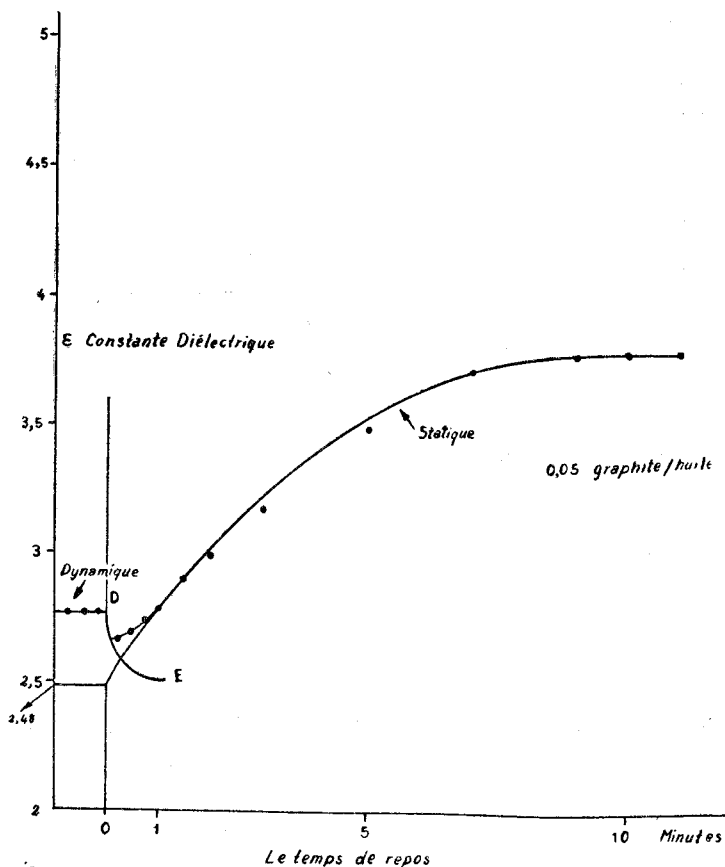


Fig. 12

et dont la valeur semble grandie par les charges de frottement, subit une diminution représentée par la courbe DE, par la perte de ces charges pendant le repos. Comme d'autre part l'effet de perte de l'orientation commence à se faire sentir, les valeurs statiques mesurées seront la somme de tous. On pourrait par les graphi-

ques déterminer les valeurs dynamiques possibles pour les différentes v_2 comme on a fait pour $v_2 = 0,05$.

Comme cet effet supplémentaire agit dans le même sens avec les deux condensateurs, il ne peut avoir pour origine les orientations des particules non sphériques. Cet effet ne peut également pas provenir d'une variation de concentration qui aurait

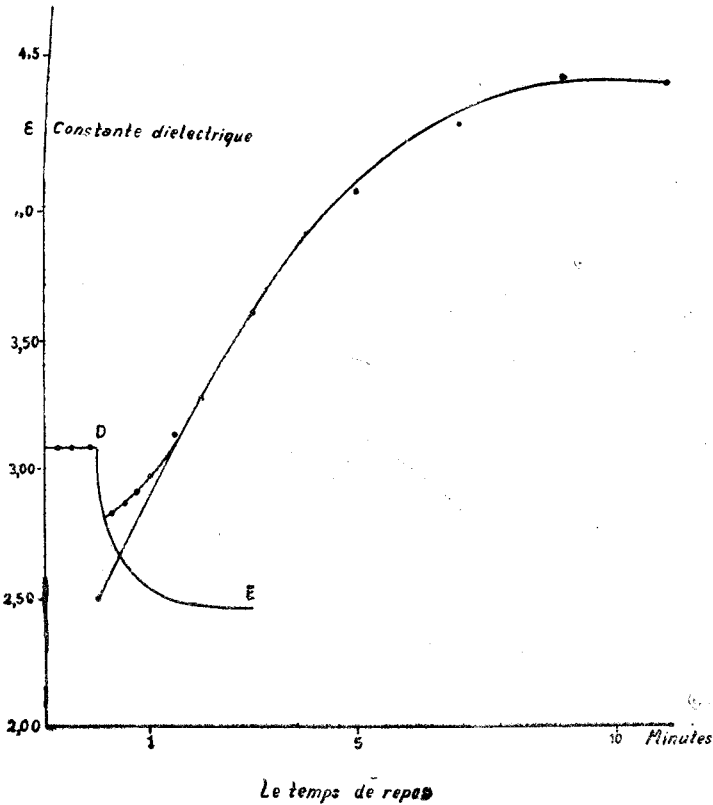


Fig. 13

pour origine la déposition des gros particules dans le liquide au repos. Car les mesures faites avec des mélanges formés de grains de dimensions très différentes ont montré le même effet.

Les conductibilités de ces suspensions aussi montrent un nouveau fait qui semble soutenir notre point de vue relatif à la cause de l'effet de cisaillement. Les conductibilités statiques de ces mélanges se trouvent entre les valeurs dynamiques obtenues avec

les deux condensateurs, ou plus exactement, les valeurs dynamiques données par le condensateur plan parallèle sont plus grandes que celles données par le condensateur cylindrique et plus petites que les valeurs statiques (Fig. 14). Cela peut signifier que la cause des variations de ces grandeurs par le cisaillement n'est pas uniquement le changement d'état de l'agglomération des particules en suspension, l'orientation des particules joue aussi un rôle. Comme dans le cas de ces mélanges, les grains de graphite sont

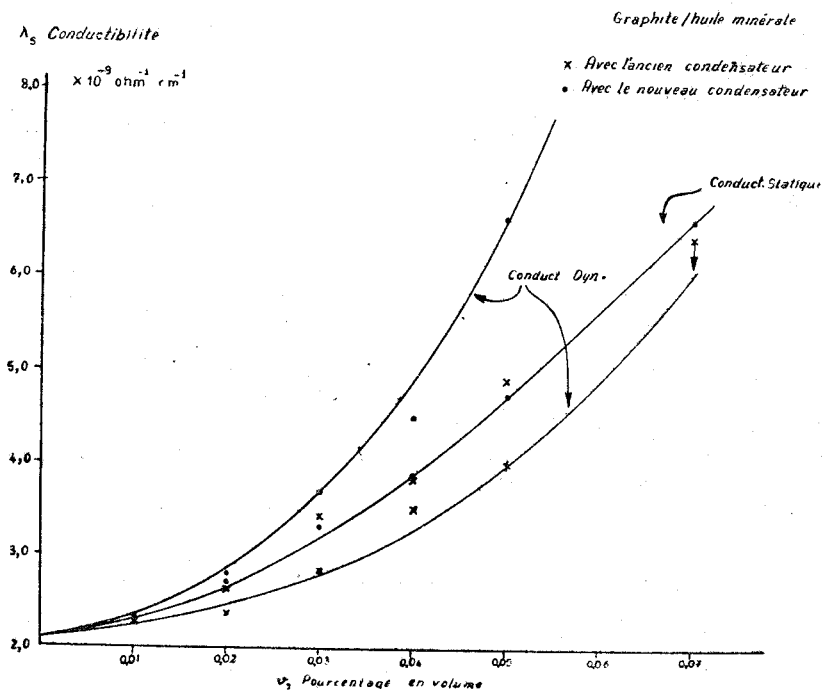


Fig. 14

bien aplatis, l'influence de l'orientation peut se faire sentir plus fortement. Mais quand même, l'effet supplémentaire observé nous empêche ici d'être plus rigoureux.

Sur la Fig. 15 on voit la variation des conductibilités statiques en fonction du temps de repos pour $v_2 = 0,05$. Ici encore le passage de l'état dynamique à l'état statique se fait par une variation rapide vers le bas. Ceci peut s'expliquer de la même façon que des constantes diélectriques.

On pourrait se demander pourquoi cette anomalie des valeurs

dynamiques n'est pas observée avec les autres mélanges. Nous croyons que cet effet existe aussi chez les autres mélanges, mais étant trop faible, ou ayant disparu rapidement, à cause de leur forme plus symétrique, reste au dessous de nos moyen d'observation.

Les résultats de ce travail peuvent se résumer comme ceci : les variations des constantes diélectriques et des conductibilités des mélanges hétérogènes par un cisaillement a en grande partie pour origine, un mécanisme qui ne dépend pas du sens de cisaillement par rapport au champ de mesure. Un mécanisme qui

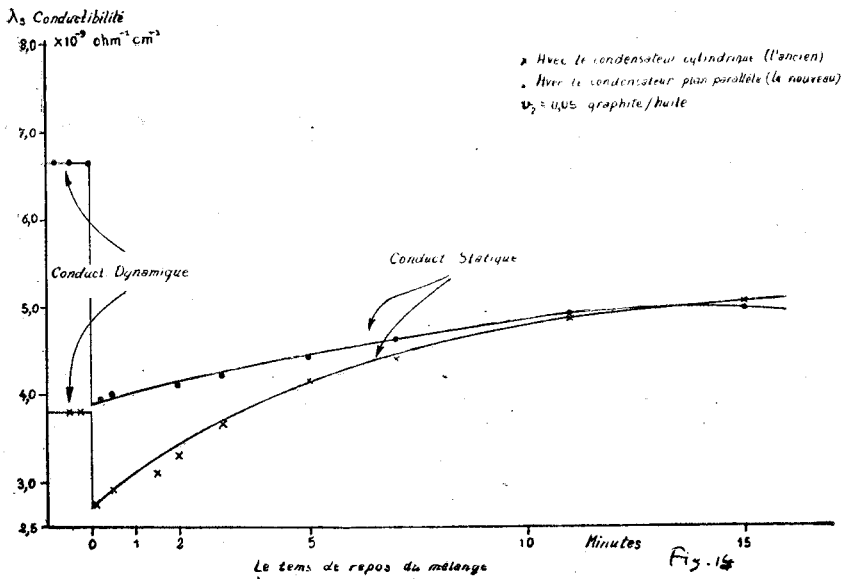


Fig. 15

aurait satisfait cette condition, pourrait être la destruction de l'état d'agglomération (qui serait formé des groupes allongés) en particules de forme plus sphérique. Un autre mécanisme qui pourrait également avoir une influence sur l'effet observé, surtout dans le cas où les particules sont assez éloignées de la forme sphérique, serait l'orientation par le cisaillement des particules en suspension. Un effet supplémentaire observé dans le cas des mélanges de grains bien allongés mérite une étude plus détaillée dans cette direction.

M. le Prof. Dr. Erich Fisher a généreusement aidé ce travail. Je dois exprimer ici mes remerciements les plus profonds.

Littérature

- [1] Nasuhoğlu, R. Comm. Faculté Sc. Univ. Ankara. T. IV, Fasc. 1, p. 108.
- [2] Fischer, E. und Nasuhoğlu, R. Comm. Faculté Sc. Univ. Ankara T. IV. Fasc. 1 P. 182.
- [3] Wiener. O. Abhand. Math. Phys. Kl. Sachs. Akad. Wiess. 32 (1918) 507.
- [4] Bruggeman, D. A. G. Ann. der Phys. 5 (24-1935-637, 25-83-645).
- [5] Hartshorn, Radio-Frequency Measurement by Bridge and Resonance methods. p. 144.

(Manuscrit reçu le 8. 2. 956)