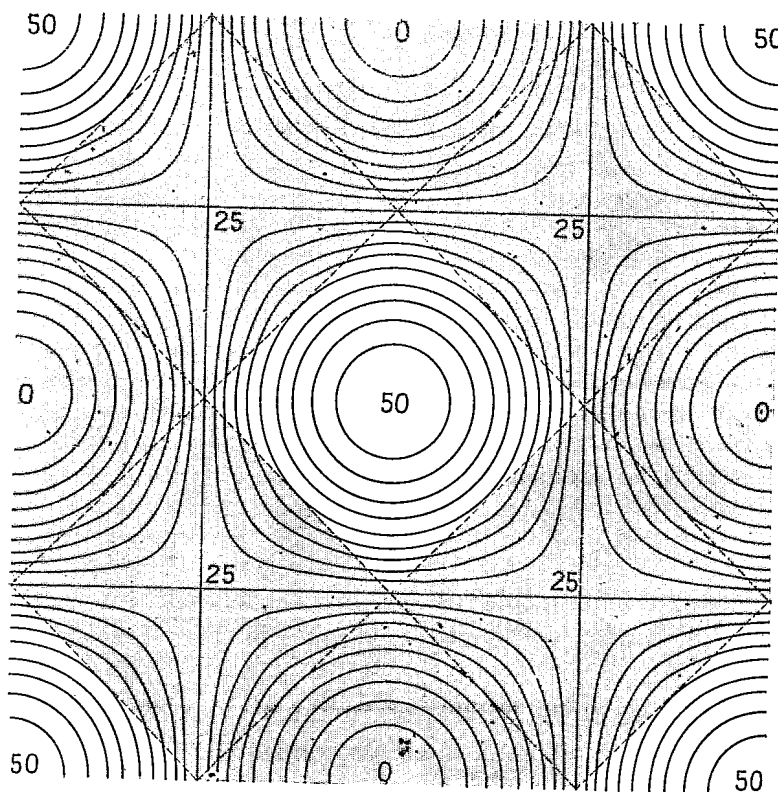


La figure 2 montre la distribution de ces lieux, que nous appelons *courbes isophotes*, pour des variations successives de 5 pour 100 de l'éclairage au centre. La connaissance de ces courbes isophotes permet de prévoir quelle

Fig. 2.



sera, en telle ou telle région de l'image photographique tramée, la forme des éléments de cette image, ces prévisions étant d'ailleurs pleinement confirmées par l'examen au microscope de telles images, exécutées dans les conditions normales de la pratique.

PHYSIQUE. — *L'agitation moléculaire et le mouvement brownien.*

Note de M. **JEAN PERRIN**, présentée par M. J. Violle.

Toute particule située dans un liquide *en équilibre* s'agite de façon continue et parfaitement irrégulière, d'autant plus vivement qu'elle est plus

petite (mouvement brownien). On doit à M. Gouy d'avoir montré que cette agitation éternelle est une propriété essentielle des fluides et d'en avoir proposé une explication très séduisante en supposant qu'elle est une conséquence déjà visible des chocs moléculaires qui se produisent irrégulièrement contre la particule.

Cette hypothèse brillante n'était cependant pas établie et il n'était pas sûr qu'elle rendit compte, même comme ordre de grandeur, du phénomène en question. J'espère prouver, par les expériences qui vont être résumées, que l'agitation moléculaire est bien réellement cause, et cause unique, du mouvement brownien.

En délayant dans l'eau un bâton de gomme-gutte, on a une émulsion jaune où se voient au microscope, en éclairage ordinaire, beaucoup de granules parfaitement sphériques, déjà animés d'un mouvement brownien très net. En centrifugeant cette émulsion comme on centrifuge du sang pour en séparer les globules rouges, on obtient une émulsion qui, à l'œil nu, ressemble tout à fait à la première, mais où les granules microscopiques ont disparu. Mais, en employant l'éclairage latéral, on y aperçoit de nombreux granules ultramicroscopiques, qui sont tous à peu près de même éclat (et par conséquent à peu près de même taille), qui ne scintillent pas (et sont par suite sphériques comme les premiers). 49<sup>cm<sup>3</sup></sup>, 586 de cette émulsion contenaient 49<sup>g</sup>, 299 d'eau et 0<sup>g</sup>, 287 de gomme-gutte, ce qui fait pour les granules étudiés une densité de 1,35.

Après l'avoir diluée, je plaçais une goutte de cette émulsion dans une préparation microscopique, dont l'épaisseur était fixe et d'environ 0<sup>mm</sup>, 12. J'ai alors étudié la répartition des granules selon leur hauteur dans la préparation, en comptant le nombre de granules qu'on apercevait à diverses hauteurs avec un microscope à faible profondeur de champ. La répartition de régime permanent est atteinte après quelques heures. En faisant alors plusieurs milliers de lectures et prenant les moyennes, j'ai vu que, si la concentration des granules est représentée par 100 à un certain niveau, elle est représentée, à des niveaux qui sont 25, 50, 75 et 100 microns plus bas, par les nombres

116,      146,      170,      200.

Or les nombres

119,      142,      169,      201,

qui ne diffèrent des précédents que dans les limites des erreurs d'expérience, sont en progression géométrique. La répartition d'équilibre des granules dans la préparation (et probablement par suite dans toute solution colloïdale) est donc exponentielle, *comme pour un gaz en équilibre sous l'influence*

de la pesanteur. Seulement l'abaissement à la concentration moitié, qui se produit pour l'atmosphère sur une hauteur de 6<sup>km</sup>, se produit ici pour une hauteur de  $\frac{1}{10}$  de millimètre.

On peut s'expliquer cette loi de répartition. Imaginons des granules identiques, de densité  $\rho$ , de masse  $m$ , au nombre de  $n$  par unité de volume; ils exerceraient par leurs chocs, sur toute paroi qui les arrêterait sans arrêter les molécules d'eau, une pression *osmotique* proportionnelle à leur concentration, soit  $kn$ . Si alors on écrit que les  $n dh$  granules contenus dans une tranche horizontale de hauteur  $dh$  et de section 1 sont maintenus en suspension par la somme de la poussée d'Archimède et de la différence des pressions osmotiques sur les deux faces, on obtient l'équation

$$\frac{dn}{n} = \frac{1}{k} g dh \left(1 - \frac{1}{\rho}\right) m$$

qui, intégrée entre les niveaux 0 et  $h$ , donne

$$2,3 \log \frac{n_0}{n} = \frac{1}{k} m g h \left(1 - \frac{1}{\rho}\right)$$

(log à base 10). La répartition d'équilibre est donc bien exponentielle, mais on peut aller plus loin. Si, en effet, on connaît  $m$ , on sera en mesure de calculer  $k$ , puisque  $\rho$  est connu.

Un procédé précis consiste à étudier une colonne verticale d'émulsion, haute de quelques centimètres. On est ici très loin de la répartition d'équilibre et les granules des couches supérieures tombent comme les gouttelettes d'un nuage. J'ai ainsi observé, dans un tube vertical *capillaire*, une chute de 0<sup>mm</sup>,97 par jour. Appliquant la formule de Stokes (chute d'une sphère en un liquide visqueux), j'ai trouvé  $m$  égal à  $9,80 \cdot 10^{-15}$ . Portant dans l'équation précédente, on trouve  $k$  égal à  $360 \cdot 10^{-16}$  (ce qui donne pour le granule un rayon de 0<sup>μ</sup>,12).

Ainsi la pression osmotique, pour  $n$  granules dans l'unité de volume, est  $n \times 360 \cdot 10^{-16}$ . Comparons à ce que serait la pression exercée par un gaz pour  $n$  molécules par unité de volume. Cette pression serait  $n \frac{RT}{N}$ , R étant la constante des gaz parfaits, T la température absolue, N le nombre de molécules contenues dans une molécule-gramme (approximativement égal à  $7 \cdot 10^{23}$  d'après la théorie cinétique). Cela fait, opérations effectuées,  $n \times 343 \cdot 10^{-16}$ . Les nombres sont égaux, dans les limites de précision où N est connu.

Ainsi les granules en suspension fonctionnent comme des molécules *visibles* d'un gaz parfait avec un poids moléculaire égal environ à 3 milliards ( $3,3 \cdot 10^9$ ).

*L'énergie cinétique moyenne d'un granule de colloïde est donc égale à celle d'une molécule.* C'est, établie par l'expérience, l'hypothèse qu'Einstein et Langevin ont signalée comme équivalente à celle de M. Gouy (théorème de répartition des énergies cinétiques). Du même coup, la théorie cinétique des fluides paraîtra un peu fortifiée, et les molécules un peu plus tangibles. Leur nombre  $N$  par molécule-gramme, déduit de l'égalité précédente, supposée rigoureuse, est  $6,7 \cdot 10^{23}$ .

ÉLECTRICITÉ. — *Sur un phénomène électro-optique dans l'air contenant des poussières en suspension.* Note (1) de M. EUGÈNE BLOCH, présentée par M. J. Violle.

L'expérience suivante, faite au cours de recherches relatives à l'influence de particules en suspension dans l'air sur sa conductibilité électrique, m'a paru digne d'être signalée. Elle met en évidence un phénomène électro-optique qui, à ma connaissance, n'a pas encore été décrit jusqu'ici.

Une cuve parallélépipédique est fermée, le long de deux faces latérales opposées, par des lames de verre, et porte, sur ses deux autres faces latérales, des plateaux métalliques distants de quelques centimètres. Une machine électrostatique permet d'établir entre ces plateaux une différence de potentiel de plusieurs milliers de volts. On introduit dans la cuve des fumées de chlorure d'ammonium, au moyen d'un courant gazeux qui a traversé successivement deux flacons renfermant de l'acide chlorhydrique et de l'ammoniaque. Ces fumées sont examinées en lumière diffuse sur un fond obscur.

Si l'on vient à établir le champ électrique dans la cuve, on voit immédiatement le nuage devenir plus blanc et par suite plus visible, ce qui montre que la lumière diffusée par les particules a subi une modification. Si l'on place la cuve entre deux nicols dont les sections principales sont inclinées à  $45^\circ$  et en sens inverse sur la direction du champ électrique, le nuage de chlorure d'ammonium cesse naturellement d'être visible lorsque le champ électrique n'existe pas. *Au moment de l'établissement du champ, on voit réapparaître la lumière*, et elle disparaît à nouveau en même temps que le champ. La modification de la lumière diffusée (ou diffractée) par les particules est donc accompagnée d'une anisotropie optique du milieu constitué par l'air et les particules. Il reste à savoir s'il y a biréfringence ou dichroïsme et à faire l'étude quantitative du phénomène.

---

(1) Présentée dans la séance du 4 mai 1908.



