

Sur l'écoulement du mercure par les tubes capillaires et les phénomènes électriques qui l'accompagnent.

(*Bulletins de l'Académie royale de Belgique*, 2^e sér., t. XLII, pp. 333-370, n^o 8, 1876.)

J'ai montré, dans un mémoire que j'ai eu l'honneur de présenter dernièrement à l'Académie (*), que les diverses sources d'électricité, telles que le frottement, l'action chimique, l'induction magnétique, etc., si disparates en apparence, n'étaient que des manières d'être différentes d'un même procédé physique.

Ainsi qu'on se le rappelle, le principe d'où découle ce procédé est le suivant :

Tout changement dans l'énergie attractive est accompagné d'un changement dans l'état électrique des corps.

Je n'ai pu, jusqu'alors, entrer dans les détails nécessaires pour que l'on puisse acquérir une notion complète de la nature de ce principe; désirant prendre date, j'ai dû me borner à l'énoncer seulement; l'étude des faits qui le démontrent n'étant pas complétée, les développements dont je l'ai accompagné ne pouvaient avoir pour objet que d'en montrer le plus ou moins de plausibilité. Du reste, on ne pourra être définitivement fixé sur sa valeur que lorsque les conséquences auxquelles il conduit auront été vérifiées expérimentalement.

J'ai dirigé actuellement mes recherches vers l'étude des phénomènes électriques qui accompagnent l'écoulement du mercure par

(*) Sur le développement de l'électricité statique. (*Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 2^e série, t. XLI, p. 1024, 1876.)

des tubes capillaires, en vue de vérifier une des conséquences de mon principe.

Ce mémoire faisant suite au précédent, comme je viens de le dire, il me sera permis, je pense, de toucher, aussi brièvement que possible, un point de mon dernier travail avant d'aborder l'exposé de mes expériences actuelles.

Je ne suis entré que dans bien peu de détails dans mon dernier mémoire, en ce qui concerne la question des deux électricités, ou mieux, de cette différence qui existe dans les propriétés de l'électricité et que l'on a interprétée en admettant l'existence, soit de deux électricités différentes, soit d'une seule électricité. Pour combler cette lacune, reportons-nous à la célèbre expérience de Volta.

J'ai montré, dans mon précédent mémoire, que ce n'était pas pendant le contact que les plaques se chargeaient d'électricité, mais bien lors de leur séparation : c'est l'effort que l'on doit faire pour les séparer qui est transformé en électricité. Dès lors, tout est conforme au principe que j'énonce, car, quand on met les plaques en contact, elles adhèrent et, pour les séparer, il faut faire un certain travail qui se transforme en électricité.

Mais cette quantité d'électricité, qui devient sensible et que l'on peut mesurer, est-elle la quantité totale qui prend naissance par l'arrachement des plaques? En d'autres termes, est-il possible de se servir de cette expérience pour déterminer la valeur du travail dépensé et de l'électricité produite?

L'expérience montre elle-même qu'il n'en est rien : on sait, en effet, que si l'on sépare deux plaques d'un même métal, deux plaques de cuivre, par exemple, après les avoir mises en contact, toutes deux étant dans les mêmes conditions physiques, à la même température, dans le même état de surface et de mêmes dimensions, on n'observe pas le moindre vestige d'électricité. Est-ce à dire qu'il ne s'en produit pas? En aucune façon. A cause même de l'égalité absolue de toutes les conditions physiques des deux plaques, il n'y a pas de motifs pour qu'il y ait transport de l'électricité positive plutôt sur une plaque que sur l'autre; chacune prendra, dès lors, la même quantité *des deux électricités*, et ces deux dernières, à cause du pouvoir conducteur des plaques métalliques, se neutraliseront mutuellement. Cette neutralisation étant toujours accompagnée de phénomènes calorifiques, *les deux plaques s'échaufferont.*

Par conséquent, dans le cas d'identité des plaques conductrices, ce n'est pas de l'électricité que l'on constatera après le contact, mais de la chaleur. Un seul contact, suivi d'une seule séparation, ne peut pas produire une quantité de chaleur suffisante pour être constatée par les moyens dont on dispose aujourd'hui; il est facile de s'en assurer : si l'on suppose, en effet, une plaque de cuivre carrée de 0^m100 de côté et 0^m001 d'épaisseur, soit donc d'un poids de 89 grammes environ, et que l'effort nécessaire pour opérer la séparation d'avec une autre plaque identique, soit 50 grammes, pendant une course de 0^m0001, ce qui représente une forte exagération, on ne pourrait arriver qu'à une augmentation de température marquée par 0^o000.000.000.08, la chaleur spécifique du cuivre étant 0.0951 et l'équivalent calorifique du travail $\frac{1}{424}$; inutile de répéter qu'il serait impossible de mesurer cette augmentation de température.

Il y a cependant un moyen de vérifier le fait. J'ai montré que sous le rapport de la génération de l'électricité on devait considérer le frottement comme un *arrachement continu* de deux corps en contact. Or si l'on frotte deux plaques de cuivre *de même surface* l'une contre l'autre, on n'engendre pas d'électricité; ce fait est la conséquence du résultat négatif que l'on obtient quand on veut s'assurer si par simple arrachement ces plaques peuvent produire de l'électricité. Mais, s'il n'y a pas d'électricité produite par le frottement, il y a au contraire de la chaleur produite : d'après mon principe, *cette chaleur proviendrait de la neutralisation continue de l'électricité pendant le frottement des plaques*. Il résulte donc de ce principe que la chaleur qui se produit pendant le frottement de deux corps est la conséquence d'un phénomène électrique précédent. Le travail détruit se transforme en électricité et celle-ci en chaleur : ainsi s'expliquerait, d'une manière très simple, non seulement comment il se fait que le frottement engendre de l'électricité, mais même de la chaleur.

Le fait que j'énonce ici me semble grave; on voudra donc bien me permettre d'entrer encore dans quelques détails en ce qui le concerne.

En premier lieu, s'il est vrai que la chaleur produite par le frottement de deux corps l'un contre l'autre est le résultat de la neutralisation de l'électricité produite au préalable, il faut qu'il existe une relation très simple entre la quantité d'électricité et la quantité de

chaleur produite : ainsi, si la quantité de chaleur est grande, la quantité d'électricité devra être faible; si, au contraire, la quantité de chaleur est faible, la quantité d'électricité devra être grande, de telle façon que la somme des valeurs d'équivalence de ces deux quantités soit égale dans tous les cas au travail dépensé. Eh bien, on a observé depuis longtemps que lorsque le plateau d'une machine électrique s'échauffe, la quantité d'électricité est faible ou nulle, *selon le degré d'échauffement*; inversement, on obtient le plus d'électricité quand le plateau reste froid.

En second lieu, si l'on dissout un métal dans un acide, il se produit de l'électricité, et ceci est conforme à mon principe, comme je l'ai montré : lorsque cette électricité ne peut pas sortir du vase dans lequel elle prend naissance, elle se neutralise dans le vase même avec dégagement de chaleur; si, au contraire, on enlève cette électricité, l'échauffement produit dans la pile est moindre; on est autorisé à dire, je crois, qu'il serait nul si l'on pouvait amener l'électricité à se neutraliser *entièrement hors de la pile*. Ainsi se trouve démontré ce fait expérimental découvert par Faraday, à savoir que la chaleur engendrée dans une pile n'est pas une action secondaire de l'électricité, mais l'équivalent du courant anéanti. Il est clair que ce qui se dit des actions chimiques qui se passent dans les piles, peut s'appliquer également à toutes les actions chimiques; il suit de là que, de même que la production de chaleur par le frottement est la conséquence d'un phénomène électrique, de même la mise en liberté de chaleur dans les combinaisons chimiques n'est probablement due qu'à un phénomène électrique.

Revenons maintenant au point qui nous occupe.

Si, au lieu de séparer l'un de l'autre deux corps conducteurs de même nature, on agit sur deux corps non conducteurs de même nature, on constatera la production d'une certaine quantité d'électricité (*), et même aussi dans le cas où les deux corps seraient conducteurs, s'il existe entre eux une différence de température.

Il résulte de ce qui précède que, lorsque les conditions physiques des corps ne sont pas les mêmes, la séparation des corps entraîne la production d'une certaine quantité d'électricité qui n'est pas la somme

(*) Voir RIES, Die Lehre der Reibungselectricität, t. II, pp. 400-404.

totale de celle développée, mais seulement le résidu d'une neutralisation partielle; quand les corps sont conducteurs, la neutralisation est totale et de la chaleur sera engendrée.

Je passe maintenant à l'exposé des recherches que j'ai faites pour éviter une des conséquences de mon principe.

Supposons que nous possédions un certain volume d'un liquide homogène, volume que je supposerai sphérique; toutes les molécules placées à une distance de la surface du liquide plus grande que le rayon de leur sphère d'action seront en équilibre sous l'action des molécules entourantes; celles placées à la surface, au contraire, ne sont attirées par les voisines que vers l'intérieur du liquide. On peut donc dire, pour abrégé le discours, que l'activité attractive est égale en tous sens pour les molécules de la profondeur et inégale pour celles de la surface; or, si la surface du liquide augmente au delà d'une certaine limite marquée par la tension superficielle maxima qu'il peut subir, des molécules de la profondeur devront passer à la surface et il en résultera un changement dans l'équilibre moléculaire: ce changement peut être assimilé à une augmentation ou à une diminution d'adhésion; il doit donc, d'après mon principe, être accompagné de phénomènes électriques. Toutefois il est visible que l'on ne peut pas confondre entièrement le cas actuel, où un seul et même corps diminue d'adhérence, au cas où la diminution se produit par la division d'un corps en un ou plusieurs autres. Les phénomènes calorifiques qui accompagnent le dégagement d'électricité peuvent être très compliqués; c'est ce que des recherches ultérieures nous montreront.

On peut cependant dire qu'en général à tout changement de la surface d'un corps, la quantité pondérale de celui-ci restant la même, correspond un changement dans son état électrique.

Telle est la thèse que j'avais consignée dans un paquet cacheté dont l'Académie a bien voulu accepter le dépôt le 10 février dernier et qu'elle a ouvert à ma prière, dans sa séance du mois de mai. On sait que M. Van der Mensbrugge est arrivé exactement au même résultat en partant, cependant, de considérations bien différentes.

On peut vérifier expérimentalement cette thèse d'un grand nombre de manières. Pour le moment, je ferai connaître les observations que j'ai faites pendant l'écoulement du mercure par un tube capillaire.

Si l'on fait couler du mercure par un tube capillaire assez fin, il sera débité par gouttes. Depuis l'origine de la formation de chaque goutte jusqu'au moment où elle se détache du tube, sa surface va en augmentant; cette dilatation doit être accompagnée de phénomènes électriques.

En variant de différentes manières les conditions de l'expérience, j'ai pu voir que nos connaissances sur l'écoulement des liquides par des tubes capillaires, laissaient à désirer en quelques points. Je n'ai pu obtenir quelques-uns des résultats annoncés par les physiciens qui se sont occupés de cette question, et, d'un autre côté, je me suis assuré que quelques facteurs, importants cependant, avaient passé inaperçus; les recherches présentes ont donc un double but: elles montreront, d'une part, que la formation des gouttes de mercure est en corrélation intime avec les phénomènes électriques et, d'autre part, elles contribueront à compléter l'étude de l'écoulement des liquides par les tubes capillaires.

Dans un mémoire très savant qui a paru en 1872, M. E. Duclaux (*) a fait l'historique complet des travaux entrepris sur l'écoulement des liquides par les tubes capillaires; il me sera permis, je crois, en vue d'abrégé ce mémoire, de renvoyer, pour ce qui concerne cette partie, au travail de ce physicien.

Il résulte des travaux tant théoriques qu'expérimentaux qui ont été faits sur la matière, que l'équation du mouvement d'un liquide dans un tube cylindrique doit être exprimée par

$$gH \frac{\pi D^3}{4} = \pi DL(AV + BV^2), \quad (1)$$

L étant la longueur du tube, D son diamètre, H la pression évaluée en colonne du même liquide sur l'unité de surface, g l'intensité de la pesanteur, V la vitesse et A et B deux constantes.

L'expérience ne vérifie pas cette formule d'une manière satisfaisante: c'est ainsi que pour des tubes larges les forces retardatrices paraissent proportionnelles au carré de la vitesse, tandis que pour des

(*) E. DUCLAUX, Recherches sur les lois des mouvements des liquides dans les espaces capillaires. (*Ann. de chim. et de phys.*, 4, t. XXV, pp. 435-501.)

tubes plus étroites elles sont proportionnelles à la première puissance de la vitesse.

L'équation (1) devient, d'après Girard (*) :

$$AV = \frac{gDH}{4L},$$

tandis que d'après Poiseuille (**) on aurait

$$V = \rho H \frac{D^2}{L};$$

on le voit, l'accord entre ces formules n'existe pas.

La formule de Girard s'obtient en supposant que le liquide coule dans le tube de façon que la vitesse de ses particules soit constante dans une même section droite du tube. En effet, dans ce cas, les forces retardatrices se produisent uniquement au contact de la paroi solide et doivent être proportionnelles à sa surface πDL , les forces accélératrices seront exprimées par

$$gH \frac{\pi D^2}{4};$$

donc

$$gH \frac{\pi D^2}{4} = \pi DL \cdot AV \quad \text{et} \quad V = C \frac{DH}{L}.$$

La formule de Poiseuille peut s'obtenir, au contraire, comme Boussinesq l'a montré (***), en admettant que la vitesse du liquide soit nulle au contact de la paroi et qu'elle augmente à mesure qu'on se rapproche de l'axe du tube.

(*) GIRARD, Mémoire sur l'écoulement linéaire de diverses substances par des tubes capillaires. (*Mém. de l'Acad. des sciences de Paris*, t. I, 1818, p. 187.)

(**) POISEUILLE, Recherches expérimentales sur le mouvement des liquides dans des tubes de très petit diamètre (*Idem* [Savants étrangers], t. IX, p. 433).

(***) BOUSSINESQ, De l'influence des frottements dans les mouvements réguliers des fluides. (*Mém. de l'Acad. des sciences de Paris* [Savants étrangers], 1868.)

Il suit de là que la formule de Poiseuille sera mieux vérifiée pour des liquides qui mouillent les parois du tube, tandis que celle de Girard s'appliquera de préférence aux liquides qui ne jouissent pas de cette propriété.

Quoi qu'il en soit, les déterminations que j'ai faites montrent que les vitesses d'écoulement du mercure par des tubes capillaires de verre ne suivent pas non plus, d'une manière satisfaisante, les lois traduites par la formule

$$V = C \frac{DH}{L};$$

d'autres résistances que le frottement doivent encore venir en ligne de compte; ensuite la méthode expérimentale suivie pour déterminer V ne me paraît pas heureusement choisie.

Excepté Hagen, tous les physiciens qui ont mesuré V ont opéré en déterminant le *volume* de liquide écoulé dans une unité de temps. Je crois que c'est une faute : la mesure rigoureuse d'un volume est chose très difficile; on ne doit y avoir recours que lorsqu'on y est absolument contraint. Ensuite on complique singulièrement le problème lorsqu'on étudie l'influence de la température sur la vitesse d'écoulement. Il est en effet visible, à priori, que cette méthode ne permet pas de saisir facilement les relations qui peuvent exister entre l'augmentation de la vitesse d'écoulement des liquides par l'action de la chaleur et leur dilatation. Pour ces motifs, j'ai déterminé *par pesées* la quantité de mercure écoulé dans l'unité de temps.

Comme je viens de le dire, j'ai entrepris ces expériences pour connaître l'influence de quelques facteurs sur la vitesse d'écoulement du mercure par des tubes capillaires. Les facteurs non encore pris en considération jusque maintenant sont :

- 1° La nature du milieu dans lequel se fait l'écoulement;
- 2° L'électricité.

Ensuite deux facteurs peu étudiés ou sur lesquels existent des données contradictoires, qui sont :

- a. L'influence de la surface capillaire;
- b. L'influence de la température.

Il y a peut-être encore d'autres causes qui modifient la vitesse d'écoulement; c'est ce que des recherches ultérieures pourront établir.

Ayant dû modifier les formes des appareils pour chacun de ces cas, je les ferai connaître à mesure que j'avancerai et je commencerai par l'étude de l'influence de la température.

Influence de la température.

De tous les physiciens qui se sont occupés de cette question, Girard est le seul qui ait fait des expériences pour connaître comment la vitesse d'écoulement du mercure varie avec la température; il est arrivé à un résultat très inattendu, à savoir que le volume de mercure écoulé dans une unité de temps serait indépendant de la température, tandis que pour les autres liquides le contraire pourrait être observé (*). Or, si l'on considère qu'à une température supérieure le mercure a une densité moindre qu'à une basse température, on doit en conclure que la quantité pondérale de mercure écoulé va *diminuant* quand la température augmente. Il est vrai que Girard admet que la température contribue seulement à diminuer l'adhérence des liquides aux parois du tube, et comme le mercure n'adhère pas au verre à la température ordinaire (selon Girard), puisqu'il ne le mouille pas, il ne serait pas étonnant que l'influence de la chaleur ne fût pas sensible. Il est visible, à priori, qu'il ne peut pas en être ainsi, car, s'il est vrai que le mercure ne mouille pas le verre, il est pourtant vrai qu'il y adhère avec une certaine énergie. Girard montre cependant que le volume de mercure qui demande 80'' de temps pour s'écouler à 65°C. en demande également 80 à 14°. J'ai donc cru qu'il serait intéressant de vérifier ce fait étrange.

A cet effet, je me suis servi d'un appareil composé d'un tube capillaire en verre à parois très minces, afin qu'il puisse facilement se mettre en équilibre de température avec le milieu dans lequel il se trouve. Ce tube était placé dans l'axe d'une petite auge en fer-blanc, remplie d'huile, que l'on pouvait chauffer sur toute sa longueur au moyen de lampes. Le mercure était contenu dans un réservoir en verre, placé à une certaine hauteur en dehors du bain d'huile et communiquant avec le tube capillaire au moyen d'un tube muni d'un robinet en verre. Le mercure du réservoir n'était pas

(*) GIRARD, *loc. cit.*, pp. 240-244.

chauffé; pour corriger ce défaut, j'ai soudé au tube capillaire, à l'extrémité correspondant à l'entrée du mercure, un tube large en verre, renflé encore par quelques petites boules soufflées sur son étendue; ce tube large plongeait dans le bain d'huile et c'est à ce dernier seulement que venait se fixer le robinet en verre. Dans ces conditions, on peut être certain que le mercure est convenablement chauffé avant d'entrer dans le tube capillaire, car, vu la lenteur avec laquelle l'écoulement se fait, le volume du mercure écoulé pendant le temps de l'expérience est un peu inférieur au volume du tube large; il suffit dès lors d'attendre assez longtemps, avant de faire une détermination, pour que l'on puisse avoir la certitude qu'il y a égalité de température entre le mercure remplissant le tube capillaire et celui remplissant le tube large.

J'ai laissé chaque fois couler du mercure pendant *cinq minutes* comptées au moyen d'une montre à secondes indépendantes; la quantité de mercure écoulée était pesée après refroidissement, puis versée de nouveau dans le réservoir; de cette façon, la hauteur de chute du mercure était maintenue constante à l'origine du mouvement. Pour obtenir la hauteur de chute effective, il suffit de prendre la moyenne entre les hauteurs de chute initiales et finales, comme Poiseuille l'a démontré du reste.

Cette hauteur de chute, mesurée au cathétomètre, était 0^m36992.

La longueur du tube capillaire était 0^m4940 et son diamètre, déduit du poids d'un fil de mercure remplissant toute sa longueur, 0^m00072.

Les premières déterminations ont eu lieu à la température de 0° maintenue au moyen de glace fondante : les températures supérieures ont été réalisées en chauffant, ainsi que je l'ai dit plus haut, le bain d'huile sur toute sa longueur au moyen de lampes à flammes très faibles; je ne commençais les déterminations que lorsque la température était devenue constante.

Le tableau de la page suivante traduit les résultats obtenus.

On voit que la quantité pondérale de mercure écoulée dans l'unité de temps augmente rapidement avec la température, contrairement à ce qui aurait dû se produire d'après les observations de Girard.

Les résultats précédents conduisent à l'équation

$$g = g_0 \{ 1 + 0,0044965t - 0,00003452t^2 + 0,000000154875t^3 \}.$$

Poids de mercure écoulé pendant cinq minutes :

à 0°.	à 20°25.	à 56°00.	à 85°50.
212,101	228,652	248,428	261,443
212,475	228,732	248,417	261,568
212,488	228,914	248,732	291,580
212,075	228,823	248,673	261,414
212,381	228,781	248,548	261,603
212,352	228,890	248,590	261,594
212,526	228,699	248,688	261,518
212,253	228,843	248,754	
	228,931		
Moy. 212,231	228,807	248,604	261,531

Il est inutile de faire observer que cette relation n'est applicable qu'aux cas où la hauteur de chute aussi bien que la longueur du tube et son diamètre, ont les valeurs indiquées plus haut. On peut s'assurer que l'équation dérivée a ses racines imaginaires; il n'existe donc pas, entre 0° et 86°, de températures pour lesquelles la vitesse d'écoulement serait un maximum ou un minimum, chose qui se manifeste pour quelques liquides.

Dans les déterminations précédentes, on ne peut guère commettre d'erreur que dans l'appréciation de la durée de l'écoulement; or, cette erreur est tout à fait inappréciable; on s'en convainc facilement en considérant le degré d'exactitude que l'on peut atteindre dans l'estimation du temps; il suffit, en effet, lorsque l'époque de l'écoulement est presque terminée, de compter mentalement, en tenant la clef du robinet de verre en main, les secondes dictées par la montre afin d'arriver, pour ainsi dire, à fermer toujours au même moment. Il est, d'autre part, une source d'erreurs indépendante de l'observateur : quand on ferme subitement le robinet d'accès, la colonne de

mercure s'arrête généralement alors que la goutte de mercure suspendue au tube capillaire n'a pas encore le poids voulu pour se détacher spontanément; si on la fait tomber, on voit qu'elle entraîne dans sa chute *plus ou moins* de mercure qui se trouve dans le tube; de là proviennent, en partie du moins, les fluctuations des nombres consignés dans le tableau précédent. J'indiquerai plus loin d'autres causes d'erreurs et le moyen de les éviter.

Influence du ménisque capillaire.

Après avoir déterminé l'influence de la température, j'ai cherché à connaître si, pendant l'écoulement par gouttes, les variations de courbure qu'éprouvent les gouttes peuvent modifier la vitesse d'écoulement.

Les recherches expérimentales qui ont été faites à ce sujet ont conduit à des résultats contradictoires. Ainsi, tandis que Girard (*) conclut de ses expériences répétées un grand nombre de fois, que la formation des gouttes n'a absolument aucune influence sur la vitesse d'écoulement, Poiseuille (**) déduit des siennes que cette influence est appréciable. Assez longtemps après les recherches de Girard et de Poiseuille, Duclaux (***) démontra, par un calcul très simple, que la grosseur des gouttes qui se forment à l'orifice d'un tube capillaire dépendait de la tension superficielle du liquide; il se contenta de déterminer cette tension pour un grand nombre de liquides, en mesurant le volume des gouttes auxquelles elles donnent naissance, mais il ne chercha pas jusqu'à quel point la vitesse d'écoulement pouvait être influencée de ce chef. Ce point devait être mis en lumière, car on conçoit facilement que des liquides différents, coulant avec la même vitesse, peuvent donner des gouttes de volumes différents. Ce sont là les seules données concernant cette question que j'aie rencontrées, car ni Hachette, Navier, Hagen, Hagenbach, Graham, Boussinesq, ni Mathieu, n'en font mention.

Ce qui offre quelque intérêt n'est donc pas seulement de savoir si

(*) GIRARD, *loc. cit.*, p. 225.

(**) POISEUILLE, *loc. cit.*, p. 438.

(***) DUCLAUX, Sur la tension superficielle des liquides. (*Ann. de chim. et de phys.*, 4^e série, t. XXI, 1870, pp. 396-400.)

l'influence du ménisque est sensible, mais aussi les raisons pour lesquelles les observateurs ne sont pas d'accord.

La température devant rester constante cette fois, je me suis servi de l'appareil suivant :

Dans l'axe d'un tube de verre large (0^m018 environ de diamètre), posé horizontalement, se trouvait placé le tube capillaire : le tube large, un peu plus court que le tube capillaire, se fermait contre ce dernier et le tout était disposé de manière à permettre une circulation d'eau dans l'espace compris entre les tubes. Cette eau, provenant d'un grand réservoir, maintenait la température des tubes parfaitement constante pendant toute la journée. Ce n'est que pendant la première heure d'écoulement que quelques fluctuations dans la température sont sensibles, parce qu'alors les tuyaux et les tubes adducteurs ne sont pas encore en équilibre de température avec l'eau. Deux thermomètres dont la boule plongeait dans les tubes adducteurs au moyen d'une disposition spéciale, à l'entrée et à la sortie du tube large, renseignaient sur l'état de la température. Le réservoir d'où le mercure s'écoulait était le même que celui qui avait servi dans les expériences précédentes. Le tube capillaire dans lequel circulait le mercure était courbé à angle droit à sa sortie du tube large, de façon à présenter une branche verticale de 0^m060 de hauteur; sous cette branche se trouvait le récipient destiné à recueillir le mercure écoulé. Dans ces conditions, on pouvait permettre au mercure de s'écouler goutte à goutte ou en jet continu; il suffisait d'abaisser ou d'élever le récipient de manière que le bec fût à l'air libre ou bien noyé dans le mercure. D'autre part, le réservoir d'où le mercure s'écoulait pouvait également être abaissé ou élevé pour permettre de retarder ou d'accélérer la vitesse d'écoulement du mercure.

Ces dispositions prises, j'ai déterminé la quantité de mercure écoulée pendant cinq minutes sous différentes charges avec bec émergé ou immergé. Si la formation des gouttes oppose réellement une résistance à l'écoulement, il devient facile de la mesurer, puisque, dans ce cas, l'écoulement à bec libre doit être plus lent que l'écoulement à bec noyé; de plus, on peut déterminer également l'influence que la vitesse d'écoulement doit avoir sur la résistance occasionnée par la formation des gouttes.

Lorsque le bec était noyé dans du mercure, il se produisait une

contre-charge qui allait en augmentant à mesure que le mercure remplissait le récipient. On mesurait cette contre-charge au cathétomètre au commencement et à la fin de chaque expérience, et la moyenne des hauteurs ainsi obtenues était soustraite de la hauteur de chute mesurée au réservoir; on obtenait ainsi la hauteur de chute effective. Pendant l'écoulement à bec libre, on plaçait le réservoir, en s'aidant du cathétomètre, de sorte que la différence de niveau mesurée entre le bec de sortie et la hauteur du mercure dans le réservoir au commencement et à la fin de l'expérience fût égale à la hauteur de chute effective, trouvée précédemment.

Voici les résultats obtenus :

Quand la hauteur de chute est considérable, *le retard apporté dans la vitesse d'écoulement par la formation des gouttes, paraît insensible*; les nombres auxquels je suis arrivé diffèrent entre eux de quantités très près d'être égales aux erreurs d'observation, comme cela ressort du tableau suivant :

Hauteur de chute effective.	QUANTITÉ DE MERCURE ÉCOULÉE		Différence.
	à bec noyé.	à bec libre.	
0 ^m 4523	529,578	528,752	0,826
	529,042	528,896	0,136
	529,500	528,620	0,880
	529,410	528,655	0,755
	529,109	528,728	0,381
	529,047	528,779	0,268
	529,340	528,640	0,700
Moyenne . .	529,289	528,724	0,565

On le voit, la quantité de mercure écoulée à *bec noyé* est un peu plus grande que celle écoulée à *bec libre*, mais cette différence 0.565 se traduit parfois dans deux pesées consécutives, elle est aussi grande

que l'erreur d'observation possible et l'on peut donc dire, tout au plus, que la formation des gouttes paraît n'avoir pas d'influence sur la vitesse d'écoulement. Les résultats de Girard se trouvent par conséquent confirmés.

J'ai diminué ensuite la hauteur de chute de $\frac{1}{5}$ environ et cette fois-ci les résultats ont été très différents des précédents : la formation des gouttes diminue de plus de $2\frac{1}{2}\%$ la vitesse d'écoulement.

Hauteur de chute effective.	QUANTITÉ DE MERCURE ÉCOULÉE		Différence.
	à bec noyé.	à bec libre.	
0 ^m 2928	341,673	333,240	8,433
	342,500	333,955	8,554
	342,346	334,111	8,235
	341,985	333,760	8,225
	342,105	333,885	8,220
	342,769	333,486	8,283
Moyenne	342,229	333,739	8,409

Par conséquent, sous une charge de 0^m2928 et à une température de 15°1, il y a une augmentation de 8^{gr}682 dans le poids de mercure écoulé pendant cinq minutes lorsque le bec d'écoulement est noyé; on en déduit que l'accélération est 2.603 % du poids de mercure écoulé à bec libre.

Si l'on diminue davantage encore la hauteur de chute, l'influence due à la formation des gouttes est plus sensible encore; et enfin, si la hauteur de chute est inférieure à 0^m009, il n'y a plus d'écoulement, ce qui doit être du reste, cette hauteur de chute représentant l'action du ménisque capillaire.

Quand les hauteurs de chute sont très faibles, les déterminations que l'on fait sont très peu concordantes entre elles; c'est ainsi que les pesées des quantités de mercure qui s'étaient écoulées pendant une heure sous une charge de 0^m0540, différaient souvent de

5 à 6 grammes, ce qui représentait environ 10 % de la quantité totale écoulée. Nous trouverons plus loin les motifs de ce manque absolu de concordance dans les pesées. Il est évident que dans de telles conditions les documents d'expérience ne peuvent avoir aucune valeur absolue; je me dispense donc de les reproduire ici. Je ferai observer, toutefois, que si l'on se pose seulement la question de savoir si l'influence de la formation des gouttes est plus grande quand la charge diminue, sans se demander quelle est la grandeur de cette influence, il ne peut rester aucun doute à ce sujet.

La grandeur de la résistance opposée à l'écoulement par la formation des gouttes n'est pas seulement influencée par la vitesse du liquide, mais encore par la température.

L'appareil dont je me suis servi ne me permettait pas d'opérer à des intervalles considérables de température; je n'ai fait des observations qu'aux températures de 11°4, 15°1 et 15°0.

Le tableau suivant renferme le résultat moyen de six observations pour chaque température, à bec libre et à bec noyé.

Hauteur de chute.	Température.	POIDS DU MERCURE ÉCOULÉ pendant cinq minutes		Poids du mercure calculé en posant l'influence de la température = 0, à partir de 13°1.	Différence.
		à bec noyé.	à bec libre.		
0,29284	11,4	340,763	331,917	332,309	+ 0,392
	13,1	342,229	333,739	»	»
	15,0	345,223	336,532	336,658	+ 0,126

Les nombres de la cinquième colonne ont été obtenus en admettant que l'influence de la formation des gouttes reste, à 11°4 et 15°0, ce qu'elle était à 15°1 : on voit qu'à 11°4 il coule moins de liquide à bec libre qu'il n'aurait dû en couler si l'influence de la température sur l'action des ménisques était nulle, et inversement il en coule plus à 15°. Les différences sont petites, à la vérité, mais suffisantes pour montrer que la température n'est pas sans influence sur le phénomène.

Je crois qu'on peut facilement voir maintenant pourquoi on n'a pas été d'accord sur la question de savoir si la vitesse d'écoulement était influencée par la formation des gouttes : on peut, en effet, obtenir tel résultat qu'on désire selon les conditions dans lesquelles on se place; il suffit d'augmenter ou de diminuer la hauteur de chute.

Les lois qu'on a fait connaître sur l'écoulement des liquides par les tubes capillaires ne peuvent donc être vérifiées que pour autant que l'orifice du tube capillaire dont on se sert soit noyé dans le liquide. Poiseuille est le seul qui ait opéré de cette façon; rien d'étonnant dès lors que d'autres physiciens n'aient pas obtenu des résultats irréprochables.

Ce qui précède nous montre encore que chaque fois qu'il s'agira d'étudier l'influence d'actions peu énergiques sur la vitesse d'écoulement des liquides, il faudra nécessairement employer une hauteur de chute aussi faible que possible. Nous ferons immédiatement usage de cette remarque.

Phénomènes électriques.

Je ferai connaître maintenant les phénomènes électriques qui accompagnent l'écoulement du mercure par des tubes capillaires, ainsi que l'influence de l'électricité sur la vitesse d'écoulement.

Les grandeurs à mesurer sont très petites; il faut donc, conformément à la remarque faite plus haut, diminuer fortement la hauteur de chute du mercure, mais alors la concordance dans les pesées successives, toutes conditions paraissant rester les mêmes, laisse énormément à désirer; j'ai pu découvrir la cause de ces perturbations : *elle se trouve tout entière dans l'état de l'atmosphère*. La moindre augmentation ou diminution de l'état hygrométrique ou de la composition de l'atmosphère à un point de vue quelconque, exerce une influence étonnante sur la vitesse d'écoulement; dans une atmosphère constante en nature, la vitesse d'écoulement reste également constante. Je ferai connaître à la suite de ce paragraphe les observations que j'ai pu faire à ce sujet; elles confirment également mes vues sur la marche des phénomènes électriques.

Pour éliminer les actions qui proviennent des variations de l'atmosphère, il faut enfermer l'orifice de sortie du tube capillaire

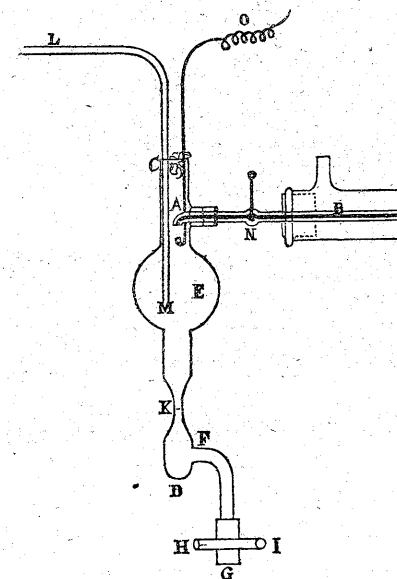
dans un vase où l'on peut créer une atmosphère constante dans sa nature. La disposition que j'ai prise est la suivante :

Le tube capillaire dans lequel circule le mercure est plié, à l'extrémité de sortie, à angle droit, puis la branche descendante est coupée à 0^m001 environ du coude; de cette manière, les gouttes de mercure qui se forment lors de l'écoulement sont suspendues à un petit fil vertical de mercure. Ce bec AB (voir la figure) ainsi préparé est engagé dans un ajutage en verre soudé latéralement à un tube en verre CD; un bouchon en caoutchouc revêtu de cire à cacheter rend la fermeture hermétique.

Vers le milieu du tube CD est soufflée une boule E; cette boule constitue le réservoir destiné à recueillir le mercure écoulé. Lorsqu'une opération est faite, on soufite le mercure de la boule; pour cela, le tube CD porte en F un petit tube courbé à angle droit et muni d'un ajutage en caoutchouc qu'on peut fermer au moyen d'une pince. Pour être certain d'enlever totalement le mercure coulé dans le réservoir pendant une opération, on introduit dans celui-ci du mercure jusqu'à un trait d'affleurement R marqué sur une partie étranglée du tube CD, puis, après chaque opération, lorsque du mercure a coulé pendant cinq minutes dans le réservoir, il suffit d'ouvrir la pince jusqu'à ce que le mercure affleure de nouveau le trait K; de cette façon, l'appareil reste toujours fermé par le bas.

On engage ensuite par l'ouverture C du tube CD un tube fin LM en verre dont l'orifice se trouve dans la région inférieure de la boule E; c'est par ce tube qu'on fait arriver, en jet continu, un gaz pur. Pour éviter le remous qui se fait à l'orifice C du tube, on bouche ce dernier au moyen d'un tampon d'ouate.

Pour pouvoir observer les phénomènes dus à l'électricité, j'ai



soufflé, en N, sur le tube capillaire une petite boule dans la paroi de laquelle j'ai soudé un petit fil de platine. Un autre fil de platine O, enduit de cire à cacheter, descendait dans le tube CD et venait se terminer à la hauteur du bec A du tube capillaire, son extrémité étant pliée en anneau. Il était facile, dans ces conditions, d'électriser les gouttes de mercure qui se formaient en A, le courant pouvant marcher de O vers N ou inversement.

Le tube capillaire employé dans ces opérations avait 0^m560 de long et un diamètre de 0^m00042. Un courant continu d'eau maintenait la température constante comme dans les expériences précédentes.

Reportons-nous maintenant au phénomène de la formation des gouttes lui-même.

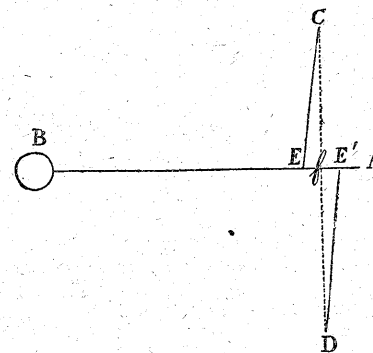
Lorsqu'une goutte grandit, sa surface augmente; il faut donc qu'il y ait continuellement des molécules de la profondeur qui passent à la surface; celles-ci, en se présentant à la surface, déterminent la perte d'une partie de l'énergie attractive qui était en activité dans la masse, car elles ne se trouvent plus attirées de tous côtés par des molécules semblables à elles-mêmes. Dès lors, si le principe que je défends est l'expression de la vérité, chacune de ces gouttes devra s'électriser. Il est facile de voir que chaque goutte devra prendre à la fois l'électricité positive et l'électricité négative; comme le mercure est conducteur de l'électricité, des phénomènes calorifiques se manifesteront. On ne pourra donc pas constater la présence de l'électricité. Je dois dire cependant que j'ai pu en constater, non par les moyens ordinaires, mais par le procédé que je vais indiquer à l'instant; cette petite quantité d'électricité provient, très probablement, des courants thermo-électriques qui s'établissent dans la goutte, selon l'opinion que M. Van der Mensbrugge a exprimée le premier, dans un mémoire appelé à faire une profonde sensation parmi les savants (*).

Pour s'assurer de la présence de cette petite quantité d'électricité, on dispose les choses de façon qu'une goutte de mercure reste suspendue au bec du tube capillaire, le tube réservoir CD qui protège le bec étant enlevé. On fait ensuite usage d'un petit pendule hori-

(*) VAN DER MENSBRUGGE, Application de la thermodynamique à l'étude des variations d'énergie potentielle des surfaces liquides. (*Bull. de l'Acad. roy. de Belgique*, 2^e série, t. XLII, p. 769, 1876.)

zontal analogue à celui employé par Zöllner dans ses études sur l'attraction (*).

A l'extrémité B d'un fil de verre très délié de 0^m040 de long est fixée une petite balle de moelle de sureau de 0^m002 de diamètre. Ce fil de verre est suspendu horizontalement par deux fils de cocon de même longueur fixés par une de leurs extrémités à des points fixes C et D et par l'autre en deux points E, E' très voisins, l'un de l'autre, du fil de verre. Si les points C et D sont sur une même verticale CD, la balle B décrira une circonférence de cercle dont le plan sera horizontal, et si la pesanteur est la seule action qui s'exerce sur la balle, elle pourra s'arrêter indifféremment en un point quelconque de la circonférence du cercle qu'elle parcourt. Mais pendant la rotation du pendule, les fils de soie se tordent et il se produit de ce chef un point d'équilibre.



Sans entrer dans plus de détails, on voit que cet appareil est d'une exquise sensibilité; son peu de masse, tout en rendant à la vérité son maniement plus difficile, permet à une force attractive faible et de peu de durée, de le mettre facilement en mouvement.

Si l'on installe cet appareil de manière que les gouttes de mercure qui se forment au bec du tube capillaire soient dans le plan horizontal décrit par la balle de moelle de sureau et très près du point d'équilibre, et qu'on imprime un mouvement au pendule, on voit le point d'équilibre avancer vers le bec du tube capillaire dès que le mercure coule. Ceci montre à l'évidence que les gouttes de mercure qui se détachent du bec sont pourvues d'une force attractive et par conséquent électrisées.

Cette quantité d'électricité ne provient pas du frottement du mercure contre le tube, comme on pourrait le croire; on peut s'en assurer très facilement en noyant le bec du tube dans une grande quantité de mercure; dans ce cas, le frottement existe toujours quand

(*) ZÖLLNER, Ueber eine neue Methode zur Messung anziehender und abstossender Kräfte. (*Ann. de Poggendorf*, t. CL, pp. 131-140.)

le mercure coule, mais la formation des gouttes est empêchée; dès lors, si l'électricité était due au frottement, elle devrait encore se manifester; il n'en est rien cependant, on ne peut plus en déceler la moindre trace. Du reste, l'électricité produite par le frottement ne peut pas se manifester dans ce cas, puisque le corps frottant reste en contact continu, sur toute son étendue, avec le corps frotté; l'électricité que prend le mercure doit se neutraliser, de tranche en tranche, avec celle prise par le verre, et de la chaleur seule doit devenir sensible.

Il est donc démontré que la cause de l'action électrique se trouve dans la formation des gouttes.

J'ai essayé, à plusieurs reprises, de m'assurer s'il y a réellement échauffement ou refroidissement du mercure lors de la formation des gouttes; les moyens que j'avais à ma disposition ne m'ont pas permis, jusqu'à présent, de constater la chose. Il est donc impossible, jusque maintenant, de vérifier mon principe par cette voie, mais voici comment on peut tourner la difficulté.

S'il est vrai que les molécules de mercure qui se détachent de la profondeur pour venir à la surface sont électrisées, on peut assimiler cette source d'électricité à celle que nous présente toute décomposition chimique et appliquer dès lors le principe de réciprocité. Ainsi, si l'on plonge du zinc dans de l'acide sulfurique étendu, il se dissoudra en produisant de l'électricité : on pourra favoriser ou enrayer l'action dissolvante de l'acide sulfurique en faisant marcher un courant de l'acide vers le zinc ou du zinc vers l'acide; de même, dirai-je, si l'on a affaire ici à un phénomène électrique proprement dit, il faut qu'en électrisant les gouttes dans un sens on augmente la résistance à l'écoulement et qu'on la diminue en les électrisant en sens contraire.

Il suffira donc de peser la quantité de mercure écoulee dans l'unité de temps dans ces conditions pour résoudre entièrement le problème.

Pour cela, reportons-nous à l'appareil que j'ai décrit au commencement de ce paragraphe. Le bec du tube capillaire se trouve engagé dans le réservoir et celui-ci est rempli d'hydrogène pur; de cette façon, toute action chimique est rendue impossible.

Comme source d'électricité, j'ai employé une bobine de Ruhmkorff, petit modèle (0^m200 de long), dont le fil inducteur était parcouru

par un courant fourni par un élément Bunsen : celui-ci donnait 4^{cc}8 de gaz tonnant en cinq minutes. Le courant induit inverse de la bobine a été éliminé par la méthode ordinaire.

Dans une première série d'expériences, j'ai déterminé le poids de mercure écoulé pendant quinze minutes sans que l'appareil soit parcouru par un courant électrique; ceci à l'effet d'obtenir un point de comparaison. Le résultat obtenu se trouve consigné dans la première colonne du tableau suivant. Ensuite, j'ai fait entrer le courant par O (voir la figure) et sortir par N; la deuxième colonne traduit le résultat obtenu; enfin, l'effet du renversement du courant est désigné dans la troisième colonne.

Poids de mercure écoulé pendant quinze minutes sous une hauteur de chute de 0^m0320 et à une température de 15°60.

Sans action électrique.	Courant allant de l'extérieur à l'intérieur du tube capillaire	Courant allant de l'intérieur à l'extérieur du tube capillaire
19,909	22,064	16,899
19,767	22,120	16,810
19,880	22,260	16,750
19,532	22,430	16,662
19,970	22,250	16,783
19,820	22,332	16,435
19,683	22,110	16,728
»	22,354	16,700
Moyenne 19,796	22,240	16,720

Il existe donc une différence énorme entre le poids de mercure écoulé dans ces différentes conditions; cette différence est environ vingt fois plus considérable que l'erreur d'observation probable; il est en effet facile de s'assurer que cette dernière est traduite par

0.149. Si l'on pose la quantité de mercure écoulee sans action électrique égale à 100, on voit que si l'électricité marche de l'extérieur de la goutte à l'intérieur, la quantité de mercure écoulee sera exprimée par 112.54, et, dans le cas contraire, par 84.46; il y a donc, d'une part, une augmentation de 12.54 % et, de l'autre, une diminution de 15.54 % dans la quantité de mercure écoulee dans l'unité de temps. Les conséquences de mon principe reçoivent donc une confirmation manifeste.

Ces résultats paraissent en contradiction avec ceux auxquels M. Van der Mensbrugghe est arrivé il y a deux ans environ (*). On se rappelle que M. Van der Mensbrugghe a conclu de ses expériences que l'électricité statique était sans influence sur la tension superficielle des liquides. Je crois que l'on doit distinguer ici un point capital. Si nous supposons, en effet, qu'on électrise une goutte de mercure stationnaire suspendue à l'orifice d'un tube capillaire, on ne verra ni augmenter ni diminuer cette goutte, le liquide ne sera pas refoulé dans le tube capillaire par l'action de l'électricité, ni invité à en sortir; ceci est conforme aux observations faites par M. Van der Mensbrugghe. Mais si, la goutte étant électrisée, on met en mouvement le mercure qui se trouve dans le tube capillaire, la goutte se gonflera et la tension superficielle variera; dès lors l'électricité peut intervenir pour faciliter ou enrayer la *variation de la tension superficielle*: ceci est conforme à mes observations. En résumé, l'électricité ne change pas une tension déterminée, mais elle peut s'opposer aux changements de cette tension ou les favoriser.

Influence de la nature de l'atmosphère.

Nous venons de voir que si on laisse couler du mercure par un tube capillaire de manière qu'il soit débité goutte à goutte dans une atmosphère quelconque et variable, il se présente d'assez grandes fluctuations dans les poids des portions de liquide écoulees dans une unité de temps. J'ai déjà dit que ces fluctuations prenaient leur source

(*) VAN DER MENSBRUGGHE, L'électricité statique exerce-t-elle une influence sur la tension superficielle d'un liquide? (*Mém. cour. et mém. des Savants étrangers*, publiés par l'Académie, XL, 1875).

dans les changements de nature de l'atmosphère; j'en poursuivrai maintenant l'étude détaillée.

J'exposerai d'abord les faits, sans commentaires, et je les discuterai ensuite.

Je me suis servi de l'appareil décrit dans le paragraphe précédent; j'ai seulement porté la hauteur de chute à 0^m37295, afin d'accélérer la vitesse d'écoulement du mercure, les grandeurs à mesurer étant assez sensibles d'ailleurs. Je faisais arriver dans le réservoir par le tube L les différents gaz dans lesquels les gouttes de mercure devaient se former.

Je prendrai comme terme de comparaison dans tout ce qui va suivre le poids de mercure écoulé pendant cinq minutes dans une atmosphère d'hydrogène pur et sec. Le tableau suivant établit ce terme de comparaison.

Poids de mercure écoulé en cinq minutes dans une atmosphère d'hydrogène à 16°00.

100,243	100,211
100,460	100,118
100,290	100,221
100,140	100,190
100,172	100,109

Moyenne : 100,185

On peut calculer, au moyen de ces nombres, que l'erreur moyenne probable d'une pesée est 0^{sr},057; d'autre part, l'erreur probable dont le résultat est entaché est 0^{sr},018. Ceci nous permettra de conclure au degré d'exactitude des observations suivantes.

J'ai consigné dans le tableau suivant les résultats obtenus en laissant couler le mercure dans onze atmosphères différentes. On voit que quatre observations ont été faites dans de l'air: la première dans de l'air ordinaire, la seconde dans de l'air saturé d'humidité, la troisième dans de l'air séché au moyen de chlorure de calcium seulement et qui pouvait par conséquent renfermer encore des acides, et enfin la quatrième a été faite dans de l'air sec et pur. Chaque colonne se termine par les nombres qui expriment la grandeur de l'erreur probable d'une pesée et du résultat.

Poids de mercure écoulé pendant cinq minutes à la température de 16°00 dans différents milieux.

	Air ordinaire.	Air humide.	Air sec.	Air sec et pur.	Anhydride carbonique sec.	Oxygène sec.	Oxygène humide.	Anhydride sulfureux sec.	Anhydride humide.	Acide chlorhydrique sec.	Acide chlorhydrique humide.
	98,568	97,638	99,130	100,255	100,380	99,189	98,544	96,769	96,912	95,763	95,602
	98,514	97,553	99,200	100,265	100,402	99,900	98,630	96,763	96,920	95,740	95,615
	98,204	97,663	99,175	100,350	100,440	99,180	98,570	96,736	96,920	95,755	95,600
	98,683	97,638	99,183	100,230	100,420	99,195	98,583	96,776	96,983	95,770	95,620
	98,633	97,693	99,163	100,247	100,375	99,213	98,597	96,750	96,965	95,760	95,615
	98,340	97,616	99,170	100,236	100,400	99,180	98,600		96,930	96,760	95,631
	98,402				100,418					95,748	
	98,703									95,732	
	98,793										
	98,335										
Moyennes . . .	98,517	97,633	99,170	100,264	100,400	99,193	98,587	96,759	95,938	95,754	95,614
Erreur probable d'une observation.	0,114	0,030	0,023	0,044	0,019	0,015	0,033	0,016	0,028	0,014	0,011
Erreur probable du résultat.	0,056	0,018	0,009	0,018	0,007	0,006	0,013	0,007	0,012	0,005	0,005

En posant le poids du mercure écoulé dans une atmosphère d'hydrogène égal à 100.00 pour faciliter la comparaison, nous pourrions résumer ces résultats de la manière suivante :

Air ordinaire.	Air humide.	Air sec.	Air sec et pur.	Anhydride carbonique sec et pur.	Oxygène sec.
98,335	97,452	98,986	100,079	100,214	99,009
Oxygène humide.	Anhydride sulfureux sec.	Anhydride sulfureux humide.	Acide chlorhydrique sec.	Acide chlorhydrique humide.	
98,404	96,580	96,758	95,577	95,437	

Si l'on compare les différences qui existent entre ces nombres avec celui qui exprime la vitesse d'écoulement du mercure dans une atmosphère d'hydrogène tout en tenant compte de l'erreur probable qui affecte chaque résultat, on voit qu'il n'y a aucun doute que la nature de l'atmosphère n'ait une influence notable sur la quantité de mercure écoulé dans un temps donné.

Nous nous trouvons donc en présence d'un fait qui montre pourquoi les pesées successives du mercure écoulé dans un même temps et dans des conditions égales *en apparence*, ne concordent pas toujours. C'est un facteur dont on devra tenir sérieusement compte dans les études expérimentales auxquelles les phénomènes capillaires donneront encore lieu, si l'on désire arriver à des résultats plus satisfaisants que ceux connus jusqu'aujourd'hui.

Je rappellerai que Bède (*) avait déjà fait quelques expériences

(*) BÈDE, Recherches sur la capillarité. (*Mém. cour. et mém. des savants étrangers*, publiés par l'Académie, XXX, 1870, p. 134.)

dans ce sens : il a déterminé l'ascension de liquides dans des atmosphères d'air, d'oxygène et d'hydrogène, mais il a conclu que l'ascension des liquides était indépendante de la nature de l'atmosphère. La seule observation positive qui existe sur ce sujet, à ma connaissance du moins, est due à Duclaux (*) : il avait observé, après Girard et Hachette, qu'une très petite quantité d'alcool activait le passage de l'eau à travers un orifice en mince paroi, ce qui revient à dire qu'elle diminue la contraction de la veine, et il chercha si la présence de l'alcool avait quelque influence sur la grosseur des gouttes qui se forment à l'extrémité d'un tube de section donnée. Il se servit d'un appareil analogue au compte-gouttes de Salleron : c'est une pipette pouvant donner 100 gouttes de liquide (eau pure) dans l'air ordinaire; quand l'eau s'écoule dans une atmosphère d'alcool, on obtient 116 gouttes au lieu de 100. Il y a donc ici un phénomène semblable à ceux que j'ai observés; toutefois, Duclaux ne dit pas si l'alcool a une influence *sur la quantité* d'eau écoulée dans un temps donné. Pour résoudre cette question, j'ai remplacé le mercure de mon appareil par de l'eau que j'ai laissée couler d'abord dans de l'air, puis dans une atmosphère d'alcool; la hauteur de chute étant 0^m0520, la température 15°6 : il coule 55^{sr}422 d'eau dans de l'air pur pendant soixante-quatre minutes, tandis que pendant le même temps il en coule 86^{sr}313 dans une atmosphère d'alcool!

Si nous portons notre attention sur les résultats obtenus pendant l'écoulement du mercure, nous voyons que chaque fois que l'atmosphère est de telle nature qu'elle n'a pas d'action chimique sur le mercure, la vitesse d'écoulement est un maximum; elle est à peu près égale à celle qu'on observe dans une atmosphère d'hydrogène, elle se montre un peu supérieure, mais dans aucun cas inférieure; c'est ainsi que l'on trouve respectivement 100.079 et 100.214 pour des atmosphères d'air sec et pur et d'anhydride carbonique sec. Dans toutes les autres atmosphères *et surtout quand il y a des vapeurs d'eau en présence*, la vitesse d'écoulement est sensiblement ralentie. Ce ralentissement peut aller jusque 4.5 %, tandis que la plus grande erreur probable du résultat n'est que 0.056; il ne peut donc pas y avoir de doute à cet égard.

(*) DUCLAUX, Sur la tension superficielle des liquides. (*Ann. de chim. et de phys.*, 4^e série, XXI, 1870, p. 378.)

Quelle peut être la cause de ce phénomène?

Je proposerai momentanément l'explication suivante, me réservant, bien entendu, de la soumettre au contrôle de l'expérience; elle a donc pour le moment un caractère hypothétique, mais sa plausibilité me paraît cependant assez grande.

Dans une atmosphère sans action chimique sur le mercure, les choses se passeraient comme suit : quand la goutte de mercure grandit, elle s'électrise; la neutralisation de cette électricité engendre de la chaleur, la constante capillaire doit donc diminuer et la vitesse d'écoulement augmenter.

Il n'en est plus de même lorsque l'atmosphère dans laquelle les gouttes se forment renferme une substance décomposable par le mercure. Dans ce cas, en effet, l'électricité produite à la surface des gouttes décompose les corps de l'atmosphère, et son énergie dépensée dans ce travail ne se transforme plus en chaleur, la constante capillaire ne diminue pas et la vitesse d'écoulement ne doit pas augmenter. Mais les choses ne se terminent pas là : les molécules de mercure qui sortent de la profondeur de la goutte pour arriver à la surface quand la goutte grandit, doivent se délier de leurs voisines, elles sortent d'une combinaison, pour ainsi dire, et se trouvent dès lors, au moment de leur sortie, dans l'état qu'on a nommé en chimie « état naissant ». D'autre part, les atomes qui proviennent de l'électrolyse des corps décomposables de l'atmosphère sont aussi à l'état naissant; il doit donc y avoir combinaison entre ces corps et le mercure, et, en effet, chaque fois que le mercure coule goutte à goutte dans une atmosphère renfermant des corps décomposables, il se ternit, et si l'écoulement dure assez longtemps, il se produit même des croûtes noires qui témoignent de l'action chimique.

L'étude de ces phénomènes électriques, faite au point de vue des actions chimiques auxquelles ils peuvent donner naissance, contribuera probablement à l'explication d'un grand nombre de faits intéressants. Nous voyons, en effet, que le mercure ne décompose pas l'eau à la température ordinaire ni dans les conditions ordinaires, tandis que *pendant tout le temps que sa surface augmente l'eau est décomposée* et le mercure s'unit alors à l'oxygène mis en liberté.

L'analyse des faits que je viens de rapporter conduira très probablement à une interprétation très simple de ces actions chimiques étranges qui s'observent dans les espaces capillaires. Il y a un grand nombre de corps sans action chimique dans les conditions ordinaires,

mais qui donnent naissance à des composés particuliers dans les espaces capillaires; on voit que toutes les actions nommées « catalytiques » en chimie peuvent, en définitive, être assimilées à celles que je viens de faire connaître : il y a donc lieu de s'assurer si le principe que j'ai énoncé ne pourra peut-être pas conduire à interpréter ces phénomènes remarquables, au sujet desquels nos connaissances laissent beaucoup à désirer. J'ai déjà entrepris quelques recherches dans ce sens et j'espère avoir bientôt l'honneur d'en présenter les résultats à l'Académie.
