



Recherches expérimentales et théoriques sur les figures  
d'équilibre d'une masse liquide sans pesanteur. Cinquième série

Joseph Plateau

---

**Citer ce document / Cite this document :**

Plateau Joseph. Recherches expérimentales et théoriques sur les figures d'équilibre d'une masse liquide sans pesanteur. Cinquième série. In: Mémoires de l'Académie royale des sciences, des lettres et des beaux-arts de Belgique. Tome 33, 1861. pp. 1-49;

doi : <https://doi.org/10.3406/marb.1861.3552>;

[https://www.persee.fr/doc/marb\\_0775-3225\\_1861\\_num\\_33\\_1\\_3552](https://www.persee.fr/doc/marb_0775-3225_1861_num_33_1_3552);

---

Fichier pdf généré le 25/03/2024

RECHERCHES  
EXPÉRIMENTALES ET THÉORIQUES  
SUR  
LES FIGURES D'ÉQUILIBRE

D'UNE  
MASSE LIQUIDE SANS PESANTEUR;

PAR  
J. PLATEAU.

CINQUIÈME SÉRIE <sup>1</sup>.

NOUVEAU PROCÉDÉ POUR LA RÉALISATION DES FIGURES D'ÉQUILIBRE. — PRESSION EXERCÉE PAR UNE LAME LIQUIDE SPHÉRIQUE SUR L'AIR QU'ELLE CONTIENT. — RECHERCHE D'UNE LIMITE TRÈS-PETITE AU-DESSOUS DE LAQUELLE SE TROUVE, DANS UN LIQUIDE PARTICULIER, LA VALEUR DU RAYON D'ACTIVITÉ SENSIBLE DE L'ATTRACTION MOLÉCULAIRE.

(Présenté le 1<sup>er</sup> décembre 1860.)

<sup>1</sup> Voir, pour les quatre séries précédentes, les tomes XVI, XXIII, XXX et XXXI des *Mémoires de l'Académie*.



RECHERCHES  
EXPÉRIMENTALES ET THÉORIQUES  
SUR  
**LES FIGURES D'ÉQUILIBRE**  
D'UNE  
MASSE LIQUIDE SANS PESANTEUR.

---

THÉORIE ET DESCRIPTION D'UN NOUVEAU PROCÉDÉ POUR LA RÉALISATION  
DES FIGURES D'ÉQUILIBRE.

---

§ 1. — Dans la deuxième et dans la quatrième série de ce travail, j'ai appliqué mon procédé de l'immersion d'une masse liquide dans un autre liquide de même densité et avec lequel elle ne peut se mêler, à la réalisation d'une partie des figures d'équilibre en nombre infini qui appartiennent à une masse liquide supposée sans pesanteur et à l'état de repos. Dans la série actuelle, j'indiquerai un procédé tout différent, bien plus simple et plus commode, qui permet d'atteindre le même but, et j'exposerai une partie des nombreuses conséquences que m'ont fournies son emploi et les principes théoriques sur lesquels il repose.

§ 2. — Rapportons d'abord quelques résultats curieux qui servent pour ainsi dire de transition entre ces deux procédés.

On se rappelle que l'huile immergée dans le liquide alcoolique prend

aisément la forme laminaire : nos polyèdres liquides, par exemple (2<sup>me</sup> série, §§ 31 à 35), se sont transformés en des systèmes de lames par l'exhaustion graduelle de la presque totalité de l'huile ; on se rappelle aussi que ces lames paraissaient en général planes, mais que l'octaèdre a donné lieu à un système de lames évidemment courbes. Enfin des lames courbes se sont encore développées dans l'expérience du § 22 de la 4<sup>me</sup> série.

Reprenons cette dernière expérience, et redisons en quoi elle consiste. Après avoir formé, au sein du liquide alcoolique, un cylindre d'huile entre deux anneaux en fil de fer égaux, parallèles et placés en regard l'un de l'autre à une distance beaucoup moindre que les deux tiers de leur diamètre, on enlève graduellement du liquide à la masse au moyen de la petite seringue. Alors, nous le savons, la surface comprise entre les anneaux se creuse de plus en plus, et, en même temps, les bases de la figure s'affaissent, deviennent planes, puis concaves ; tous ces creusements vont en augmentant par le progrès de l'absorption ; enfin l'on voit se produire trois lames, dont l'une prend naissance au centre de la figure dès que les deux bases concaves sont près de se toucher par leurs sommets, et dont les deux autres, qui partent des anneaux, commencent à se montrer lorsque les bases deviennent tangentes, le long de leurs bords, à la portion de surface comprise entre les anneaux ; la première de ces lames est plane, et les deux secondes paraissent coniques : la *fig. 1* représente une coupe méridienne du système dans lequel les lames ont déjà acquis un certain développement ; les lignes ponctuées sont les coupes des plans des anneaux.

Ces lames s'étendent ensuite de plus en plus par la soustraction bien ménagée de nouvelles quantités d'huile, et l'ensemble tend à donner, pour résultat final, une figure laminaire approchant de deux cônes tronqués réunis par leurs petites bases ; mais toujours l'une ou l'autre des lames se brise avant que la petite masse épaisse qui entoure la lame plane et la rattache aux lames courbes ait pu être entièrement absorbée.

C'est là que s'arrête l'expérience dans la quatrième série ; allons maintenant plus loin. Supposons que ce soit la lame plane qui se brise. Alors l'huile qui la constituait se réunit rapidement à celle qui formait le reste du système, et le tout se réduit à une lame unique un peu épaisse, qui demeure

attachée aux contours des deux anneaux et présente, dans le sens méridien, une courbure légèrement concave (*fig. 2*).

En comparant les *fig. 1* et *2*, on remarquera que, dans la première, le creusement méridien entre les deux anneaux est bien plus considérable que dans la seconde; cette différence s'explique aisément si l'on fait attention que la petite masse épaisse qui entoure la lame plane et dont la coupe méridienne est représentée en  $abc$  et  $a'b'c'$  (*fig. 1*) a trois surfaces qui doivent, pour l'équilibre, déterminer respectivement la même pression. En effet, sur celles qui ont pour lignes méridiennes les arcs  $ab$  et  $cb$ , la courbure est évidemment concave dans tous les sens autour d'un même point, tandis que la troisième, dont l'arc méridien est  $ac$ , présente, en chaque point, une courbure convexe dans le sens perpendiculaire à cet arc, ce qui exige que, dans l'état d'équilibre, la concavité de ce même arc soit beaucoup plus prononcée que celle des arcs  $ab$  et  $cb$ ; or il est clair que cette condition ne pourrait être remplie avec une courbure méridienne aussi faible que dans la *fig. 2*.

§ 3. — La figure liquide étant ainsi réduite à une lame unique <sup>1</sup>, soulevons graduellement l'anneau supérieur. Alors la lame s'étendra, et, d'un peu épaisse qu'elle était, comme je l'ai dit plus haut, deviendra très-mince; le creusement méridien se prononcera davantage, et nous obtiendrons ainsi une figure laminaire (*fig. 3*) dont la forme rappelle tout à fait la surface à laquelle j'ai donné (4<sup>me</sup> série, § 14) le nom de *caténoïde*.

Si nous continuons à soulever l'anneau supérieur, nous arriverons à un point où l'équilibre n'est plus possible, et nous verrons la figure s'étrangler alors spontanément de plus en plus, jusqu'à ce qu'enfin elle se sépare en deux parties qui vont respectivement former une lame plane dans chacun des deux anneaux. En répétant l'expérience, j'ai tâché d'arrêter l'anneau supérieur précisément au point dont il s'agit, et j'ai trouvé qu'alors l'écartement des deux anneaux était sensiblement les deux tiers de leur diamètre;

<sup>1</sup> Il faut pour cela, comme on l'a vu, que, dans le système précédent, ce soit la lame plane qui se brise; s'il arrivait que la rupture eût lieu dans l'une des lames courbes, il suffirait de recommencer l'expérience, et, pour opérer à coup sûr, de crever la lame plane à l'aide du bec de la seringue un peu avant le point où l'on attendait le brisement spontané.

je rappellerai ici que je suis arrivé au même rapport (4<sup>me</sup> série, § 21) pour la hauteur limite du caténoïde partiel.

§ 4. — Un fait bien remarquable, c'est que la désunion de notre figure laminaire s'effectue exactement de la même manière que celle des figures pleines (2<sup>me</sup> série, § 62), c'est-à-dire qu'à l'instant qui précède cette désunion, l'étranglement se convertit en un filet cylindrique, lequel se transforme en sphérules de différents diamètres; seulement ici le filet est lui-même laminaire, ainsi que la grosse sphérule; quant aux autres sphérules, elles sont trop petites pour que leur état puisse être aisément constaté; en d'autres termes, le filet constitue un tube mince, et la grosse sphérule est une bulle creuse occupée intérieurement par du liquide alcoolique.

Remarquons, à l'occasion de cette expérience, que les lames planes qui, après la désunion, occupent, comme je l'ai dit, les deux anneaux, sont ce qu'il y a de meilleur pour obtenir la réalisation de la partie du nodoïde (4<sup>me</sup> série, § 32) engendrée par un nœud de la ligne méridienne, dans le cas où ce nœud approche d'une circonférence de cercle (*ibid.*, § 35). Si l'on perce l'une de ces lames planes en son milieu, l'anneau liquide que l'huile va former en se retirant vers l'anneau métallique, n'a qu'une largeur fort petite relativement au rayon de ce dernier (*ibid.*, § 36), et, autant que l'œil peut en juger, sa section méridienne est sensiblement circulaire: avec un anneau métallique de 35<sup>mm</sup> de rayon, par exemple, la largeur de l'anneau liquide, c'est-à-dire la distance entre sa circonférence intérieure et sa circonférence extérieure, est à peine de 3<sup>mm</sup>.

§ 5. — La facilité que présente l'huile, dans les conditions de mes expériences, de s'étendre en lames minces, jointe au fait signalé ci-dessus de la formation d'une sphérule laminaire, doit porter à croire que l'on pourra développer de grandes lames d'huile sphériques, ou, en d'autres termes, obtenir, dans le liquide alcoolique, de grosses bulles d'huile creuses, en les gonflant avec ce même liquide alcoolique, comme on obtient, dans l'air, des bulles de savon, en les gonflant avec de l'air. L'expérience réussit, en effet, d'une manière complète. En suivant l'analogie des bulles de savon, l'on voit aisément que, pour former la bulle d'huile, il faudra d'abord faire adhérer une petite masse de ce liquide à l'extrémité inférieure d'un tube de fer plongé

verticalement d'une certaine quantité dans le liquide alcoolique, puis verser lentement, par l'autre extrémité de ce tube, le liquide qui doit gonfler la bulle.

§ 6. — Mais cette expérience, si simple en principe, exige un assez grand nombre de précautions que je vais indiquer.

Pour faciliter l'introduction du liquide alcoolique, le tube doit être évasé en entonnoir à sa partie supérieure, et, pour qu'il ait une position bien stable, il faut faire adapter à la base de l'évasement un disque en fer de 7 à 8 centimètres de diamètre, traversé à son centre par le tube, et que l'on fera reposer sur le goulot de l'ouverture centrale du vase. De plus, l'orifice inférieur du tube doit être muni d'un rebord mince d'environ 1<sup>mm</sup>,5 de largeur; cette addition a pour but d'empêcher la petite masse d'huile destinée à former la bulle de s'élever en partie le long de la paroi extérieure du tube : l'huile s'arrête au contour du petit rebord, conformément aux faits décrits dans le § 13 de la 2<sup>me</sup> série, et se dispose d'une manière parfaitement symétrique. Ajoutons que le diamètre du tube n'est pas indifférent : celui qui m'a donné les meilleurs résultats est de 16<sup>mm</sup>. La *fig. 4* représente la coupe du système.

Il est évident que le liquide alcoolique dont on veut remplir la bulle doit avoir identiquement la même densité que le liquide alcoolique extérieur. On satisfait sans peine à cette condition, en enlevant préalablement, par le robinet adapté à la partie inférieure du vase, une portion du liquide même contenu dans ce dernier, et se servant de cette portion pour gonfler la bulle.

Ce liquide devra nécessairement arriver dans la bulle d'une manière lente et graduelle, surtout au commencement : il devra couler d'abord goutte à goutte, puis en mince filet, et en outre tomber dans l'entonnoir près du bord supérieur de celui-ci, afin que, glissant le long de la paroi inclinée avant de descendre dans le tube, il prenne ainsi moins de vitesse. Mais si, pour effectuer cette opération, l'on se contente de tenir en main le flacon qui renferme le liquide dont il s'agit, on ne parvient jamais, quelques soins que l'on prenne, à donner à la bulle tout le diamètre qu'elle peut acquérir, et cela par deux raisons : en premier lieu, il est impossible de graduer d'une manière assez régulière la vitesse d'écoulement, et le liquide arrivant parfois en trop grande abondance, produit dans l'intérieur de la bulle des mouvements con-

sidérables qui font crever celle-ci; en second lieu, la chaleur de la main augmente quelque peu la température du liquide du flacon et en diminue ainsi la densité, d'où résulte dans la bulle une tendance à s'élever, qui la fait se porter d'un côté ou d'un autre, et qui, altérant de la sorte la symétrie d'action, amène également la rupture. Pour écarter ces deux causes de non-réussite, j'ai fait construire un flacon en laiton muni d'un robinet et de pieds, de façon que, lorsqu'il était posé sur la plaque de verre qui sert de couvercle au vase, l'orifice du robinet arrivait un peu plus haut que le bord de l'entonnoir; j'introduis dans ce flacon le liquide nécessaire pour former la bulle et je le laisse ensuite s'écouler dans l'entonnoir par le robinet, avec une vitesse que je puis graduer à volonté, sans avoir à craindre l'influence de la chaleur de la main <sup>1</sup>.

§ 7. — A l'aide du système d'appareils que je viens de décrire, on obtient sans peine des résultats très-développés. En donnant à la petite masse d'huile qui devait être attachée à l'orifice du tube un diamètre d'environ trois centimètres, j'ai réalisé souvent de grosses bulles de 12 centimètres de diamètre, et j'aurais été plus loin, sans nul doute, si le vase avait eu plus de capacité. Lorsqu'on est arrivé à la grande dimension que je viens d'indiquer, si l'on enlève l'entonnoir par un mouvement d'une vitesse convenable, la bulle demeure en arrière, et la lame dont elle est formée se prolonge en restant adhérente à l'orifice du tube, de manière à constituer une sorte de traînée; puis celle-ci s'étrangle rapidement et se sépare en deux parties, dont l'inférieure va fermer et compléter la bulle; cette dernière se trouve ainsi entièrement isolée au milieu du liquide qui remplit le vase. Elle persiste en cet état pendant un

<sup>1</sup> Je signalerai ici un fait assez curieux. J'avais d'abord employé un flacon de fer-blanc muni d'un robinet en fer; mais quand le liquide alcoolique contenu dans ce flacon renfermait par hasard de petites sphérules d'huile, celles-ci, en sortant du robinet, entraînaient parfois de l'oxyde de fer, et, devenant ainsi très-pesantes, descendaient assez rapidement au fond de la bulle d'huile; or, lorsque cela arrivait, si minime que fût la sphérule ferrugineuse, on voyait, après quelques secondes, la pellicule d'huile s'amincir subitement à l'endroit où reposait cette sphérule, l'amincissement se propageant, par un retrait de l'huile, jusqu'à une petite distance autour du point de contact, puis la bulle crevait presque aussitôt en ce même endroit. Le retrait d'une partie de l'huile au contact de la sphérule ferrugineuse est, sans doute, pour le dire en passant, un phénomène du genre de ceux qui ont été décrits par M. Dutrochet dans ses *Recherches physiques sur la force épirotique*.

temps plus ou moins long, qui peut aller quelquefois au delà d'une heure, après quoi elle crève spontanément. L'expérience apprend bientôt à connaître la vitesse avec laquelle il faut retirer l'entonnoir : si cette vitesse est trop grande, la bulle crève ; si elle est trop petite, la bulle s'élève avec le tube, et crève encore quand l'orifice de celui-ci quitte la surface du liquide alcoolique.

Le calcul donne, pour l'épaisseur moyenne de la lame qui forme la bulle dans le cas ci-dessus,  $0^{\text{mm}},3$ , c'est-à-dire moins d'un tiers de millimètre ; je dis l'épaisseur moyenne, car la lame n'a pas une épaisseur uniforme, et elle doit être, en certains endroits, beaucoup plus mince que  $0^{\text{mm}},3$ .

On peut demander pourquoi, lorsqu'une semblable bulle est isolée du tube, elle ne persiste pas indéfiniment : on ne voit en effet, dans les actions capillaires, aucune raison qui doive amener sa rupture. Il faut, je pense, chercher la cause de cette rupture dans un reste d'action chimique exercé par le liquide alcoolique sur l'huile : ce liquide dissout sans doute peu à peu la lame, en sorte qu'à l'endroit où elle est le plus mince, elle finit par être entièrement absorbée dans une petite portion de son étendue.

Comme, dans les expériences que je viens de rapporter, je n'avais pu pousser le gonflement des bulles jusqu'à sa limite, j'ai réduit la petite masse initiale à 2 centimètres de diamètre. Alors les bulles se rompaient ordinairement entre les diamètres de 7 et de 11 centimètres. Cependant j'ai réussi quelquefois à élever le diamètre jusqu'à 12 centimètres, ce qui assigne à la lame une épaisseur moyenne de  $0^{\text{mm}},09$ , c'est-à-dire de moins d'un dixième de millimètre ; mais je n'ai jamais pu isoler ces bulles si minces : les unes crevaient spontanément avant que l'entonnoir fût retiré, les autres pendant qu'on le retirait.

§ 8. — Dans le § 12 de la première série de ces recherches, après avoir décrit la formation de l'anneau liquide par l'action de la force centrifuge, j'ai dit que, dans les premiers instants, cet anneau demeure uni au disque métallique par une pellicule ou nappe d'huile très-mince. On voit maintenant à quel ordre de faits appartient cette pellicule : elle est évidemment du même genre que toutes les lames dont il a été question dans les paragraphes précédents du mémoire actuel.

Je ferai remarquer ici que cette même pellicule établit encore une différence entre les phénomènes qui se produisent dans mon appareil, phénomènes qui dépendent de l'attraction moléculaire, et ceux qui seraient du domaine de l'astronomie et dépendraient de l'attraction universelle; je montrerai d'ailleurs, dans une autre série, que les figures liquides de ma première série s'écartent essentiellement, par l'équation de leurs surfaces, de celles que pourrait prendre une masse planétaire supposée fluide; je répéterai donc ce que j'ai déjà dit dans la note 2 du § 62 de la 2<sup>me</sup> série, savoir que l'on ne peut tirer de l'expérience dont il s'agit aucune induction en faveur d'une hypothèse cosmogonique.

§ 9. — Il résulte des faits précédemment décrits que les lames liquides soustraites à l'action de la pesanteur affectent, comme les masses pleines, des figures d'équilibre déterminées. Or il est aisé de démontrer que ces figures doivent être identiquement les mêmes dans les deux cas.

Si, par un point de l'une des deux surfaces d'une semblable lame, on conçoit une droite normale à cette surface, il est clair que, vu le peu d'épaisseur de la lame, cette droite pourra être considérée comme étant également normale à l'autre surface. En outre, si, par cette normale commune on fait passer un plan, il coupera les deux surfaces suivant des courbes qui pourront, sans erreur appréciable, être regardées comme identiques. Par conséquent, aux points où la normale ci-dessus perce les deux surfaces, les courbures des deux courbes seront les mêmes; seulement, par rapport au liquide qui forme la lame, l'une de ces courbures sera convexe et l'autre concave. Si donc  $\rho$  désigne le rayon de la première, celui de la seconde sera  $-\rho$ ; et comme ce résultat est général, il s'applique également aux courbures principales, c'est-à-dire à la plus grande et à la plus petite, de sorte que, si  $R$  et  $R'$  représentent les deux rayons de courbure principaux à l'un des deux points considérés, les deux rayons de courbure principaux à l'autre point seront  $-R$  et  $-R'$ . D'après cela, les pressions capillaires respectivement correspondantes à ces deux points, et rapportées à l'unité de surface, sont (2<sup>me</sup> série, § 4), pour le premier,

$$P + \frac{\Lambda}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right),$$

et, pour le second,

$$P = \frac{A}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right),$$

$P$  étant la pression que déterminerait une surface plane, et  $A$  une constante qui dépend de la nature du liquide.

Or ces deux pressions étant opposées, elles donnent une résultante égale à leur différence, c'est-à-dire à

$$A \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right).$$

Maintenant si la figure laminaire est telle que, dans toute son étendue, la résultante ci-dessus soit nulle, il est clair que l'équilibre existera. Si cette condition n'est pas remplie, les résultantes respectivement correspondantes aux différents points de la figure tendront à chasser ces points dans un sens ou dans l'autre; mais, dans ce cas encore, l'équilibre sera possible si la figure laminaire est fermée, comme les bulles du § 7, et emprisonne ainsi dans son intérieur une masse limitée de liquide alcoolique : car alors si la figure a une forme telle que les résultantes dont il s'agit aient partout la même intensité, ces forces seront évidemment détruites par la résistance de la masse alcoolique intérieure. On exprimera donc l'équation générale de l'équilibre des figures laminaires, en établissant la condition que la résultante soit nulle ou constante; et, pour cela, comme le coefficient  $A$  est constant et fini, il suffira de poser

$$\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = C,$$

la quantité  $C$  pouvant être nulle ou constante.

Or cette équation générale étant également celle de l'équilibre des masses pleines, il en résulte que les lames prennent, comme je l'ai avancé, identiquement les mêmes figures que ces masses.

Ainsi, dans les circonstances de mes expériences, on doit pouvoir former avec des lames d'huile toutes les figures que j'ai obtenues avec des masses d'huile pleines, et l'on a vu, en effet (§ 7), qu'une lame d'huile qui n'est adh-

rente à aucun système solide, prend une figure sphérique, comme le fait une masse pleine placée dans les mêmes conditions.

§ 10. — Je dois présenter ici une remarque importante relativement au signe de la constante  $C$  et à la signification de ce signe. D'après la manière dont je viens d'arriver à l'équation générale de l'équilibre des figures laminaires, il est clair que, dans cette équation, la quantité  $\frac{1}{R} + \frac{1}{R'}$  peut indifféremment, quant à sa valeur absolue, être rapportée à l'une ou à l'autre des deux surfaces de la lame. Si nous convenons de la rapporter à celle de ces deux surfaces qui regarde l'extérieur de la figure, alors, quand cette même quantité, ou, ce qui revient au même, la constante  $C$ , sera positive, la pression correspondante à la surface en question sera supérieure à  $P$ , c'est-à-dire à celle d'une surface plane, et la pression correspondante à l'autre surface sera moindre que celle d'un plan, et, par suite, moindre que la première; conséquemment la résultante, qui agit nécessairement dans le sens de la plus grande des deux forces, sera dirigée, comme celle-ci, vers l'intérieur de la figure. Avec la même convention, quand  $C$  sera négatif, la plus grande des deux pressions appartiendra à la surface qui regarde l'intérieur de la figure, d'où il suit que la résultante sera dirigée vers l'extérieur.

Donc lorsque  $C$  sera positif, la figure laminaire exercera une pression sur la masse alcoolique qu'elle emprisonne, et, lorsque  $C$  sera négatif, la figure laminaire exercera, au contraire, une traction sur la masse dont il s'agit; dans les deux cas, l'action sera détruite par la résistance de cette même masse; enfin, lorsque  $C$  sera nul, la figure laminaire n'exercera ni pression ni traction.

§ 11. — Quand la figure laminaire est fermée, la condition de l'équilibre a conséquemment toute sa généralité,  $C$  pouvant être positif, négatif ou nul; mais si la figure n'est pas fermée, l'équilibre ne peut évidemment subsister que pour  $C = 0$ . Il suit de là, par exemple, qu'une lame unique dans un anneau solide sera en équilibre si elle est plane, et nous avons vu, en effet, dans l'expérience du § 3, les deux lames séparées prendre respectivement, dans chacun des anneaux, la forme plane. Par la même raison, une lame unique attachée à deux anneaux parallèles et en regard, comme celle qui se forme dans l'expérience que je viens de rappeler, et qui est représentée

*fig. 3*, doit constituer une portion de caténoïde, ainsi que l'annonçait son aspect, et que le vérifie la valeur de l'écartement maximum des anneaux. Enfin, dans la combinaison de lames de la *fig. 1*, les deux lames courtes sont nécessairement aussi deux portions de caténoïde, mais prises assez loin de leurs cercles de gorge respectifs pour que leur courbure méridienne soit peu sensible et que ces lames semblent appartenir à des cônes.

§ 12. — Il serait aisé d'imaginer des moyens propres à réaliser avec nos lames d'huile toutes les autres figures d'équilibre que nous avons étudiées dans la deuxième et dans la quatrième série; mais on va voir que cela est inutile, ce qui précède conduisant directement à un mode plus simple de production des figures d'équilibre laminaires.

Supposons qu'on puisse former, dans l'air, des lames liquides sans pesanteur; ces lames prendront nécessairement les mêmes figures que les lames d'huile formées dans le mélange alcoolique. En effet, si le système est fermé et exerce des pressions dirigées vers son intérieur, la masse d'air emprisonnée se comprimera jusqu'à ce que son élasticité neutralise ces pressions, et alors l'équilibre existera évidemment si ces mêmes pressions sont toutes égales entre elles, c'est-à-dire si la figure est telle que l'équation  $\frac{1}{R} + \frac{1}{R'} = C$ , équation dans laquelle  $C$  sera positif, soit satisfaite. S'il s'agit encore d'un système fermé, mais dont les actions soient, au contraire, dirigées vers l'extérieur, la masse d'air emprisonnée se dilatera jusqu'à ce que l'ensemble des forces qui résultent de son élasticité ainsi diminuée et des actions des lames soit neutralisé par la pression atmosphérique extérieure, et alors il est clair que la figure sera encore en équilibre, si toutes ces actions sont égales, ou si l'équation ci-dessus, dans laquelle  $C$  sera négatif, est satisfaite. Enfin si le système n'est pas fermé, la chose est évidente par elle-même, et l'on se souviendra que, dans ce cas, l'équilibre exige que  $C$  soit nul.

Or les lames liquides pesantes que nous pouvons développer dans l'air, les lames d'eau de savon, par exemple, étant extrêmement minces, leur masse est très-petite, et conséquemment l'action de la pesanteur peut en général y être regardée comme insensible à l'égard de celle des forces moléculaires, d'où il suit que les figures que l'on réaliserait avec ces lames ne devraient pas différer d'une manière appréciable de celles qui seraient con-

stituées par des lames sans pesanteur. Nous devons donc pouvoir obtenir, dans l'air, avec des lames d'eau de savon, ou d'un liquide analogue, les mêmes figures d'équilibre qu'avec des lames d'huile dans le mélange alcoolique, et, par conséquent, les figures qui conviendraient à une masse liquide pleine et dépourvue de pesanteur. C'est en cela que consiste le nouveau procédé que j'ai annoncé au commencement de cette série.

Ainsi nous arrivons à cette curieuse conséquence, qu'avec un liquide soumis à l'action de la pesanteur et en repos, on peut réaliser sur une grande échelle toutes les formes d'équilibre qui conviendraient à une masse liquide sans pesanteur et également en repos.

Les bulles de savon offrent un premier exemple de l'emploi du procédé dont il s'agit : isolées dans l'air, elles sont sphériques, comme le serait une masse liquide pleine, sans pesanteur et libre de toute adhérence. Nous allons voir, en prenant pour exemple plus général les figures de révolution, qu'il est facile d'opérer par ce même procédé la réalisation de toutes les figures d'équilibre.

§ 13. — Occupons-nous d'abord du liquide. Les lames que l'on obtient avec une simple dissolution de savon n'ont qu'une existence très-courte, à moins qu'elles ne soient enfermées dans un vase : une bulle de savon d'un décimètre de diamètre formée à l'air libre d'une chambre, se conserve rarement deux minutes; le plus souvent elle crève après une minute, ou même après une demi-minute; il était donc important de chercher quelque liquide meilleur, et, après plusieurs tentatives infructueuses, j'ai été assez heureux pour en découvrir un qui fournit, à l'air libre, des lames d'une persistance remarquable. Ce liquide se forme en mélangeant, dans des proportions convenables, de la glycérine, de l'eau et du savon.

Les glycérines que l'on trouve dans le commerce diffèrent considérablement en pureté et en concentration, et la préparation du mélange varie en conséquence; mais on se procure aisément, et sans trop de frais, une glycérine qui paraît très-pure et très-concentrée, en la faisant venir de Londres<sup>1</sup>, où elle est fabriquée par un procédé particulier; elle est à peine

<sup>1</sup> On la trouve, par exemple, chez M. Bolton, 146, Holborn Bars.

colorée, et n'a qu'une faible odeur. Je me bornerai maintenant à décrire la préparation du mélange avec cette glycérine; on trouvera dans une note, à la fin du mémoire, l'indication des moyens propres à obtenir d'assez bons résultats avec les autres qualités de glycérine.

Il faut, autant que possible, opérer en été, et lorsque la température extérieure est au moins de 19° centigrades. On dissout, à une douce chaleur, une partie, en poids, de savon de Marseille, préalablement taillé en minces copeaux, dans quarante parties d'eau distillée, et, quand la dissolution est refroidie, on la filtre. Cela fait, on a à choisir entre les deux procédés suivants :

*1<sup>er</sup> Procédé.* — On mêle soigneusement, dans un flacon, par une agitation forte et prolongée, deux volumes de glycérine avec trois volumes de la dissolution de savon, puis on laisse reposer; le mélange, limpide au moment de sa formation, commence, après quelques heures, à se troubler: il s'y produit un léger précipité blanc, qui demeure d'abord en suspension dans toute la masse, mais qui monte ensuite avec une extrême lenteur, et, après quelques jours, forme une couche nettement séparée à la partie supérieure du liquide; on recueille alors la portion limpide au moyen d'un siphon qui s'amorce par un tube latéral, et la préparation est terminée.

Je dois faire remarquer ici que, lorsqu'on introduit dans le liquide la courte branche du siphon, une portion du dépôt est entraînée, et forme, autour de la surface extérieure du tube, une sorte de cône renversé; il faut donc, avant d'amorcer le siphon, le débarrasser de cette enveloppe. Pour cela, on laisse d'abord le tout en repos pendant un quart d'heure, puis on agite un peu de droite et de gauche la branche plongée du siphon; le cône de dépôt s'en détache alors par petits grumeaux qui remontent peu à peu et vont rejoindre la couche supérieure.

*2<sup>m</sup>e Procédé.* — On mêle, avec le même soin que dans le premier procédé, un volume de glycérine avec trois volumes de la dissolution de savon; vingt-quatre heures après, on filtre, en couvrant l'entonnoir, et en renouvelant le filtre quand les gouttes ne se succèdent plus qu'à de trop longs intervalles; enfin on ajoute à la liqueur filtrée la quantité de glycérine nécessaire pour établir la proportion de deux volumes de glycérine sur trois de dissolution de savon, et la préparation est encore terminée. Ce second procédé a l'avan-

tage d'être un peu plus expéditif que le premier ; mais si l'on n'a pas d'excellent papier à filtre, une portion notable du précipité passe avec le liquide, et le résultat est moins bon.

Le liquide dont je viens de faire connaître la préparation, et que je nommerai *liquide glycérique*, donne des lames d'une très-grande persistance : par exemple, une bulle d'un décimètre de diamètre déposée, à l'air libre de l'appartement, sur un anneau en fil de fer de quatre centimètres de diamètre préalablement mouillé du même liquide, comme dans les expériences que je décrirai bientôt, peut, lorsqu'elle est dans un complet repos, se maintenir trois heures entières.

Si l'on est contraint d'opérer dans une saison froide, le second procédé est le seul qui puisse être employé, et il faut choisir des jours où la température extérieure s'élève de plusieurs degrés au-dessus de zéro ; il faut, en outre, réaliser artificiellement, au moins d'une manière approchée, les conditions de l'été à l'égard des liquides. A cet effet, l'appartement étant chauffé à 19° ou 20°, on maintient d'abord, pendant une heure ou deux, dans de l'eau entretenue à cette température, les flacons qui contiennent séparément la glycérine et la dissolution de savon, puis on effectue le mélange, après quoi on place de même le flacon qui le renferme dans de l'eau à 19° ou 20°, et l'on fait en sorte, soit en conservant du feu dans l'appartement pendant la nuit, soit, tout au moins, en entourant, le soir, de plusieurs enveloppes épaisses de laine le vase extérieur, que la température du mélange descende peu au-dessous de 19° pendant vingt-quatre heures. On filtre alors, l'appartement étant toujours chauffé, et l'on achève la préparation comme je l'ai dit, en ayant soin que la glycérine ajoutée soit elle-même, depuis une heure environ, à la température de 19° ou 20°.

Le liquide glycérique se conserve pendant un an environ, puis, en un jour ou deux, il se décompose, et perd complètement ses propriétés. Cette décomposition m'a paru se faire sans donner lieu à un dégagement gazeux ; cependant, comme le liquide est de nature organique, il ne serait pas invraisemblable que la chose se produisit quelquefois, et l'on agira prudemment, pour éviter une explosion possible du flacon, en ne fermant celui-ci qu'avec un bouchon de liège qui ne serre pas trop fort.

De même que les lames d'eau de savon durent beaucoup plus longtemps en vase clos qu'à l'air libre, la persistance des lames de liquide glycérique, persistance déjà si grande à l'air libre, devient bien plus considérable encore quand ces lames sont enfermées dans l'intérieur d'un vase, surtout si l'on emploie certaines précautions; on en verra des exemples à la fin de la série actuelle, et je reviendrai sur ce sujet dans une série ultérieure.

§ 14. — Les appareils nécessaires pour la réalisation des figures de révolution, sont les suivants : 1° un système d'anneaux en fil de fer de sept centimètres de diamètre, pareil à celui qui a servi à la formation du caténoïde laminaire d'huile (§§ 3 et 11), système dont je reproduis ici (*fig. 5*) le dessin perspectif, bien qu'il ait déjà été donné dans les planches de la 2<sup>me</sup> série; 2° un système d'anneaux de même espèce, mais n'ayant que trois centimètres de diamètre; 3° un système de disques de sept centimètres de diamètre, dont l'inférieur est porté sur trois pieds plus solides que ceux des anneaux et partant de points situés entre le bord et le centre, et dont le supérieur est soutenu par un fil de fer fixé normalement à son centre; 4° une tablette à vis calantes; 5° plusieurs pipes de terre communes, et un pinceau mou de moyenne grosseur; 6° un support consistant en une tige verticale le long de laquelle glisse, à frottement doux, un bras horizontal; c'est à l'extrémité de celui-ci que l'on fixe soit l'un des anneaux supérieurs par le bout *m* de la queue de sa fourche, soit le disque supérieur par le bout du fil de fer qui le soutient; j'ai pris, pour ce support, un cathétomètre; l'anneau ou le disque s'attachait, à l'aide d'une pièce intermédiaire, à l'extrémité de la lunette; on avait ainsi, outre les autres conditions, la faculté de lire, sur la graduation de l'instrument, la quantité dont on élevait ou dont on abaissait l'anneau ou le disque.

Afin de donner plus de stabilité aux anneaux inférieurs, chacun d'eux est maintenu par ses pieds, au moyen de gouttes de cire à cacheter, dans une petite soucoupe en porcelaine; pour que l'adhérence puisse s'établir, on enlève préalablement, avec de l'émeri, le vernis de la porcelaine aux endroits qui doivent recevoir la cire.

Quand les anneaux et les disques sont neufs, le liquide glycérique y adhère mal, et les figures laminaires crèvent pendant qu'on essaie de les former ou

presque immédiatement après leur formation ; mais on écarte cette difficulté de la manière suivante : on plonge les appareils dont il s'agit dans de l'acide nitrique étendu de quatre fois son volume d'eau, on les y maintient jusqu'à ce que leur surface soit notablement oxydée, ce qui n'exige qu'une minute environ, puis on les lave soigneusement dans de l'eau pure, on les essuie en y promenant une bande de papier à filtre, et on les laisse sécher ; ils sont alors rendus propres à servir indéfiniment, et donnent toujours des figures bien persistantes.

Voici maintenant comment on prépare les expériences. On rend d'abord le cathétomètre bien vertical, et l'on y adapte l'anneau ou le disque supérieur ; si cet anneau ou ce disque ne paraît pas tout à fait horizontal, on en corrige la position en courbant légèrement avec une pince le fil de fer qui le soutient. On place ensuite sur la tablette à vis la pièce inférieure, anneau ou disque, de manière qu'elle soit à peu près verticalement sous l'autre, puis, au moyen des vis calantes et par de petits déplacements de la pièce inférieure, on parvient sans peine à faire en sorte qu'en descendant la supérieure, les deux anneaux ou les deux disques se recouvrent exactement. Alors, après avoir remonté le supérieur, on mouille soigneusement chacun d'eux avec du liquide glycérique. Pour l'anneau inférieur on se sert, à cet effet, du pinceau bien imbibé, et, pour le supérieur, on soulève jusqu'à lui une capsule contenant du même liquide, dans lequel on le fait plonger. Après qu'on a retiré la capsule, l'anneau se trouve occupé par une lame plane, mais on la crève. Quant aux disques, on étend le liquide avec le pinceau sur la totalité des deux faces en regard, puis on amène en contact avec la face mouillée du disque supérieur le liquide contenu dans la capsule, enfin on enlève celle-ci.

Ajoutons que, dans le cas des anneaux, il faut verser un peu d'eau dans la soucoupe qui porte l'inférieur, sans quoi les petites portions de liquide glycérique qui y tombent attaqueraient la cire à cacheter et finiraient par la détacher de la porcelaine.

§ 15. — Supposons actuellement qu'il s'agisse de réaliser le caténoïde laminaire. On prend le système d'anneaux de 7 centimètres, et, après avoir disposé les choses comme je viens de l'indiquer, on abaisse l'anneau supérieur jusqu'à ce qu'il ne soit plus séparé de l'autre que d'une fraction de mil-

limètre; puis on promène à plusieurs reprises le pinceau bien trempé de liquide glycérique tout le long de l'ensemble des deux anneaux, afin de remplir le petit espace laissé entre eux. On élève alors l'anneau supérieur, et l'on voit un caténoïde laminaire s'étendre de l'un à l'autre. Je rappellerai ici qu'entre deux anneaux égaux dont l'écartement est moindre que l'écartement limite, il y a (4<sup>me</sup> série, § 16) deux caténoïdes possibles inégalement rentrés, et que lorsqu'on réalise, avec de l'huile au sein du liquide alcoolique, un caténoïde plein, c'est toujours (*ibid.*, § 18) le moins rentré qui se produit, d'où j'ai conclu que le plus rentré est instable; or, comme on devait s'y attendre, le caténoïde laminaire de l'expérience du § 3 et de l'expérience actuelle est toujours aussi le moins rentré.

En continuant à faire monter graduellement l'anneau, on atteint le point où l'équilibre cesse, et l'on voit aussitôt le caténoïde se resserrer en son milieu et se convertir en deux lames planes occupant respectivement les deux anneaux, comme le caténoïde laminaire d'huile, à cette différence près que le phénomène s'accomplit en un temps bien plus court. De même aussi qu'avec le caténoïde laminaire d'huile, il y a formation d'un filet et de sphérules; on ne peut observer le filet, à cause de la rapidité de la transformation; mais, au moment de la désunion, on voit une sphérule de quelques millimètres de diamètre tomber sur la lame inférieure et y rebondir pendant quelques instants; cette sphérule se change ensuite en une lentille biconvexe, laminaire comme elle, enchâssée par son bord dans la lame.

Ajoutons que la lecture au cathétomètre donne alors, pour l'intervalle des deux anneaux, environ 46 millimètres, c'est-à-dire à fort peu près les deux tiers du diamètre des anneaux, comme cela avait lieu encore à l'égard du caténoïde laminaire d'huile.

Je dois présenter, à l'égard de cette rupture d'équilibre, une remarque importante. Un caténoïde limite plein, formé avec de l'huile dans le liquide alcoolique, loin de se désunir comme notre caténoïde laminaire, est au contraire très-stable (4<sup>me</sup> série, §§ 18 et 21), bien qu'il soit à sa limite de stabilité; j'ai donné, dans le second des paragraphes que je viens de citer, la raison de ce fait singulier, et l'on peut conclure des expériences du § 20 de la même série, que si l'on augmente un peu la distance des anneaux, la

figure passera simplement à l'onduloïde par une légère modification. Mais il ne peut plus en être de même à l'égard d'un caténoïde limite laminaire sans bases : car, ainsi qu'on l'a vu (§§ 11 et 12 de la série actuelle), entre deux anneaux égaux, parallèles et placés en regard l'un de l'autre, la seule figure d'équilibre possible à l'état laminaire et non fermée est le caténoïde<sup>1</sup>. Par conséquent, dans ces dernières conditions, si l'écartement des anneaux dépasse de la moindre quantité celui qui correspond au caténoïde limite, l'équilibre ne peut plus exister, et la figure doit nécessairement se séparer en deux.

Pour réaliser un cylindre laminaire, on emploie le même système d'anneaux. Après avoir monté l'anneau supérieur à une hauteur suffisante, on gonfle, au moyen de l'une des pipes, une bulle de 10 centimètres environ de diamètre, on la dépose sur l'anneau inférieur, auquel elle s'attache immédiatement, et on enlève la pipe, puis on abaisse l'anneau supérieur jusqu'à ce qu'il vienne toucher la bulle, qui s'y attache de même; enfin on remonte graduellement cet anneau, et la bulle qui, ainsi verticalement étirée, perd de plus en plus sa courbure méridienne latérale, se convertit, pour un certain écartement des anneaux, en un cylindre parfaitement régulier, présentant des bases convexes comme les cylindres d'huile pleins.

On peut donner à la bulle un diamètre un peu plus grand; mais quand il est trop considérable, on n'arrive plus à la forme cylindrique, soit parce que le cylindre que l'on voudrait obtenir dépasse sa limite de stabilité, soit parce que, s'il est encore en deçà de cette limite, il commence à en approcher : dans ce dernier cas, en effet, les forces figuratrices devenant très-peu intenses, le faible poids de la lame exerce une influence sensible, et la figure se montre plus ou moins renflée dans sa moitié inférieure et étranglée dans sa moitié supérieure<sup>2</sup>. Le cylindre le plus élevé que l'on puisse réaliser d'une

<sup>1</sup> Du moins parmi les figures de révolution; mais comme, entre deux anneaux ainsi disposés dans le liquide alcoolique, les masses pleines ne prennent jamais que des formes de révolution, on doit admettre à priori qu'il en est de même des lames dans ce liquide ou dans l'air, et l'expérience le confirme.

<sup>2</sup> On verra, dans une autre série, un phénomène du même genre se produire à l'égard des cylindres d'huile pleins, quand ils avoisinent leur limite de stabilité, et qu'il reste une différence minime entre les densités de l'huile et du liquide alcoolique.

manière régulière avec les anneaux indiqués, a une hauteur de 17 centimètres environ, et l'on voit qu'il est en deçà de la limite de la stabilité, puisque celle-ci correspond à une hauteur un peu plus grande que le triple du diamètre (2<sup>me</sup> série, § 46).

Veut-on obtenir un onduloïde partiel étranglé en son milieu (4<sup>me</sup> série, § 13)? On dépose sur l'anneau inférieur une bulle n'ayant qu'environ 9 centimètres de diamètre, on la saisit, comme précédemment, avec l'anneau supérieur, puis on remonte de même ce dernier, mais on va au delà du point où la figure devient cylindrique; cette figure s'étrangle alors en son milieu, d'autant plus profondément qu'on élève davantage l'anneau, et constitue ainsi l'onduloïde cherché. Celui-ci se montre, comme le cylindre, parfaitement régulier, et ses bases sont également des calottes sphériques convexes.

En élevant toujours l'anneau supérieur, on atteint un point où l'équilibre ne peut plus exister, et alors la figure se resserre rapidement en son milieu, où elle se désunit pour se transformer en deux bulles sphériques respectivement attachées aux deux anneaux.

Si c'est un onduloïde partiel renflé en son milieu (4<sup>me</sup> série, § 10) que l'on se propose de réaliser, on fait usage du système d'anneaux de 3 centimètres. On forme une bulle d'environ 8 centimètres de diamètre, et, après l'avoir déposée sur l'anneau inférieur, puis l'avoir saisie avec l'anneau supérieur, on élève ce dernier; la bulle passe ainsi par degrés à une figure composée d'un renflement entre deux portions d'étranglements et ayant encore pour bases des calottes sphériques convexes; c'est conséquemment l'onduloïde en question.

Dans cette expérience, il faut s'arrêter à un degré d'écartement des anneaux pour lequel les tangentes aux points extrêmes de la ligne méridienne sont encore notablement inclinées sur l'axe, et, avec cette condition, la figure paraît régulière comme les précédentes. Si l'on va jusqu'à approcher du point où ces tangentes seraient verticales, la figure avoisine sa limite de stabilité (4<sup>me</sup> série, § 10), et, comme à l'égard du cylindre, la diminution des forces figuratrices laisse au poids de la lame une action sensible; le renflement se montre alors un peu plus bas que le milieu de la hauteur de la figure.

Enfin la réalisation du nodoïde exige l'emploi du système de disques. On commence par gonfler une bulle de 3 ou 4 centimètres de diamètre, on l'amène en contact avec la face mouillée du disque inférieur, à laquelle elle adhère aussitôt en s'étalant plus ou moins, et l'on continue à la gonfler jusqu'à ce qu'elle fasse partie d'une sphère d'environ 10 centimètres de diamètre, puis on enlève la pipe; la lame part alors du bord même du disque. On abaisse ensuite le disque supérieur jusqu'à ce qu'il vienne toucher le sommet de la bulle; celle-ci s'ouvre immédiatement en cet endroit, et la lame gagnant également le bord du dernier disque, forme, d'un bord à l'autre, une portion de renflement d'onduloïde. Les choses étant en cet état, on continue à descendre le disque supérieur, et, quand on a dépassé le point où la figure constituerait une zone sphérique, on a le nodoïde partiel cherché (4<sup>me</sup> série, §§ 31 et 32).

Si l'on descend encore le disque, on atteint, absolument comme avec le nodoïde d'huile plein (*ibid.*, § 31), un point au delà duquel la figure cesse d'être de révolution, et se porte latéralement d'autant plus que le disque s'abaisse davantage.

§ 16. — Ces expériences sont fort curieuses; il y a un charme particulier à contempler ces légères figures presque réduites à des surfaces mathématiques, qui se montrent parées des plus brillantes couleurs, et qui, malgré leur extrême fragilité, persistent pendant si longtemps.

Ces mêmes expériences s'exécutent promptement et de la manière la plus commode. On n'a plus ici les embarras qui, dans les expériences avec les masses d'huile pleines, résultent de l'égalisation des deux densités, des variations de la température et de la petite action chimique mutuelle des deux liquides. Seulement il y a certaines expériences qui exigent impérieusement l'emploi de l'huile et du liquide alcoolique : telles sont celles de ma première série; telle est encore la réalisation de la figure engendrée par un nœud entier de la ligne méridienne du nodoïde (4<sup>me</sup> série, § 27), etc.

Lorsqu'on a terminé une série d'expériences avec le liquide glycérique, on lave les anneaux ou les disques en les agitant dans de l'eau de pluie, puis, pour les sécher, on dépose les premiers sur du papier à filtre, et on essuie les seconds.

Indiquons encore deux précautions utiles. Quand on effectue un grand nombre d'expériences de suite, il est bon de remouiller de temps à autre l'anneau supérieur; en second lieu, il est bon aussi de prendre quelquefois une pipe nouvelle : quand on s'est servi trop fréquemment de la même, les lames paraissent moins persistantes, sans doute parce qu'un peu de vapeur d'eau amenée par le souffle se condense au bord intérieur de l'évasement.

§ 17. — J'ai dit que, dans ces expériences, la désunion du caténoïde laminaire est précédée de la formation d'un filet qui se convertit en sphérules; or il en est de même dans la désunion de toutes les autres figures laminaires, absolument comme dans celle de toutes les figures d'huile pleines (2<sup>me</sup> série, § 62) : si, après avoir réalisé un onduloïde étranglé ou un onduloïde renflé, on continue à élever l'anneau supérieur jusqu'à la rupture de l'équilibre, on voit, à l'instant de la désunion, une sphérule de quelques millimètres de diamètre s'échapper de la figure et voltiger dans l'air de l'appartement ou tomber sur la bulle qui s'est formée à l'anneau inférieur, selon le plus ou moins de ténuité de la lame qui constitue cette même sphérule. Je m'occuperai, dans une autre série, de la théorie de la production des filets soit pleins, soit laminaires.

§ 18. — On réalise aussi facilement, toujours au moyen du liquide glycérique, les systèmes laminaires que j'ai obtenus avec de l'huile, au sein du liquide alcoolique, dans les charpentes polyédriques en fil de fer (2<sup>me</sup> série, §§ 31 à 35). Il suffit, pour cela, de plonger l'une de ces charpentes dans un vase plein du liquide en question, de l'y laisser pendant quelques secondes pour qu'elle soit bien mouillée, puis de l'en retirer; on la trouve occupée par le système laminaire, qui est alors toujours à l'état complet, c'est-à-dire ne renfermant plus de portions épaisses appréciables à la vue. C'est à ce procédé que j'ai fait allusion à la fin du § 35 de la 2<sup>me</sup> série. Les charpentes doivent, comme les anneaux et les disques, être traitées une fois par l'acide nitrique affaibli (§ 14).

Pour observer commodément et sans lui communiquer d'agitation l'un quelconque des systèmes laminaires ainsi produits, on pose la charpente qui le contient sur un petit bâtis en fil de fer semblable à celui qui est représenté

en perspective dans la *fig.* 6 ; les bâtis dont je me sers ont quatre centimètres de largeur, douze de longueur et deux et demi de hauteur.

Après chaque série d'expériences, on lave les charpentes en les passant dans de l'eau de pluie, puis on les dépose sur du papier à filtre, et on les laisse sécher.

La perfection des systèmes laminaires réalisés par le procédé actuel, permet de constater une particularité qui m'avait échappé lorsque je les ai obtenus avec de l'huile au sein du liquide alcoolique : on reconnaît que plusieurs des lames qui alors m'avaient paru planes, ont en réalité de légères courbures. Par contre, le système laminaire de l'octaèdre, qui, avec de l'huile, était formé de lames visiblement courbes, se montre toujours, par le nouveau procédé, composé de lames planes ; j'essaierai plus tard d'expliquer cette singulière différence.

J'ai représenté ici (*fig.* 7) comme exemple, le système laminaire de la charpente cubique ; il se compose de douze lames partant respectivement des douze arêtes solides et aboutissant toutes à une lamelle unique quadrangulaire placée au milieu de l'ensemble. Les côtés de cette lamelle sont légèrement courbes ainsi que toutes les autres arêtes liquides, et conséquemment toutes les lames, à l'exception de la lamelle centrale, ont de faibles courbures. Les courbures des arêtes liquides qui partent des sommets de la charpente sont trop peu prononcées pour qu'on ait pu les indiquer dans le dessin. Par une erreur dont j'ai peine à me rendre raison aujourd'hui, ce même système est mal dessiné dans les planches de la 2<sup>me</sup> série : la lamelle centrale, outre qu'elle y est vue obliquement et non de face, est beaucoup trop petite. Je rappellerai que ma charpente a 7 centimètres de côté. Pour la plonger dans le liquide glycérique, on la tient par l'extrémité de la queue de la fourche qui y est soudée.

§ 19. -- Les systèmes laminaires ainsi développés dans l'air au moyen du liquide glycérique ont excité l'admiration de toutes les personnes à qui je les ai fait voir : ils sont d'une régularité parfaite, leurs arêtes liquides ont une finesse extrême, et leurs lames étalent après quelque temps les plus riches couleurs ; enfin la disposition de ces lames est régie par des lois simples et uniformes, dont voici l'énoncé :

1<sup>o</sup> De chacune des arêtes de la charpente solide part une lame.

2° Si l'on a soin qu'il n'y ait point de bulles d'air à la surface du liquide dans le vase avant d'y plonger la charpente, le système laminaire ne présentera aucun espace fermé de tous les côtés par des lames; en d'autres termes, chacune des lames du système sera en contact par ses deux faces avec l'air libre.

3° A une même arête liquide n'aboutissent jamais que trois lames, et celles-ci font entre elles des angles égaux.

4° Quand plusieurs arêtes liquides aboutissent à un même point dans l'intérieur du système, ces arêtes sont toujours au nombre de quatre, et forment entre elles des angles égaux.

5° Lorsque ces conditions peuvent être remplies par des surfaces planes, les lames prennent cette forme; quand la chose est impossible, toutes les lames ou plusieurs d'entre elles se courbent plus ou moins, mais toujours de manière à constituer des surfaces à courbure moyenne nulle; le premier cas a lieu, par exemple, dans les systèmes du tétraèdre, du prisme triangulaire et de l'octaèdre, et le second dans ceux du cube, du prisme hexagonal, etc.

Le système de la pyramide quadrangulaire, tel qu'il est représenté dans les planches de la 2<sup>me</sup> série, ferait exception à la quatrième des lois ci-dessus; mais, comme je le montrerai dans la série suivante, où j'examinerai les systèmes laminaires au point de vue théorique, cela tient à ce qu'en réalisant le système en question avec de l'huile au sein du mélange alcoolique, on ne peut pousser l'épuisement de l'huile assez loin, de sorte que les arêtes liquides conservent trop d'épaisseur. Quand on emploie le procédé actuel, la figure est modifiée et satisfait pleinement à toutes les lois.

Une charpente étant donnée de forme, on pourrait se proposer, comme problème géométrique, d'en occuper l'intérieur par un ensemble de surfaces soumis aux lois précédentes, mais la solution serait en général bien difficile; or, si l'on recourt à l'expérience, le liquide, en se façonnant en lames, se fait géomètre, et c'est une chose extrêmement curieuse de le voir résoudre la question toujours d'une manière simple et élégante, du moins quand la solution est possible.

Pour ces expériences, on peut, à la rigueur, au lieu de liquide glycérique, employer une simple dissolution de savon; on aura alors des figures très-peu

durables, mais on sera toujours maître de replonger la charpente solide aussi souvent qu'on le voudra, et de renouveler ainsi l'observation.

§ 20. — J'ai insisté déjà, à plusieurs reprises, dans la 2<sup>me</sup> série et dans la 4<sup>me</sup>, sur ce principe que, pour toute figure d'équilibre en relief, il y a une figure d'équilibre identique en creux; or ces figures en creux sont évidemment réalisées par les surfaces des figures d'équilibre laminaires qui regardent l'intérieur de celles-ci. La surface intérieure d'une bulle de savon, par exemple, est une surface sphérique en creux, la surface intérieure d'un cylindre laminaire constitue une surface cylindrique en creux, etc.

PRESSION EXERCÉE PAR UNE LAME SPHÉRIQUE SUR L'AIR QU'ELLE CONTIENT. —  
APPLICATION.

§ 21. — La surface extérieure d'une sphère laminaire étant convexe dans tous les sens, la pression qui lui correspond est supérieure à celle d'une surface plane, et conséquemment (§ 10) la résultante des pressions exercées en un point quelconque de la bulle par les deux surfaces de celle-ci est dirigée vers l'intérieur; d'où il résulte que la bulle presse sur l'air qu'elle emprisonne. Il est, en effet, bien connu que lorsqu'on a gonflé une bulle de savon, et que, tandis qu'elle demeure attachée au tube, on laisse ouverte l'autre extrémité de ce dernier, la bulle revient graduellement sur elle-même en chassant par le tube l'air qu'elle renfermait. On voit maintenant quelle est la cause précise de ce retrait.

§ 22. — Mais nous pouvons aller plus loin, et déterminer suivant quelle loi la pression exercée par une bulle creuse sur l'air emprisonné dépend du diamètre de cette bulle; nous pouvons, en outre, arriver à la valeur exacte de la pression dont il s'agit pour une bulle d'un diamètre donné et formée d'un liquide donné.

La pression correspondante à un point d'une figure laminaire a, comme nous l'avons vu (§ 9), pour expression :

$$A \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right);$$

or, dans le cas de la figure sphérique, on a  $R = R' =$  le rayon de la sphère ; si donc nous désignons par  $d$  le diamètre de la bulle, la valeur de la pression deviendra simplement  $\frac{4A}{d}$ , toujours, bien entendu, en négligeant la petite épaisseur de la lame ; d'où il suit que l'intensité de la pression exercée par une bulle sphérique laminaire sur l'air qu'elle emprisonne est en raison inverse du diamètre de cette bulle.

§ 23. — Ce premier résultat établi, reprenons l'expression générale de la pression correspondante à un point quelconque d'une surface liquide, expression qui est :

$$P + \frac{A}{2} \left( \frac{1}{R} + \frac{1}{R'} \right).$$

Pour une surface de courbure sphérique convexe, si l'on désigne par  $d$  le diamètre de la sphère à laquelle appartient cette surface, l'expression ci-dessus devient

$$P + \frac{2A}{d},$$

et, pour une surface sphérique de courbure concave appartenant à une sphère du même diamètre, on aura

$$P - \frac{2A}{d}.$$

Ainsi, dans le cas de la surface convexe, la pression totale est la somme de deux forces agissant dans le même sens, forces dont l'une désignée par  $P$  est la pression qu'exercerait une surface plane, et dont l'autre représentée par  $\frac{2A}{d}$  est l'action qui dépend de la courbure. Au contraire, dans le cas de la surface concave, la pression totale est la différence entre deux forces agissant en sens opposés, et qui sont encore l'une l'action  $P$  d'une surface plane, et l'autre  $\frac{2A}{d}$  qui dépend de la courbure. On voit par là que la quantité  $\frac{4A}{d}$  qui représente (§ précédent) la pression exercée par une lame sphérique sur l'air qu'elle emprisonne, est égale au double de l'action qui provient de la courbure de l'une ou de l'autre surface de la lame.

Maintenant lorsqu'un liquide s'élève dans un tube capillaire et que le diamètre de celui-ci est suffisamment petit, on sait que la surface qui termine la colonne soulevée ne diffère pas sensiblement d'une demi-sphère concave, dont le diamètre est par conséquent égal à celui du tube. Rappelons, en outre, une partie des raisonnements par lesquels on arrive, dans la théorie de l'action capillaire, à la loi qui lie la hauteur de la colonne soulevée au diamètre du tube. Supposons un canal excessivement délié partant du point le plus bas de la surface hémisphérique dont il s'agit, descendant verticalement jusqu'au-dessous de l'orifice inférieur du tube, se recourbant ensuite horizontalement, et enfin se relevant pour aboutir verticalement à un point de la surface plane du liquide extérieur au tube; les pressions correspondantes aux deux orifices de ce petit canal seront, d'une part,  $P$ , et, de l'autre,  $P - \frac{2A}{\delta}$ , en désignant par  $\delta$  le diamètre de la demi-sphère concave, ou, ce qui revient au même, celui du tube. Or les deux forces  $P$  se détruisant mutuellement, il ne reste que la force  $-\frac{2A}{\delta}$ , qui ayant un signe contraire à celui de  $P$ , agit conséquemment de bas en haut au point inférieur de l'hémisphère concave, et c'est elle qui soutient le poids du filet moléculaire contenu dans la première branche du petit canal entre ce même point et un point situé à la hauteur du niveau extérieur.

Cela posé, remarquons que la quantité  $\frac{2A}{\delta}$  est l'action qui provient de la courbure de la surface concave. Le double de cette quantité ou  $\frac{4A}{\delta}$  exprimera donc la pression qu'exercerait sur l'air contenu une sphère laminaire ou bulle creuse du diamètre  $\delta$  et formée du même liquide. Il résulte de là que cette pression constitue une force capable de soutenir le liquide à une hauteur double de celle à laquelle il s'élève dans le tube capillaire, et que, par conséquent, elle ferait équilibre à la pression d'une colonne du même liquide ayant cette hauteur double. Supposons, pour fixer les idées,  $\delta$  égal à un millimètre, et désignons par  $h$  la hauteur à laquelle le liquide s'arrête dans un tube de ce diamètre; nous aurons ce nouveau résultat, que la pression exercée, sur l'air contenu, par une bulle creuse formée d'un liquide donné et ayant 1<sup>mm</sup> de diamètre, ferait équilibre à celle qu'exercerait une colonne de ce liquide d'une hauteur égale à  $2h$ .

Maintenant, la pression exercée par une bulle étant en raison inverse du

diamètre de celle-ci (§ 22), il s'ensuit que la colonne liquide qui ferait équilibre à la pression exercée par une bulle d'un diamètre quelconque  $d$ , aura une hauteur égale à  $\frac{2h}{d}$ .

Il semble d'abord que cette dernière expression devrait s'appliquer également bien aux liquides qui s'abaissent dans les tubes capillaires,  $h$  désignant alors cet abaissement, toujours dans un tube de 1<sup>mm</sup> de diamètre; mais il n'en est pas tout à fait ainsi : car cela exigerait, comme on le voit aisément par la nature des raisonnements qui précèdent, que la surface qui termine la colonne déprimée dans le tube capillaire fût sensiblement une demi-sphère convexe; or on sait que, dans le cas du mercure, cette surface est moins courbe : d'après les observations de M. Bède <sup>1</sup>, sa hauteur n'est qu'environ la moitié du rayon du tube; d'où il suit que l'évaluation de la pression donnée par notre formule serait trop petite à l'égard de semblables liquides. On pourra, du reste, la considérer comme une première approximation.

§ 24. — Prenons pour mesure de la pression exercée par une bulle la hauteur de la colonne d'eau à laquelle elle ferait équilibre. Alors, si  $\rho$  désigne la densité du liquide dont est formée la bulle, celle de l'eau étant 1, les hauteurs des colonnes d'eau et du liquide dont il s'agit qui feraient équilibre à la même pression seront entre elles dans le rapport inverse des densités, et conséquemment, si la hauteur de la seconde est  $\frac{2h}{d}$ , celle de la première sera  $\frac{2h\rho}{d}$ . Ainsi, en désignant par  $p$  la pression exercée par une sphère laminaire sur l'air qu'elle emprisonne, nous obtenons en définitive

$$p = \frac{2h\rho}{d},$$

$\rho$  étant, comme nous l'avons vu, la densité du liquide qui constitue la lame,  $h$  la hauteur à laquelle ce liquide s'élève dans un tube capillaire de 1<sup>mm</sup> de diamètre, et  $d$  le diamètre de la bulle.

Si, par exemple, la bulle est formée d'eau pure, on a  $\rho = 1$ , et, d'après les mesures prises par les physiciens, on a, à fort peu près,  $h = 30^{\text{mm}}$  : la formule ci-dessus donnera donc, dans ce cas,  $p = \frac{60}{d}$ . Si l'on pouvait former

<sup>1</sup> *Mémoires de l'Académie*, tome XXV des *Mémoires couronnés et des Mémoires des savants étrangers*.

une bulle d'eau pure d'un décimètre, ou  $100^{\text{mm}}$ , de diamètre, la pression qu'elle exercerait serait conséquemment égale à  $0^{\text{mm}},6$ , ou, en d'autres termes, ferait équilibre à la pression d'une colonne d'eau de  $0^{\text{mm}},6$  de hauteur; la pression qu'exercerait une bulle du même liquide d'un centimètre, ou  $10^{\text{mm}}$ , de diamètre ferait équilibre à celle d'une colonne d'eau de  $6^{\text{mm}}$ .

Quant aux bulles de savon, si la dissolution est aussi faible que possible, on peut admettre que leurs pressions diffèrent fort peu de celles qu'exerceraient des bulles de mêmes diamètres formées d'eau pure.

Pour le mercure, on a  $\rho = 13,59$ , et, d'après le mémoire de M. Bède, à peu près  $h = 10^{\text{mm}}$ ; la formule donnerait donc, pour une bulle de mercure,  $p = \frac{271,8}{a}$ ; mais, d'après la remarque qui termine le paragraphe précédent, cette valeur est trop faible et ne peut être regardée que comme une première approximation. Elle nous apprend qu'à égalité de diamètre, la pression d'une bulle de mercure surpasserait quatre fois et demie celle d'une bulle d'eau pure.

Pour l'éther sulfurique, on a  $\rho = 0,715$ , et l'on conclut des mesures prises par M. Frankenheim <sup>1</sup> à très-peu près  $h = 10^{\text{mm}},2$ ; d'où résulte  $p = \frac{14,6}{a}$ , et l'on voit qu'à égalité de diamètre, la pression d'une bulle d'éther sulfurique ne serait que le quart de celle d'une bulle d'eau pure.

On sait que le produit  $h\rho$ , c'est-à-dire le produit de la hauteur capillaire par la densité, est proportionnel à l'attraction moléculaire du liquide pour lui-même, ou, en d'autres termes, à la cohésion du liquide; c'est d'ailleurs ce qui résulte de la comparaison des valeurs  $\frac{4A}{a}$  et  $\frac{2h\rho}{a}$  que nous avons trouvées successivement, dans le § 22 et dans le paragraphe actuel, pour représenter la pression exercée par une sphère laminaire sur l'air qu'elle contient : on en déduit, en effet,  $h\rho = 2A$ , et l'on se rappellera que  $A$  est la constante capillaire, c'est-à-dire une quantité proportionnelle à la cohésion du liquide. La formule  $p = \frac{2h\rho}{a}$  indique donc, ce qui devait être évidemment, que la pression exercée par une bulle laminaire sur l'air emprisonné est en raison directe de la cohésion du liquide qui constitue la lame et en raison inverse du diamètre de la bulle.

<sup>1</sup> *Bibliothèque universelle*, nouvelle série, tome III, 1856.

§ 23. — Déjà en 1830, un savant américain, le D<sup>r</sup> Hough, avait essayé d'arriver à la mesure de la pression exercée soit sur une bulle d'air contenue dans un liquide indéfini, soit sur l'air renfermé dans une bulle de savon <sup>1</sup>. Il se fait une idée assez juste de la cause de ces pressions, que, du reste, il ne distingue pas l'une de l'autre, et, pour les évaluer, il part, comme je l'ai fait, de la considération de la surface creuse qui termine une colonne du même liquide soulevée dans un tube capillaire; mais, bien qu'observateur ingénieux, il n'était pas au courant de la théorie de l'action capillaire; aussi parvient-il, par un raisonnement dont l'erreur est palpable, à des valeurs et à une loi nécessairement fausses.

M. Henry, dans une communication verbale fort remarquable sur la cohésion des liquides, faite, en 1844, à la Société américaine <sup>2</sup>, a décrit des expériences au moyen desquelles il a cherché à mesurer la pression exercée sur l'air intérieur par une bulle de savon d'un diamètre donné. Voici essentiellement, d'après le compte rendu de cette communication, comment a opéré M. Henry : il s'est servi d'un tube de verre en U, de petit diamètre intérieur, dont l'une des branches était évasée à son extrémité; il gonflait une bulle de savon au bord de l'évasement; puis il introduisait dans le tube une certaine quantité d'eau, et la différence de niveau dans les deux branches lui donnait alors la mesure de la pression. Malheureusement le compte-rendu ne fait point connaître les nombres obtenus, et il ne paraît pas que M. Henry les ait publiés ultérieurement. Ce physicien rapporte le phénomène à sa cause réelle, et énonce la loi qui lie la pression au diamètre de la bulle; le compte rendu ne dit pas si les expériences la vérifient. Mais M. Henry considère une bulle creuse comme pouvant être assimilée à une sphère pleine réduite à sa surface pressante, c'est-à-dire qu'il attribue le phénomène à l'action de la surface extérieure de la bulle, sans tenir compte de celle de la surface intérieure. Ajoutons que M. Henry a mentionné, dans la même communication, plusieurs expériences qu'il a faites sur les lames d'eau de savon, et qui, d'après le compte rendu, éclairciraient d'une manière remarquable

<sup>1</sup> *Inquiries into the principles of liquid attraction.* (Journ. de Silliman, 1<sup>re</sup> série, vol. XVII, page 86.)

<sup>2</sup> *Philos. Magaz.*, 1845, vol. XXVI, page 541.

les principes de la théorie capillaire. Il est vivement à regretter que ces expériences ne soient point décrites.

Enfin, dans un travail présenté à la Société philomatique en 1856 et imprimé en 1859 dans les *Comptes rendus*, M. De Tesson avance <sup>1</sup> que si la vapeur qui forme les nuages et les brouillards était composée de vésicules, l'air enfermé dans une vésicule de 0<sup>mm</sup>,02 de diamètre y serait soumis, de la part de celle-ci, à une pression équivalant à  $\frac{1}{7}$  d'atmosphère. M. De Tesson ne dit pas de quelle manière il a obtenu cette évaluation; mais on voit aisément qu'il est tombé dans une erreur analogue à celle de M. Henry, en ce sens qu'il n'a égard qu'à la surface extérieure de la pellicule liquide. En effet, d'après la formule du paragraphe précédent, la pression exercée sur l'air intérieur par une bulle d'eau de 0<sup>mm</sup>,02 de diamètre équivaldrait à celle d'une colonne d'eau de 3 mètres de hauteur, ce qui égale à peu près les  $\frac{2}{7}$  de la pression atmosphérique; M. De Tesson n'a donc trouvé que la moitié de la valeur réelle, et nous savons (§ 23) que cette moitié est l'action due à la courbure de l'une seulement des surfaces de la lame.

§ 26. — Après avoir obtenu l'expression générale de la pression exercée par une sphère laminaire sur l'air qu'elle emprisonne, il me restait à soumettre ma formule au contrôle de l'expérience. J'ai employé, pour cela, le procédé de M. Henry, c'est-à-dire que la pression a été mesurée directement par la hauteur de la colonne d'eau à laquelle elle faisait équilibre.

De notre formule, on déduit  $pd = 2h\rho$ ; pour un même liquide et à une même température, le produit de la pression par le diamètre de la bulle doit donc être constant, puisque  $h$  et  $\rho$  le sont. C'est cette constance que j'ai d'abord cherché à vérifier pour des bulles de liquide glycérique de diamètres très-différents.

L'appareil dont j'ai fait usage est représenté *fig. 8*, en projection verticale. *ab* est la partie supérieure d'un support dont la hauteur totale est de 40 centimètres. Sur ce support est fixé un tube en cuivre *cdf*, à l'extrémité *c* duquel est mastiqué un tube recourbé en verre *cghk* destiné à servir de manomètre et dont le diamètre intérieur est d'un centimètre environ; la longueur *dg* est

<sup>1</sup> *Comptes rendus*, tome XLVIII, p. 1045.

de 20 centimètres. Le tube de cuivre a, en  $l$ , un embranchement horizontal, qui n'a pu être dessiné dans la même figure parce qu'il est dirigé vers le spectateur, mais qu'on voit à part en  $lm$  (*fig. 9*); à l'extrémité  $m$  est mastiqué un tube en verre  $mn$ , qui n'a qu'environ 2 millimètres de diamètre intérieur. Enfin à l'extrémité  $f$  du tube de cuivre (*fig. 8*) est soudé un ajutage en fer  $fp$ , évasé inférieurement en un petit entonnoir dont le bord a 5 millimètres de diamètre; cet entonnoir a été légèrement oxydé par de l'acide nitrique affaibli (§ 14).

Pour employer cet appareil, on commence par introduire de l'eau distillée dans le manomètre  $ghk$ , en quantité suffisante pour occuper une hauteur de quelques centimètres dans les deux branches; puis on porte sous l'ajutage  $fp$  une capsule contenant le liquide destiné à former les bulles, on y fait plonger le bord  $p$  du petit entonnoir, et l'on abaisse la capsule; enfin, appliquant la bouche à l'orifice  $n$  du tube de verre de l'embranchement (*fig. 9*), on souffle avec ménagement. Une bulle apparaît aussitôt à l'ajutage; on lui donne, avec des précautions que j'indiquerai bientôt, le diamètre que l'on juge convenable, et, dès qu'elle l'a atteint, on bouche soigneusement l'orifice  $n$  avec une petite boule de cire. L'eau est alors un peu plus élevée dans la branche  $hk$  du manomètre (*fig. 8*) que dans la branche  $hg$ , par suite de la pression qu'exerce la bulle, et il ne reste plus qu'à mesurer la différence de niveau ci-dessus et le diamètre de la bulle. Pour la première de ces mesures, on se sert d'un cathétomètre à la manière ordinaire, et, pour la seconde, on couche le même instrument dans une position horizontale, en le plaçant sur des supports convenables.

§ 27. — Ces expériences, fort simples en principe, offrent des difficultés notables d'exécution. En premier lieu, l'air qu'on insuffle dans l'appareil est plus chaud que l'air ambiant, de sorte que la bulle, après sa formation, se contracte un peu par le refroidissement graduel de l'air contenu dans son intérieur et dans les tubes de l'instrument; il faut donc attendre quelque temps avant de procéder à la mesure du diamètre.

En second lieu, les bulles de grand diamètre n'exerçant qu'une pression très-faible, une petite erreur dans la mesure de celle-ci a une influence considérable sur le produit  $pd$ ; il faut donc, si l'on veut que les résultats n'oscil-

lent pas trop autour de la véritable valeur, s'arrêter à une certaine limite de diamètre.

En troisième lieu, les bulles très-petites ont aussi leurs inconvénients : pour les amener au diamètre voulu, et pour obvier, en même temps, à la contraction par le refroidissement, on les gonfle d'abord beaucoup au delà de la grosseur qu'elles doivent avoir, et on les laisse ensuite diminuer spontanément par l'expulsion d'une partie de l'air qu'elles contiennent ; or, quand cette diminution est arrivée à un certain degré, elle devient très-rapide, et il faut beaucoup d'adresse pour appliquer la boule de cire à l'instant précisément convenable. En outre, ces petites bulles paraissent persister moins longtemps que les grosses : elles éclatent fréquemment avant que l'on ait pu achever les mesures.

Enfin, bien que le manomètre de mon instrument ait un centimètre de diamètre intérieur, l'équilibre ne s'y établit que très-lentement, et l'on commettrait de grandes erreurs si l'on n'avait égard à cette circonstance.

Remarquons encore que, lorsqu'on vient de former une bulle, il y a en général, au bas de celle-ci, une goutte suspendue, goutte dont le poids allonge un peu la bulle dans le sens vertical. Pour se débarrasser, sans faire éclater la lame, de cette petite masse additionnelle, on amène doucement en contact avec elle l'un des angles d'un morceau de papier à filtre ; la goutte est alors partiellement absorbée, et l'on répète la même opération avec d'autres angles du même papier, jusqu'à ce que l'excès de liquide ait entièrement ou sensiblement disparu.

Ajoutons une dernière remarque. Lorsqu'on veut former une bulle, si l'on plongeait dans le liquide tout l'entonnoir de l'ajutage, le liquide monterait, par l'action capillaire, dans l'intérieur du tube étroit qui surmonte cet entonnoir, et ne serait qu'en partie expulsé par le souffle, de sorte qu'après le gonflement de la bulle, il pourrait se rassembler en petite masse à la partie inférieure du tube dont il s'agit, et interrompre ainsi la communication entre la bulle et le manomètre. Pour éviter cet inconvénient, on commence par mouiller de liquide glycérique toute la surface extérieure du petit entonnoir, puis on se borne à plonger le bord extrême de celui-ci.

Voici maintenant comment on a procédé. Pour les plus grands diamètres

du tableau du paragraphe suivant, on gonflait d'abord la bulle jusqu'à 6 centimètres environ, on appliquait la boule de cire, puis on attendait cinq minutes, après quoi l'on ouvrait de nouveau le tube d'insufflation, on laissait diminuer la bulle jusqu'à ce qu'elle parût avoir le diamètre voulu, et on l'arrêtait alors au moyen de la cire. Pour tous les diamètres moindres, on commençait par gonfler la bulle jusqu'à 4 centimètres à peu près, et, après avoir appliqué la cire, on attendait dix minutes avant de laisser s'effectuer la diminution. Des essais préalables avaient montré qu'avec ces précautions, le diamètre demeurait ensuite invariable. La bulle sur laquelle on se proposait d'opérer ayant ainsi atteint la dimension désirée, on enlevait la goutte suspendue à sa partie inférieure, on inclinait l'instrument à droite et à gauche afin de bien mouiller les deux branches du manomètre un peu au-dessus des deux niveaux, et l'on mesurait le diamètre. On attendait alors que dix minutes au moins se fussent écoulées depuis que l'instrument était en repos, afin de laisser à l'équilibre du manomètre un certain temps pour s'établir, puis on mesurait la pression, et, cinq minutes après, on la mesurait encore. Si les résultats de ces deux mesures n'étaient pas exactement les mêmes, on prenait une troisième mesure après un nouvel intervalle de cinq minutes, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on obtint deux résultats successifs identiques ou que la différence fût en sens contraire des précédentes; dans le premier cas, les deux derniers résultats étaient considérés comme donnant la valeur de la pression; dans le second, leur différence devant être attribuée à une petite erreur d'observation, on prenait, pour valeur de la pression, la moyenne de ces deux mêmes résultats.

§ 28. — Le tableau suivant renferme les résultats de ces expériences; je les ai rangés non dans l'ordre où ils ont été obtenus, mais dans l'ordre croissant des diamètres, et je les ai distribués en groupes de diamètres analogues. Pendant la durée des opérations, la température a varié de 18°,5 à 20°.

Diamètres, en millimètres ou d.	Pressions, en kilogrammes ou p.	Produits, en millimètres ou pd.
7,55	3,09	23,51
13,77	2,17	29,69
15,50	2,13	33,02
23,21	2,08	48,18
26,44	2,05	54,20
27,56	2,05	56,49
40,46	2,00	80,92
47,47	2,00	94,94
47,85	2,05	98,09
48,19	2,25	108,43

La moyenne générale des produits est 22,75, et l'on voit que, sauf dans les deux derniers, les écarts d'avec cette moyenne générale sont partout peu notables; on voit, en outre, qu'ils sont irrégulièrement distribués. Comme d'ailleurs le premier diamètre est à ceux du dernier groupe à peu près comme 1 à 6, ces résultats suffisent, je pense, pour établir nettement la constance du produit  $pd$ , et, par suite, la loi d'après laquelle la pression est en raison inverse du diamètre. On verra, dans la série suivante, cette même loi vérifiée par des expériences d'un genre tout différent.

Je dois dire ici que, dans les mesures relatives à la plus petite bulle, c'est-à-dire à celle de 7<sup>mm</sup>,55 de diamètre, j'ai été contraint de faire une légère exception à la marche indiquée à la fin du paragraphe précédent : la seconde mesure de la pression excédait la première de 0<sup>mm</sup>,02; on se proposait donc de prendre une troisième mesure après un nouvel intervalle de cinq minutes; mais, pendant ce temps, la bulle a crevé. On a essayé plusieurs fois de renouveler l'expérience, et toujours l'une ou l'autre des causes que j'ai signalées à l'égard des très-petites bulles a empêché la réussite. Comme la différence 0<sup>mm</sup>,02 était si minime qu'elle pouvait être attribuée à une erreur d'observation, comme d'ailleurs, par suite de cette petitesse, il était extrêmement peu probable qu'un nouvel excès se fût montré dans une troisième mesure, comme enfin, avec un diamètre de cet ordre, de si fai-

bles différences n'ont d'influence que sur la partie décimale du produit, j'ai cru pouvoir considérer la seconde mesure comme donnant la valeur de la pression, et conserver le résultat de l'expérience.

Quant à la moyenne générale 22,75 des résultats du tableau, sa partie décimale est nécessairement un peu trop forte, à cause de la valeur excessive 26,45 du dernier produit. Comme ce produit et celui qui le précède sont, ainsi que je l'ai déjà fait remarquer, les seuls qui s'écartent notablement de 22 dans leur partie entière, on admettra, je pense, qu'on approchera davantage de la valeur véritable en négligeant ces deux produits et prenant la moyenne des autres, moyenne qui est 22,56, ou, plus simplement, 22,6; nous adopterons ce dernier nombre pour valeur du produit  $pd$  à l'égard du liquide glycérique.

§ 29. — Restait à vérifier si cette valeur satisfait à notre formule, d'après laquelle on a  $pd = 2h\rho$ , les quantités  $\rho$  et  $h$  étant respectivement, comme on l'a vu, la densité du liquide et la hauteur qu'atteindrait ce même liquide dans un tube capillaire d'un millimètre de diamètre. Pour cela, il fallait donc chercher les valeurs de ces deux quantités à l'égard du liquide glycérique.

La densité a été déterminée au moyen de l'aréomètre de Fahrenheit, à la température de 17°, température peu inférieure à celles des expériences précédentes, et l'on a trouvé ainsi

$$\rho = 1,1065.$$

Pour déterminer la hauteur capillaire, on a employé le procédé de Gay-Lussac, c'est-à-dire la mesure au cathétomètre, en prenant toutes les précautions connues pour assurer l'exactitude du résultat. L'expérience a été faite à la température de 19°. Je m'étais procuré un tube capillaire dont le diamètre intérieur n'était que d'une fraction de millimètre, on verra bientôt pourquoi. On a tracé d'abord à la lime un petit trait sur ce tube à trois centimètres et demi environ de l'une de ses extrémités, distance que l'on savait, par un essai préalable fait sur un autre fragment du même tube, être un peu supérieure à la hauteur de la colonne capillaire soulevée; ensuite on a mouillé parfaitement le tube à l'intérieur en le plongeant à plusieurs reprises jusqu'au fond du vase contenant le liquide glycérique, et le secouant

chaque fois qu'on l'avait retiré; enfin, après l'avoir essuyé extérieurement, on l'a mis en place, en l'enfonçant dans le liquide jusqu'à ce que l'extrémité de la colonne soulevée parût s'arrêter très-près de la marque, et l'on a abaissé la pointe d'acier pour lui faire affleurer le liquide extérieur. Alors on a amené le fil horizontal de la lunette du cathétomètre en contact avec l'image du point le plus bas du ménisque concave, et l'on a observé de cinq en cinq minutes, en rétablissant chaque fois le contact, jusqu'à ce que le point en question parût stationnaire; on a attendu encore, et l'on n'a effectué la mesure qu'après avoir constaté pendant une demi-heure entière l'immobilité parfaite du sommet de la colonne. Les mouvements avaient été très-petits, de sorte que la colonne se terminait encore près de la marque. La lecture au cathétomètre a donné, pour la distance du point le plus bas du ménisque concave au niveau extérieur,  $27^{\text{mm}},35$ .

Cette mesure prise, on a enlevé le tube, on l'a coupé à la marque, et l'on a procédé à la mesure du diamètre intérieur en ce point, au moyen d'un microscope muni d'un micromètre donnant directement les centièmes de millimètre. On a reconnu que la section intérieure du tube était légèrement elliptique; le plus grand de ses diamètres a été trouvé de  $0^{\text{mm}},374$ , et le plus petit de  $0^{\text{mm}},357$ ; on a pris la moyenne, savoir  $0^{\text{mm}},3655$  pour représenter le diamètre intérieur du tube supposé cylindrique.

Pour avoir la vraie hauteur de la colonne capillaire, il faut, comme on sait, ajouter à la hauteur du point le plus bas du ménisque le sixième du diamètre du tube, ou, dans le cas actuel,  $0^{\text{mm}},06$ ; la vraie hauteur de notre colonne est conséquemment  $27^{\text{mm}},41$ .

Maintenant, pour obtenir la hauteur  $h$  à laquelle le même liquide s'élèverait dans un tube ayant exactement un millimètre de diamètre intérieur, il suffit, en vertu de la loi connue, de multiplier la hauteur ci-dessus par le diamètre du tube, et l'on trouve ainsi, en définitive,

$$h = 40^{\text{mm}},018.$$

C'est ici le lieu de dire par quelle raison j'ai choisi, pour l'expérience, un tube dont le diamètre intérieur fût notablement moindre qu'un millimètre. Le raisonnement par lequel je suis arrivé (§ 23) à la formule, sup-

pose que la surface qui termine la colonne capillaire est hémisphérique; or cela n'est jamais rigoureusement vrai, mais dans un tube aussi étroit que celui dont je me suis servi, la différence est nécessairement tout à fait insensible, de sorte qu'en calculant ensuite, par la loi de la raison inverse de l'élevation au diamètre, la hauteur pour un tube d'un millimètre de diamètre, on devait avoir cette dernière hauteur telle qu'elle serait si la surface supérieure était exactement hémisphérique.

Les valeurs de  $\rho$  et de  $h$  étant ainsi déterminées, on en tire

$$2h\rho = 22,17,$$

nombre qui diffère bien peu de 22,56, obtenu dans le paragraphe précédent comme valeur du produit  $pd$ . La formule  $pd = 2h\rho$  peut donc être regardée comme vérifiée par l'expérience, et la vérification paraîtra plus complète encore si l'on considère que les deux résultats sont respectivement déduits d'éléments tout à fait différents.

J'espère pouvoir effectuer plus tard, sur d'autres liquides, de nouvelles vérifications.

RECHERCHE D'UNE LIMITE TRÈS-PETITE AU-DESSOUS DE LAQUELLE SE TROUVE, DANS LE LIQUIDE GLYCÉRIQUE, LA VALEUR DU RAYON D'ACTIVITÉ SENSIBLE DE L'ATTRACTION MOLÉCULAIRE.

§ 30. — L'exactitude de la formule  $p = \frac{2h\rho}{d}$  suppose, comme nous allons le montrer, que la lame qui constitue la bulle n'a pas, en tous ses points, des épaisseurs moindres que le double du rayon d'activité sensible de l'attraction moléculaire.

On a vu (§ 23) que la pression exercée par une bulle sur l'air qu'elle emprisonne est la somme des actions dues séparément aux courbures de ses deux faces. D'autre part, on sait que, dans le cas d'une masse liquide pleine, la pression capillaire exercée par le liquide sur lui-même émane de tous les points d'une couche superficielle ayant pour épaisseur le rayon d'activité en question. Maintenant, si l'épaisseur de la lame qui constitue une bulle est

partout supérieure ou égale au double de ce rayon, chacune des deux faces de la lame aura sa couche superficielle non altérée, et la pression exercée sur l'air contenu aura la valeur qu'indique notre formule. Mais si, en tous ses points, la lame a des épaisseurs inférieures ou doubles de ce même rayon, les deux couches superficielles n'ont plus leur épaisseur complète, et le nombre des molécules comprises dans chacune d'elles étant ainsi amoindri, ces deux couches doivent nécessairement exercer des actions moins fortes, et conséquemment la somme de celles-ci, c'est-à-dire la pression sur l'air intérieur, doit être plus petite que ne l'indique la formule.

Il suit de là que si, dans les expériences des §§ 27 et 28, l'épaisseur des lames qui formaient les bulles était descendue, dans toute l'étendue de ces dernières, au-dessous de la limite dont il s'agit, les résultats auraient été trop faibles; mais, dans ce cas, on aurait remarqué des diminutions progressives et continues dans les pressions, ce qui n'est jamais arrivé, bien que les couleurs des bulles accusassent une grande ténuité. Tous les physiciens admettent, du reste, que le rayon d'activité sensible de l'attraction moléculaire est excessivement minime.

Mais ce qui précède permet d'aller plus loin, et de déduire de l'expérience une donnée sur la valeur du rayon d'activité sensible, au moins dans le liquide glycérique. Lorsqu'après avoir formé, à l'ajutage de l'appareil du § 26, une bulle de ce liquide, on introduit l'ajutage dans l'intérieur d'un bocal en verre, dont on ferme ensuite l'ouverture par un obturateur à travers lequel passe le tube de cuivre *df* (*fig. 8*), la bulle manifeste toujours un phénomène remarquable. Lorsqu'on l'observe en plaçant l'œil à la hauteur de son centre, les couleurs se montrent d'abord rangées suivant des bandes courbes, dont la disposition indique un accroissement graduel d'épaisseur à partir de l'ajutage jusqu'au bas de la bulle; mais, après un temps plus ou moins long, cette disposition se modifie: on voit alors un large espace central et sensiblement circulaire coloré d'une teinte uniforme et entouré d'anneaux concentriques étroits présentant d'autres couleurs. Si l'on change de position autour de la bulle, l'œil restant toujours à la hauteur du centre, les apparences tournent avec le spectateur, et si l'on se place plus haut, les apparences suivent encore le mouvement de l'œil. On doit conclure de là qu'arrivée à ce point, la lame a

une épaisseur sensiblement uniforme dans toute l'étendue de la bulle, sauf, bien entendu, à la partie tout à fait inférieure, où il y a toujours une petite accumulation de liquide; les couleurs des anneaux qui entourent l'espace central sont évidemment dues à l'obliquité de la vision <sup>1</sup>. A partir du moment où la bulle a pris cet aspect, elle le conserve jusqu'à ce qu'elle éclate; seulement les teintes respectives de l'espace central et des anneaux varient progressivement, en remontant dans la succession des couleurs des anneaux de Newton, d'où il suit que la lame continue à s'amincir, mais également partout, en exceptant toujours la petite portion la plus basse.

Or, après que la lame a acquis une minceur uniforme, si la pression exercée sur l'air intérieur éprouvait une diminution, celle-ci serait accusée par le manomètre, et on la verrait progresser d'une manière continue au fur et à mesure de l'atténuation ultérieure de la lame. Dans ce cas, l'épaisseur qu'avait la lame quand la diminution de pression a commencé, se déterminerait au moyen de la teinte que présentait en ce moment l'espace central, et la moitié de cette épaisseur serait la valeur du rayon d'activité sensible de l'attraction moléculaire. Si, au contraire, la pression demeure constante jusqu'à la disparition de la bulle, on conclura de la teinte de l'espace central l'épaisseur finale de la lame, et la moitié de cette épaisseur constituera, du moins, une limite très-minime au-dessous de laquelle se trouve le rayon dont il s'agit.

§ 31. — J'ai fait, dans ce sens, un grand nombre d'expériences, dont je vais rendre compte. On donnait d'abord à la bulle un diamètre d'environ quatre centimètres, on la laissait ensuite diminuer jusqu'à deux centimètres à peu près, et quelquefois jusqu'à un centimètre, puis on appliquait la boule de cire; alors, dans les premières expériences, on enlevait la goutte, et l'on introduisait l'ajutage avec la bulle dans l'intérieur d'un petit bocal dont on fermait simplement l'orifice avec un disque de carton; enfin on établissait le contact du fil horizontal de la lunette du cathétomètre avec le sommet de l'image de la surface de l'eau dans l'une des branches du manomètre, et comme l'équilibre n'avait pas lieu immédiatement (§ 27), on rétablissait de temps à autre le contact, jusqu'à ce qu'il devint stationnaire.

<sup>1</sup> Ce fait avait déjà été remarqué par Newton, mais seulement comme accidentel, sur les bulles hémisphériques d'eau de savon.

Huit bulles observées dans ces circonstances ont pu être suivies jusqu'à leur disparition. Sept d'entre elles ont éclaté avant d'avoir dépassé les premières couleurs du deuxième ordre; une seule a paru atteindre l'indigo de ce même ordre, mais il y a quelque incertitude à cet égard. La plus grande persistance a été de quatorze heures.

Quant au contact du fil de la lunette avec l'image de la surface de l'eau, il n'a jamais, à une seule exception près, varié dans le sens d'une diminution de pression, mais, chose singulière, il a quelquefois varié de petites quantités dans le sens opposé. Pour l'une des bulles, on s'est assuré, par des mesures prises avant et après ces variations, que la pression avait réellement augmenté quelque peu. Lorsqu'une semblable variation se produisait, c'était avec une certaine rapidité, et le manomètre demeurait ensuite stationnaire, soit jusqu'à la disparition de la bulle, soit jusqu'à une nouvelle variation de même sens.

Ces variations ne sont pas dues à des changements dans la température, car celle de la chambre était bien constante; elles ne proviennent pas non plus d'une application imparfaite de la cire, car, dans ce cas, l'augmentation de pression serait continue et accélérée.

§ 32. — Ces expériences auraient déjà pu me fournir un résultat; mais j'ai cherché à savoir pourquoi les couleurs des bulles n'allaient pas plus loin. Conduit à soupçonner qu'une petite action chimique entre le fer de l'ajutage et le liquide altérait un peu la constitution de ce dernier dans le voisinage de l'orifice, j'ai fait adapter à celui-ci, avec de la cire à cacheter, un bout de tube de verre de même diamètre extérieur, et à parois assez minces, et l'on a gonflé une bulle à l'extrémité libre de ce tube, bulle que l'on a introduite comme précédemment dans le petit bocal. Alors, en effet, les choses se sont passées d'une manière différente et bien bizarre : les couleurs ont marché d'abord jusque dans le troisième ordre, après quoi elles ont peu à peu rétrogradé, jusqu'à revenir au rouge et au vert bleuâtre des derniers ordres, puis elles ont pâli, et enfin la bulle est redevenue blanche comme au moment de sa formation. Ainsi l'épaisseur de la lame avait d'abord été en diminuant, et ensuite en augmentant. La bulle a persisté vingt-quatre heures.

Ce phénomène m'aurait paru inexplicable, si une expérience que j'avais faite avant d'armer l'ajutage du bout de tube de verre ne m'en avait donné la clef. Pour l'expérience dont il s'agit, on avait versé un peu d'eau dans le bocal et l'on avait, en outre, humecté les parois intérieures de celui-ci; or une bulle placée dans cette atmosphère saturée de vapeur d'eau avait persisté également vingt-quatre heures, et avait crevé sans être sortie du rouge et du vert des derniers ordres; elle avait donc absorbé de la vapeur aqueuse, et cette absorption, qui s'explique par la propriété hygrométrique de la glycérine, avait continuellement réparé la diminution d'épaisseur due à la descente du liquide. Maintenant, dans l'expérience actuelle, comme il n'y avait pas d'eau dans le bocal et qu'ainsi l'atmosphère qui entourait la bulle était moins humide, on comprend que l'effet de la descente du liquide a pu d'abord l'emporter sur celui de l'absorption, et qu'ensuite c'est le contraire qui a eu lieu.

Partant de là, j'ai fait placer au fond du bocal sec des morceaux de potasse caustique, et j'ai fait en sorte, par l'application de petits bourrelets de saindoux autour de l'orifice du bocal et du trou par où passait le tube de cuivre, qu'après l'introduction de la bulle, le disque de carton fermât hermétiquement l'ouverture. De plus, comme le peu de liquide qui s'accumule toujours par degrés au bas de la bulle, doit contribuer par son poids à faire éclater celle-ci, on avait cette fois attendu dix minutes avant d'enlever la goutte; la lame était donc déjà plus mince quand on l'a introduite dans le bocal, et l'accumulation résultant de la descente ultérieure du liquide devait être beaucoup moindre. Or, dans ces conditions, la diminution d'épaisseur de la lame a été continue, la bulle a persisté près de trois jours, et, lorsqu'elle a éclaté, elle était parvenue au passage du jaune au blanc du premier ordre; elle présentait alors un espace central jaune pâle, entouré d'un anneau blanc. Le niveau de l'eau dans la branche observée du manomètre a éprouvé de petites oscillations, tantôt dans un sens, tantôt dans l'autre, mais dont la dernière était dans le sens d'une augmentation de pression. Bien que, pendant la longue durée de cette bulle, la température de la chambre ait nécessairement subi de petits changements, les oscillations ci-dessus ne peuvent leur être entièrement attribuées, car, si cela était, on aurait dû voir, après chacune des trois

nuits, un mouvement du manomètre dans le sens d'une augmentation de pression; or on a observé le contraire après les deux premières nuits; ce n'est qu'après la troisième qu'il y a eu mouvement dans ce sens.

Il résulte de la marche de ces mêmes mouvements que si la pression a varié, c'est d'une manière irrégulière, dans les deux sens, et pour aboutir non à une diminution, mais à une augmentation au moins relative; on peut donc admettre, je pense, que l'épaisseur finale de la lame était encore supérieure au double du rayon d'activité sensible de l'attraction moléculaire.

§ 33. — Voyons actuellement ce que l'on déduit de cette dernière expérience. D'après le tableau donné par Newton, l'épaisseur d'une lame d'eau pure qui réfléchit le jaune du premier ordre est, en millièmes de pouce anglais,  $5\frac{1}{3}$ , ou 5,333, et, pour le blanc du même ordre,  $3\frac{7}{8}$ , ou 3,875. On peut donc prendre la moyenne, savoir 4,604 comme valeur très-approchée de l'épaisseur correspondante, toujours dans le cas de l'eau pure, au passage entre ces deux couleurs; et, le pouce anglais étant égal à  $25^{\text{mm}},4$ , cette épaisseur équivaut à  $\frac{1}{8534}$  de millimètre. Cela posé, on sait que, pour deux substances différentes, les épaisseurs des lames qui réfléchissent la même teinte sont entre elles en raison inverse des indices de réfraction de ces substances. Pour avoir l'épaisseur réelle de notre lame de liquide glycérique, il suffit donc de multiplier le dénominateur de la fraction précédente par le rapport de l'indice du liquide glycérique à celui de l'eau. J'ai mesuré approximativement le premier au moyen d'un prisme creux à liquides, et je l'ai trouvé égal à 1,377. Celui de l'eau étant 1,336, on obtient enfin, pour l'épaisseur de la lame glycérique,  $\frac{1}{8811}$  de millimètre. La moitié de cette quantité, ou  $\frac{1}{17622}$  de millimètre, constitue donc la limite fournie par l'expérience en question; mais pour nous placer plutôt au delà, nous adopterons  $\frac{1}{17000}$ .

Nous arrivons ainsi à cette conclusion très-probable que, dans le liquide glycérique, le rayon d'activité sensible de l'attraction moléculaire est moindre que  $\frac{1}{17000}$  de millimètre.

Je me proposais de continuer cette recherche, pour tâcher d'arriver jusqu'au noir et pour éclaircir la question des variations du manomètre; mais la saison froide est survenue, la persistance des bulles a diminué, et j'ai

été contraint de remettre à une époque plus favorable la poursuite de mes essais.

NOTE SUR LA PRÉPARATION DU LIQUIDE GLYCÉRIQUE AVEC LES GLYCÉRINES IMPURES  
DU COMMERCE.

J'ai essayé, en premier lieu, la glycérine qui se vend chez les pharmaciens de Gand. Elle est d'une couleur jaune intense, et d'une odeur désagréable; elle contient en grande quantité une substance étrangère, que je crois être de la chaux, et dont il faut la débarrasser. Après un grand nombre de tentatives inutiles, je suis arrivé au procédé suivant, qui m'a bien réussi.

On mêle, dans un flacon, une quantité suffisante d'eau distillée avec un égal volume de la glycérine dont il s'agit; on introduit ensuite dans le flacon une quantité de savon de Marseille taillé en minces copeaux, dont le poids soit environ le 15<sup>me</sup> de celui de l'eau; ces copeaux demeurent flottants sur le liquide. Le savon doit avoir été conservé dans un lieu frais; s'il est desséché, l'action est presque nulle. Après cinq minutes, on retourne lentement le flacon trois ou quatre fois, et l'on voit alors se détacher du savon de petits grumeaux blancs qui se disséminent dans le liquide, et qui, lorsque le flacon est en repos, remontent graduellement. On répète, de cinq en cinq minutes, pendant une heure et demie, les retournements lents dont j'ai parlé; les grumeaux deviennent de plus en plus nombreux, et finissent par remplir d'une manière permanente toute la masse. La plus grande partie du savon reste non attaquée, mais il en fallait un excès pour présenter plus de surface à l'action du liquide. On débarrasse celui-ci des grumeaux et de l'excès de savon, en le faisant passer à travers un filtre formé d'une étoffe de coton à mailles serrées; puis on y introduit une dose de copeaux de savon égale à la première, et l'on effectue les mêmes retournements pendant une heure encore; les grumeaux continuent à se former; on filtre comme précédemment; la liqueur passe laiteuse, mais on la rend limpide, ou à fort peu près, en la filtrant ensuite à travers du papier; la préparation est alors achevée. Toutes ces opérations doivent s'effectuer à une époque où la température extérieure et celle de l'appartement soient de 18° à 20°; si cette

dernière limite était notablement dépassée, le liquide dissoudrait trop de savon. Une bulle gonflée avec ce liquide et déposée sur un anneau comme je l'ai indiqué dans les §§ 13 et 15, peut persister environ une heure et demie.

Ce même liquide a un grave inconvénient : à une température inférieure à 18°, il refuse absolument de donner des bulles ; aussi, lorsqu'on veut l'employer en hiver, on est obligé de maintenir préalablement, pendant une heure environ, le flacon dans de l'eau que l'on entretient à 20° ; il est inutile d'ajouter que l'appartement doit être chauffé.

J'ai essayé, en second lieu, une glycérine que l'on m'a assuré venir de Paris. Elle a la même couleur et la même odeur que celle de Gand. Quand on la mêle avec la dissolution de savon, le mélange se trouble d'abord légèrement, et, après quelques heures, devient très-laiteux ; comme avec la glycérine de Londres, si on laisse le liquide en repos, le précipité monte graduellement, et forme, après quelques jours, une couche nette à la partie supérieure. Alors, de même aussi qu'avec la glycérine de Londres, on recueille au moyen d'un siphon le liquide limpide. Les proportions qui m'ont le mieux réussi sont cinq volumes de glycérine et quatre de la même dissolution de savon que pour la glycérine de Londres. Le liquide ainsi obtenu m'a donné des bulles qui persistaient cinq quarts d'heure. J'ai fait cet essai en automne, à une époque où la température extérieure ne s'élevait qu'à 7° ou 8°, en opérant dans un appartement chauffé, mais sans aucune autre précaution ; il est probable que le même liquide préparé en été fournirait des lames d'une plus grande persistance.

Je suis porté à croire, d'après ce que je sais des différents procédés par lesquels s'obtiennent les glycérines du commerce, que toutes celles que l'on pourra se procurer seront analogues à l'une ou à l'autre des trois que j'ai employées ; on voit donc que le mieux est de faire venir de la glycérine de Londres, si toutefois on ne peut en trouver autrement d'aussi pure.



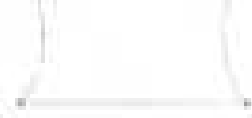
*Fig. 1.*



*Fig. 2.*



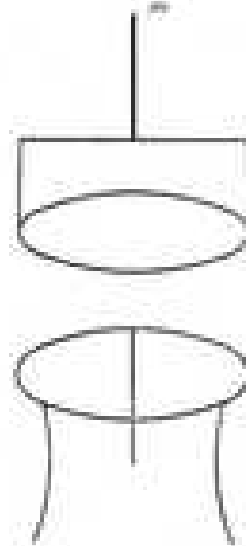
*Fig. 3.*



*Fig. 4.*



*Fig. 5.*



*Fig. 6.*

