



**HAL**  
open science

# Expériences de M. Weyher sur les tourbillons, trombes, tempêtes et sphères tournantes

M. Mascart

► **To cite this version:**

M. Mascart. Expériences de M. Weyher sur les tourbillons, trombes, tempêtes et sphères tournantes. J. Phys. Theor. Appl., 1889, 8 (1), pp.557-572. 10.1051/jphystap:018890080055700 . jpa-00239024

**HAL Id: jpa-00239024**

**<https://hal.science/jpa-00239024>**

Submitted on 4 Feb 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

**EXPÉRIENCES DE M. WEYHER SUR LES TOURBILLONS, TROMBES, TEMPÊTES  
ET SPHÈRES TOURNANTES;**

PAR M. MASCART.

Une cuvette plate en tôle ayant 0<sup>m</sup>,70 de diamètre et 0<sup>m</sup>,06 de profondeur est placée au fond d'une sorte de caisse dont trois côtés verticaux sont formés par des toiles peintes en noir et dont le quatrième côté tourné vers les spectateurs est constitué par une glace sans tain permettant d'apercevoir sur toute sa hauteur l'intérieur de cette caisse (*fig. 1*). Celle-ci a 1<sup>m</sup> de côté et 1<sup>m</sup>,20 de hauteur; elle est complètement ouverte en haut et porte une traverse supérieure, au milieu de laquelle se trouve fixée une douille verticale laissant passer l'arbre d'un tourniquet horizontal de 0<sup>m</sup>,20 de diamètre.

Le tourniquet, qui se trouve à 1<sup>m</sup>,50 de distance de la cuvette, est un simple tambour en carton muni d'un fond et ouvert par le bas; il est armé de quelques palettes dirigées suivant des rayons et il reçoit, au moyen d'une courroie, un mouvement de rotation variant de 500 à 1500 tours par minute.

On commence par mettre, dans la cuvette du bas, de l'eau chaude émettant quelques vapeurs, et l'on met en rotation le tourniquet.

L'air pris au centre est refoulé à la circonférence et forme un tourbillon vertical qui se propage peu à peu jusqu'au bas. Au bout de quelques instants, on voit la surface de l'eau se rider en spirales centripètes aboutissant toutes à un petit mamelon ou une petite surélévation de l'eau qui se forme sur l'axe du tourbillon aérien.

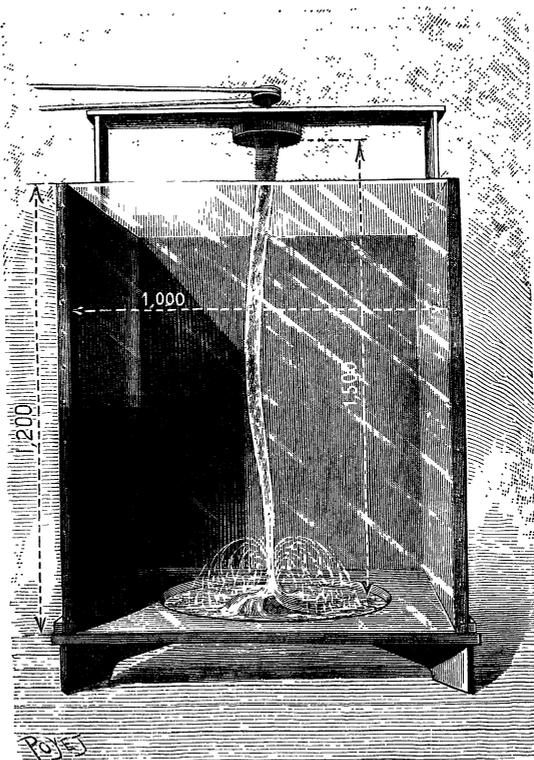
Les vapeurs émises à la surface de l'eau prennent elles-mêmes un mouvement centripète et se rassemblent autour de l'axe pour s'élever tout d'un coup en fuseau d'une netteté absolue et occupant toute la hauteur de l'appareil depuis la surface de l'eau jusqu'au tourniquet.

Ce fuseau blanc constitue un véritable tube dont l'intérieur laisse voir du haut en bas une espèce d'âme noirâtre qu'on aperçoit très bien à travers la vapeur; cette âme présente la forme d'un cône très allongé dont la pointe est en bas à la surface de l'eau. En réalité, la trombe ne reste pas immobile ni verticale;

elle s'infléchit plus ou moins en courbes gracieuses sous l'effet des remous anormaux.

Par moments et lorsque l'eau est un peu trop chaude, la vapeur se trouve en excès et encombre les spires aériennes ascendantes et descendantes : on voit alors des renflements se former sur la trombe et monter ou descendre le long du fuseau nébuleux.

Fig. 1.



Le tourniquet générateur est en somme un ventilateur ou une espèce de pompe centrifuge ; il prend l'air à son centre et le rejette à sa circonférence ; il est évident que, si l'on présente au centre de ce tourniquet un tube ouvert par le bout et communiquant avec un manomètre, celui-ci indiquera une certaine dépression.

Cette dépression existe au même degré dans toute la longueur du tube nébuleux. Il suffit, en effet, de descendre le tube sondeur au pied de la trombe, et, chaque fois qu'on réussit à le faire coïncider avec l'axe de celle-ci, on voit l'aiguille du manomètre indiquer le même déplacement qu'au sommet de cette trombe.

Nous jetons maintenant dans la cage carrée un petit ballon en caoutchouc, gonflé d'air, de  $0^m,05$  à  $0^m,06$  de diamètre; nous voyons ce ballon tomber à la surface de l'eau où il est pris par le tourbillon aérien et amené bien vite dans l'axe de la trombe; le fuseau de vapeur le saisit et semble s'y greffer en le faisant tourner sur lui-même, enfin la trombe enlève ce ballon comme au tire-bouchon et le fait monter plus ou moins haut. Lorsque le ballon est bien rond et bien centré, il suit souvent la trombe jusqu'au tourniquet, d'où il est rejeté à l'extérieur pour retomber au fond de la cage et recommencer un nouveau parcours.

La trombe est donc bien ascendante, ou du moins le mouvement ascendant est prépondérant, parce que les causes premières, dépression supérieure et mise en rotation, se trouvent en haut; mais une expérience suivante nous fera voir qu'elle est aussi en partie descendante.

Ce fait était d'ailleurs indiqué déjà par le renflement dont il était question tout à l'heure et qui tantôt monte et tantôt descend, suivant qu'il est formé par un excès de vapeur ascendante ou descendante. On peut remarquer, en effet, que très souvent le fuseau nébuleux est constitué par une double enveloppe de vapeur, par deux tubes concentriques, dont les particules tournent dans un même sens, mais avec circulation inverse dans le sens de la hauteur.

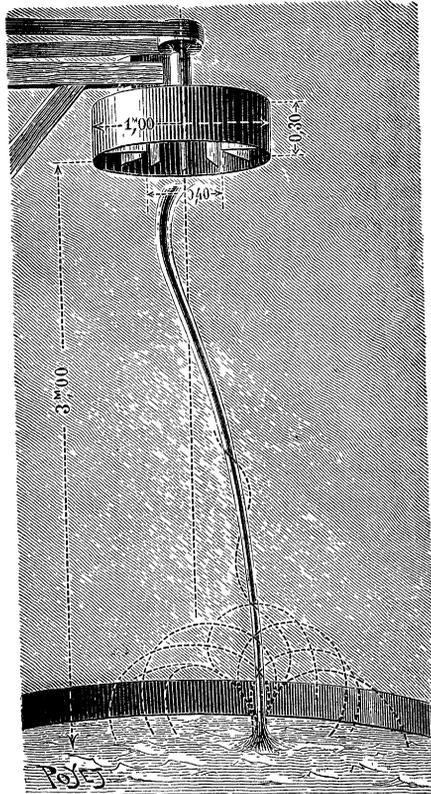
Avant d'aller plus loin, il est nécessaire de remarquer que la caisse à glace sans tain n'est pour rien dans la production du phénomène. Cette caisse permet simplement d'éviter les courants d'air et d'obtenir la permanence de l'expérience. En effet, cette même expérience a été faite et réussie un grand nombre de fois en plein air tout à fait, et sur une échelle beaucoup plus grande. La hauteur était de  $3^m$  et le bassin avait  $5^m$  de diamètre (*fig. 2*).

Du reste, on obtiendrait aussi bien une trombe de  $50^m$  de hauteur: ce n'est qu'une question d'argent et de local.

Enfin, il ne sera pas inutile de dire que l'expérience réussit

aussi bien lorsque le tourniquet possède un mouvement de déplacement horizontal en même temps que celui de rotation; la trombe suit alors le tourniquet et voyage à la surface de l'eau.

Fig. 2.



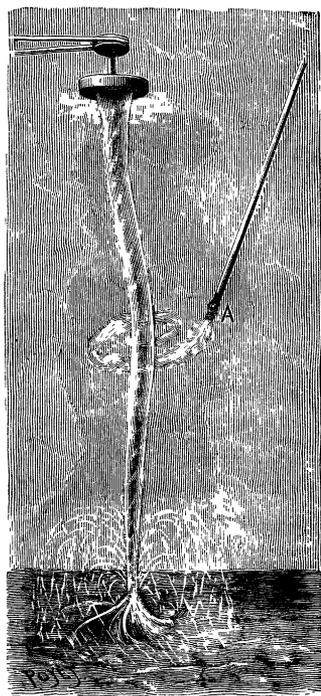
Nous ferons observer maintenant que nous formons la trombe avec la vapeur prise à la surface de l'eau, tandis que dans la nature le fuseau nébuleux procède du haut et descend des nuages et que, par suite, on pourrait objecter que notre expérience ne réalise pas du tout le phénomène tel qu'il se produit dans la nature.

Nous allons montrer que cette conclusion serait erronée et que, si nous prenons la vapeur en bas, ce n'est que parce que cela nous est plus commode.

En effet, faisons un peu refroidir l'eau, de manière qu'elle n'émette plus que très peu de vapeurs; le fuseau nébuleux est encore visible et son pied se dessine encore à la surface de l'eau par une petite surélévation centrale.

Si, entre le tourniquet et la cuvette, nous créons un nuage artificiel, soit en faisant arriver de la vapeur au moyen d'un tube relié à une chaudière extérieure, soit tout simplement en présentant sur le parcours de la trombe un fumeron fixé au bout d'une canne et donnant des fumées abondantes (*fig. 3*), nous allons voir cette

Fig. 3.



vapeur ou cette fumée s'emmancher dans la trombe; une partie va monter, mais une autre partie va descendre en sens contraire et à l'intérieur du fuseau de vapeur; elle formera un cône pointu qui ira souvent toucher la surface de l'eau.

La chose peut s'expliquer aisément si l'on se rappelle que le

tourniquet est une pompe centrifuge dont le fuseau de vapeur serait le tuyau d'aspiration, lequel est d'ailleurs fermé à sa partie inférieure par l'eau de la cuvette. L'intérieur de ce tuyau dessiné par l'âme noirâtre centrale se trouve à une pression inférieure à celle de l'air extérieur ambiant; si donc nous faisons arriver de la fumée sur l'axe de la trombe, cette fumée tend à remplir ce vide intérieur et descendra pour le combler jusqu'à la surface de l'eau.

Dans cette expérience, nous avons conservé de l'eau un peu chaude, afin de bien faire voir que la fumée descend en sens contraire du mouvement de la vapeur formant le tube nébuleux encore légèrement visible. Si l'on refroidit l'eau tout à fait, ou si on l'enlève complètement en laissant la cuvette à sec, le tourbillon aérien est alors invisible; néanmoins, si l'on présente le fumeron sur le parcours de ce tourbillon, on voit également une partie de la fumée monter vers le tourniquet et une autre partie plonger vers le bas en cône aigu, allant quelquefois toucher par sa pointe le fond de la cuvette. D'autres fois, cette pointe oscille verticalement, se rapprochant ou s'éloignant de terre exactement comme dans une trombe naturelle.

Il faut remarquer enfin que la fumée, s'enroulant autour de la trombe à partir de l'extrémité de la canne, prend une vitesse angulaire de plus en plus accélérée depuis son origine A jusqu'à la pointe, où cette vitesse est maxima.

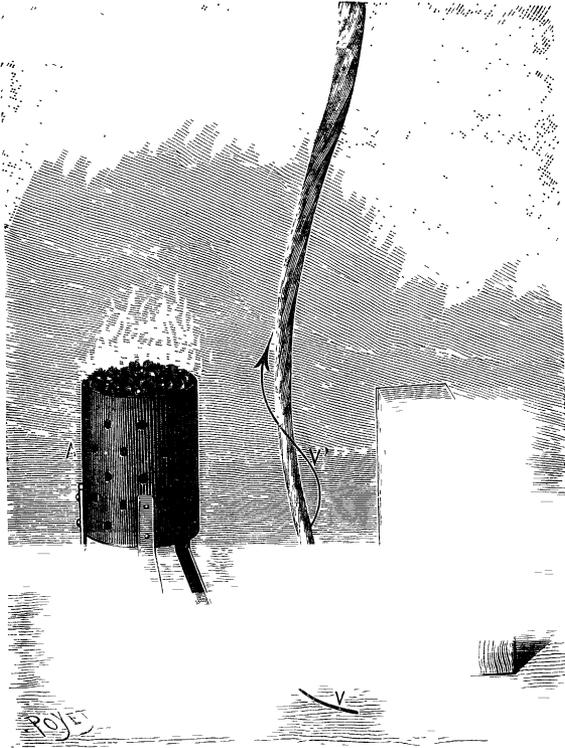
On peut conclure de ces expériences qu'une trombe a la propriété de faire monter les matières qui seraient en bas et de faire descendre les matières qui seraient en haut.

Afin de mettre ce fait en lumière d'une façon plus évidente encore, nous enlevons complètement l'eau de la cuvette et nous plaçons à son centre une petite éponge imbibée d'ammoniaque. Nous mettons en rotation le tourniquet, et nous présentons vers son centre, en haut, une autre éponge imbibée d'acide chlorhydrique. Aussitôt nous voyons les vapeurs des deux corps se rencontrer et dessiner le fuseau de la trombe par leur combinaison de chlorhydrate d'ammoniaque.

La *fig. 4* indique une autre manière de produire un fuseau de vapeur tordu en trombe et animé d'un rapide mouvement de rotation autour de son axe. Cette expérience réussit souvent dans un atelier chauffé par des réchauds assez élevés sur leurs pieds et

quand l'air est bien tranquille. Le sol, formé par de la terre humide, s'échauffe assez par rayonnement pour émettre quelques vapeurs; d'un autre côté, les produits de la combustion, s'élevant verticalement au-dessus du réchaud, donnent lieu au sein de l'air ambiant, et en raison de leur moindre densité, à une *région supé-*

Fig. 7.



*rieure* dans laquelle la *pression* est *moindre* que *celle* de cet air ambiant. On voit alors, très souvent, les vapeurs courir horizontalement sur le sol pour gagner toutes un même centre, d'où elles s'élèvent verticalement en tournant rapidement sur un diamètre de  $0^m,03$  à  $0^m,04$  et sur une hauteur qui peut atteindre  $2^m$  à  $3^m$ . L'expérience réussit plus facilement encore en plaçant dans le voisinage du réchaud un obstacle quelconque B.

Dans la cuvette séchée, nous plaçons 50 à 60 petits ballons gonflés comme ceux qui ont servi dans une expérience précédente. Le tourniquet étant mis en rotation, nous voyons tous les ballons chercher à gagner le centre en s'entre-choquant. Tous ceux qui ont réussi à gagner l'axe du tourbillon y sont soulevés sur des spires ascendantes, pour retomber à la circonférence et recommencer le même parcours. Les chemins parcourus par chaque ballon sont toujours des spires centripètes en bas, puis des spires centrifuges en haut, aussitôt que le ballon a passé au centre ou au foyer du tourbillon.

Nous mettons dans la cuvette de l'eau de savon, afin de faire voir la formation du buisson; celui-ci s'obtient directement avec l'eau en opérant à une plus grande échelle. Ainsi, dans l'expérience faite en plein air, ce buisson atteignait des proportions importantes: un panache de gouttes d'eau s'élevait au centre de la trombe; la plupart de ces gouttes retombaient tout autour, mais d'autres suivaient des spires aériennes ascendantes et montaient jusqu'au tourniquet.

Pour rendre cet effet visible dans l'expérience en petit, on insuffle de l'air dans l'eau de savon au moyen d'un tube perforé d'un grand nombre de petits trous. On voit alors le tourbillon aérien amener toutes ces bulles au centre, les y soulever, et beaucoup montent jusqu'au haut pour retomber au large. C'est ainsi qu'une trombe naturelle peut élever jusqu'aux nues de grandes quantités d'eau (et même des poissons), et cette eau retombe alors en pluie à des distances plus ou moins grandes.

Le double mouvement centripète et centrifuge est rendu sensible encore par l'expérience du gruau placé dans un cylindre vertical en verre dont le couvercle supérieur est traversé par l'axe d'un petit tourniquet fonctionnant à l'intérieur de ce cylindre.

On a commencé par donner au gruau la forme d'un cône ou melon dont la pointe est tournée vers le haut. Aussitôt qu'on met en marche le tourniquet, on aperçoit au sommet du gruau un petit tortillon formé de parcelles qui se concentrent pour prendre ensuite le mouvement centrifuge. Peu à peu le gruau se creuse, et l'on voit alors des spirales centripètes courir à sa surface; la matière gagne constamment le centre, s'y élève, puis est rejetée vers les circonférences pour revenir au centre, et ainsi de suite.

Si l'on regarde en projection verticale la figure que dessine l'ensemble des poussières de gruau mises ainsi en mouvement, on reconnaît aussitôt l'image de la nébuleuse *Haltère* du Renard, *Dumb-Bell* des Anglais.

Une expérience plus difficile à montrer en public, parce qu'elle prend un certain temps, consiste à placer au foyer du tourbillon la boule d'un thermomètre. On constate alors une élévation de température de plusieurs degrés. Les parcelles de matière qui se rendent au foyer viennent toutes s'y entre-choquer, et c'est sans doute à ces chocs répétés qu'est due l'élévation de température.

Si, pour la vitesse réduite de notre tourbillon aérien, nous obtenons un réchauffement de quelques degrés, on peut concevoir qu'il suffirait que cette vitesse atteignît une certaine grandeur pour que les matières, venant se buter au foyer, devinssent agglomérantes par fusion avec une grande élévation de température.

Des considérations trop longues à développer ici amènent à voir aussi que le corps qui prendrait ainsi naissance au foyer d'un tourbillon serait une sphère.

C'est pour faire apercevoir ce résultat qu'a été disposé l'appareil représenté par la *fig. 5*.

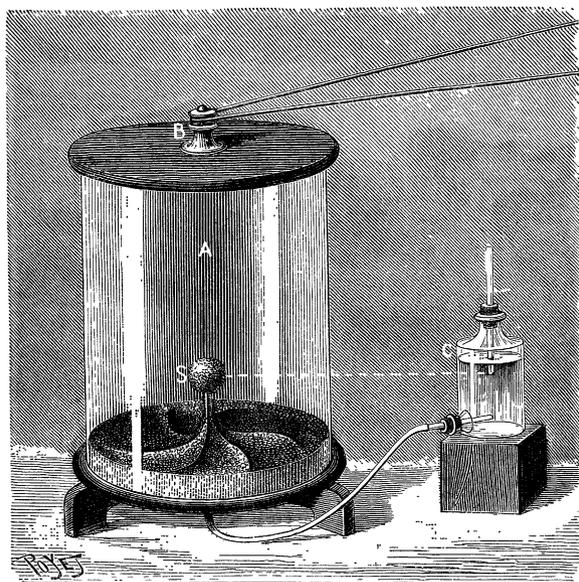
Le cylindre en verre contient un mélange de sable, plâtre impalpable et sciure de bois. Le fond inférieur est traversé par un petit tube de verre muni d'une mèche en papier buvard; ce tube est relié à une bouteille à niveau constant et contenant de l'eau gommée.

Le tourniquet fonctionnant depuis une demi-heure, les matières impalpables sont venues passer au foyer occupé par la mèche humide et s'y sont agglomérées en formant une sphère de forme aussi satisfaisante que l'ont permis la grossièreté des matériaux employés et l'imperfection de l'appareil.

Voici maintenant un tourniquet au-dessous duquel nous plaçons une planche horizontale ou un disque de verre. Sur ce disque et sur champ, nous posons une pièce de monnaie à laquelle nous imprimons avec les doigts un premier mouvement de rotation autour d'un de ses diamètres. Le tourbillon aérien continue ce mouvement, en l'accélégrant beaucoup, et la pièce reste absolument captive dans le tourbillon en laissant apercevoir la sphère qu'elle

engendre. On peut remarquer que, si la pièce était enduite d'une matière collante et si l'air du tourbillon charriait des poussières, celles-ci viendraient y adhérer et augmenteraient de plus en plus les dimensions de la sphère.

Fig. 5.



Ces diverses expériences permettent de donner une explication de la formation de la grêle que nous signalons seulement, et sur laquelle les personnes que la question pourrait intéresser trouveront quelques détails dans la brochure *Sur les tourbillons, trombes, tempêtes, etc.*, publiée par la maison Gauthier-Villars.

Nous avons retiré le gruaux de l'appareil et, après avoir mis en marche à grande vitesse un tourniquet formé simplement de deux petits carrés de fer-blanc emmanchés sur l'axe, nous jetons dans le cylindre un petit fragment de fumeron.

Aussitôt la fumée se concentre en trombe et, comme cette fumée est en excès, on voit des renflements, comme des boules, monter et descendre le long du fuseau. Bientôt, et en raison de

l'excès considérable de matière. tout l'appareil se remplit de fumée, mais on aperçoit toujours l'axe se dessiner en noir dans le milieu laiteux.

Enfin une autre expérience fort curieuse, mais visible seulement de près, consiste à introduire dans le cylindre de verre une calotte hémisphérique dans laquelle on place quelques grains de gruau contenant encore des traces de farine. Le tourniquet mis en marche, on voit les gros grains tourner sur des circonférences extérieures, mais la farine se rend au centre sur des spirales centripètes très visibles, aboutissant toutes à un petit noyau central et donnant par leur ensemble l'image exacte de la nébuleuse de la constellation des Chiens de chasse.

*Expérience du cyclone.* — Nous remarquerons d'abord qu'un cyclone ne diffère d'une trombe que par le rapport du diamètre à la hauteur ; dans une trombe, le diamètre est très petit par rapport à la hauteur, tandis que dans le cyclone le diamètre est très grand par rapport à la hauteur. Mais le mouvement de l'air est toujours le même ; cet air descend à l'extérieur pour remonter à l'intérieur ; seulement, dans le cyclone, en raison même du très grand diamètre par rapport à la hauteur, l'air commence à remonter bien avant d'avoir atteint le centre, en sorte qu'il reste au milieu un cercle d'une assez grande étendue et dans lequel on observe nettement le calme central si remarquable.

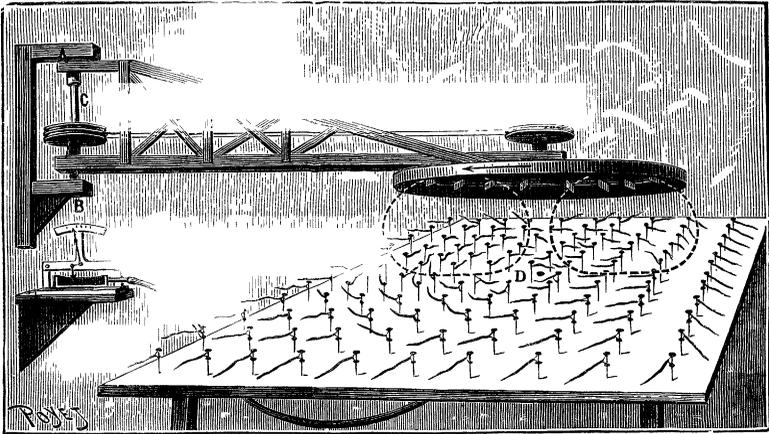
Disons aussi que le brouillard qui descend sur la mer de tous côtés laisse, comme dans la trombe, un noyau central libre de vapeur, de telle sorte qu'au moment même où le temps est noir et que la tempête règne tout autour, le milieu est clair et calme, et le soleil peut briller et éclairer ce calme central. C'est l'œil de la tempête.

Nous pouvons ajouter encore que, puisque le noyau intérieur est libre de vapeur, le degré hygrométrique y est moindre que tout autour. C'est encore là un fait bien constaté dans les cyclones naturels.

Voici l'expérience : dans une table de 2<sup>m</sup> de longueur sur 1<sup>m</sup> de largeur (*fig. 6*), sont fichées 200 épingle munies de bouts de laine rouge attachés à de petites charnières très mobiles. Ces laines

représentent autant de pavillons de navires qui flotteraient sur la mer. La table est percée à son centre d'un trou communiquant avec un manomètre. Ce serait un des navires muni de son instrument d'observation. Au-dessus de la table, à  $0^m,25$  ou  $0^m,30$ , se trouve un grand tourniquet plat de  $0^m,80$  de diamètre, muni de palettes suivant des rayons allant jusqu'au centre. Ce tourniquet est lui-même monté sur une potence de  $1^m,50$  de rayon et cette potence permet de faire passer horizontalement au-dessus de la table la tempête circulaire engendrée par la rotation de l'appareil, qu'on met en mouvement au moyen de courroies disposées pour cela.

Fig. 6.



On place d'abord le tourniquet au-dessus d'une partie quelconque de la table et on le met en rotation. Aussitôt on voit les pavillons rouges indiquer la direction du vent en chaque point. Les rangées intérieures dessinent des circonférences avec direction légèrement centripète. Les rangées extérieures au cyclone prennent une direction franchement centrifuge. Quant aux brins de laine situés immédiatement au centre, on les voit couchés inertes sur la table; ils montrent nettement le calme central.

Si l'on fait maintenant voyager lentement le cyclone au-dessus de la table, en faisant tourner la potence autour de son axe vertical, le cyclone commence à faire sentir son action au-dessus du trou percé dans la table et qui communique avec le manomètre.

Celui-ci indique une baisse atmosphérique qui s'accroît de plus en plus jusqu'à un maximum qui a lieu lorsque le centre du tourniquet est arrivé jusqu'au-dessus du trou. Puis, à mesure que l'on pousse la potence du côté opposé, la pression remonte jusqu'à reprendre sa valeur initiale.

On observe en même temps qu'autour du calme central le pavillon de droite se tient, par exemple, du nord au sud, tandis que celui de gauche occupe la direction sud-nord : à l'instant même où un pavillon passe du calme à la tempête, on constate la brusque saute de vent qui a lieu au sortir de ce calme, et ce pavillon, qui l'instant d'avant indiquait le nord, se retourne vivement vers le sud.

Pour rendre visible à distance le calme central, on place sur la table un disque de carton un peu plus grand que le tourniquet et portant 25 à 30 bouts de bougies allumées.

On amène le tourniquet au-dessus de ce disque de façon que la bougie centrale se trouve au-dessous du centre du tourniquet et l'on met celui-ci en rotation. On voit alors la tempête souffler et éteindre toutes les bougies, excepté celle du milieu qui continue à brûler tranquillement.

*Sphères tournantes.* — L'examen attentif des simples tourbillons conduit fatalement à retrouver ceux-ci autour d'une sphère tournant sur son axe polaire.

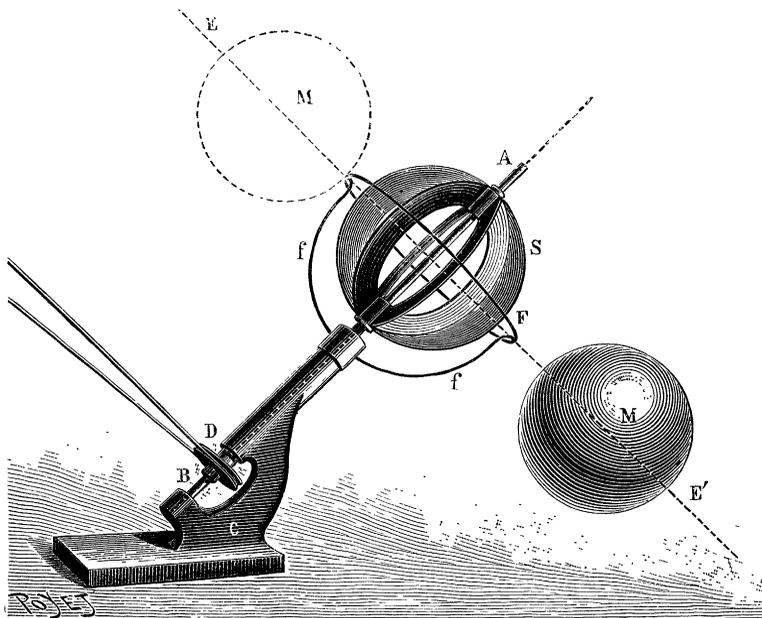
La sphère présentée est formée par des palettes placées suivant des méridiens (*fig. 7*) ; c'est un ventilateur prenant l'air dans les deux régions polaires et l'expulsant par la circonférence équatoriale. Des morceaux de papier qu'on laisse s'échapper des doigts dans cette région équatoriale sont rejetés au loin ; mais, si l'on présente au souffle équatorial des ballons de dimensions et de densités appropriées, non seulement ces ballons ne sont pas rejetés, mais ils sont, au contraire, vivement attirés par la sphère tournante et décrivent autour d'elle des orbites dans le plan de l'équateur, quelle que soit la direction de celui-ci par rapport à l'horizon.

Le mouvement communiqué à l'air par la sphère tournante se propage assez loin dans la salle, et les ballons qui peuvent traîner à terre se mettent eux-mêmes en mouvement et tournent autour d'un centre ; chaque corps placé dans l'espace influencé par la

sphère tournante se rattache à celle-ci par un tourbillon, et il est possible de rendre la chose visible par l'expérience suivante (*fig. 8*).

On place à terre la cuvette plate contenant de l'eau chaude et l'on voit alors les vapeurs se concentrer en une trombe identique à celle de la première expérience; cette trombe, partant de la cuvette, aboutit à l'équateur de la sphère; un petit ballon assez

Fig. 7.



léger, placé à la surface de l'eau, serait enlevé par cette trombe et amené sur la sphère.

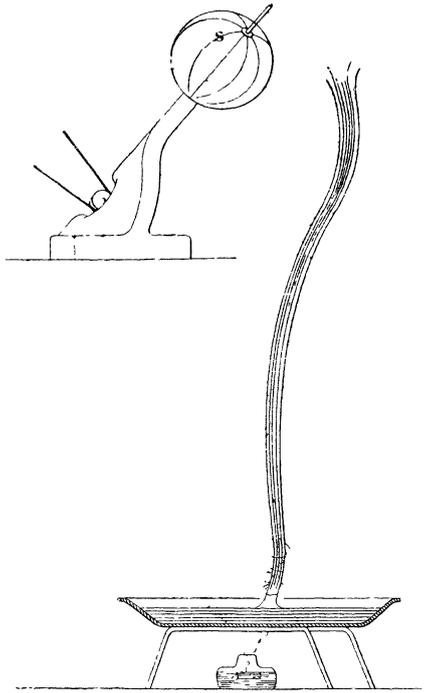
Le fuseau nébuleux aboutit à l'équateur et non au pôle, comme il semblerait naturel de le penser au premier abord.

L'expérience suivante fait voir, en effet, que c'est dans la région équatoriale que le vide tourbillonnaire est maximum, et quelques minutes de réflexion conduisent d'ailleurs à cette conclusion. Quoiqu'il en soit, nous prenons le manomètre qui a déjà servi aux expériences précédentes et, au bout du tube en caoutchouc qui s'y rattache, nous mettons un tube en cuivre dont

l'extrémité, qui va servir de sonde, est aplatie en sifflet de manière à ne plus présenter qu'une fente étroite (*fig. 9*).

En mettant cette fente près de l'un des pôles, on voit le manomètre indiquer une certaine dépression.

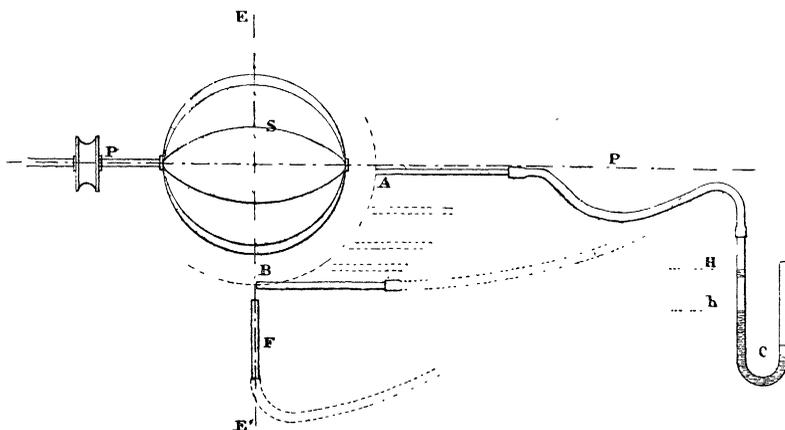
Fig. 8.



Si maintenant on porte lentement l'extrémité du tube vers l'équateur, on constate que la dépression augmente beaucoup jusqu'à un maximum qui se trouve sur l'équateur même; dans cette épreuve, la fente du tube sondeur est placée perpendiculairement au plan de l'équateur; si nous tournons à présent le tube de façon à placer la fente dans le plan même de l'équateur, l'aiguille du manomètre se meut aussitôt en sens inverse et indique un excès de pression, car maintenant c'est le souffle équatorial qui donne directement et tout seul dans le tube sondeur; les tourbillons qui existent sur les flancs de ce souffle équatorial ne peuvent plus

exercer d'influence, parce qu'ils échappent à droite et à gauche aux lèvres du tube sondeur.

Fig. 9.



Cette expérience permet de saisir pourquoi des ballons de dimensions appropriées sont attirés bien plus à l'équateur que partout ailleurs et pourquoi le fuseau de vapeur aboutissait, lui aussi, à l'équateur, au lieu de se diriger vers le pôle le plus rapproché de terre, comme on serait tenté de le penser au premier abord.