

400 Expériences

de

Physique.



Livre d' Exercices

en rapport avec la

Cassette à Expériences

de

Meiser & Mertig

Dresde.

Meissner & Merzinger, *Diagnostische*
4000 *Exer.*

23
4



1080011613

M-1547-2CEP

3001



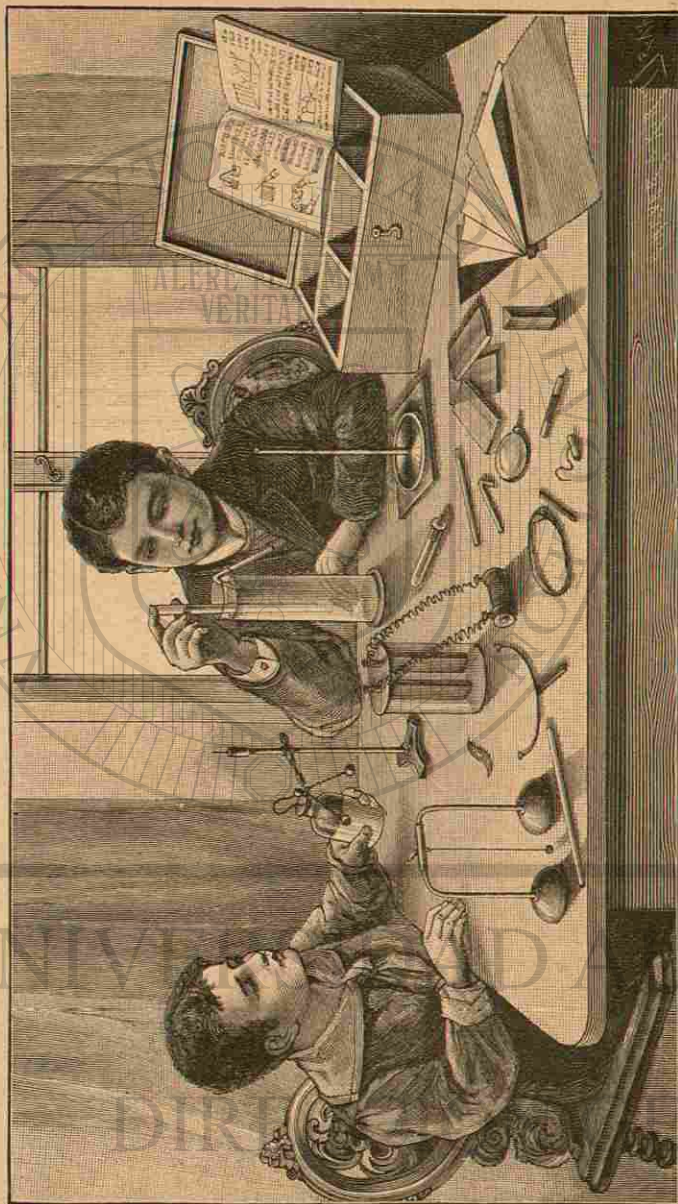
BIBLIOTECA "RODRIGO DE LLANO"
SECCION DE ESTUDIOS HISTORICOS DE LA
UNIVERSIDAD DE NUEVO LEÓN

UANL

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





Quatre cents expériences

de

Physique

Mécanique, Acoustique, Chaleur, Optique, Electricité.

Livre d'exercices

en rapport avec la

Cassette à expériences

de

Meiser & Mertig,

Constructeurs d'appareils physiques et techniques

à

Dresde.

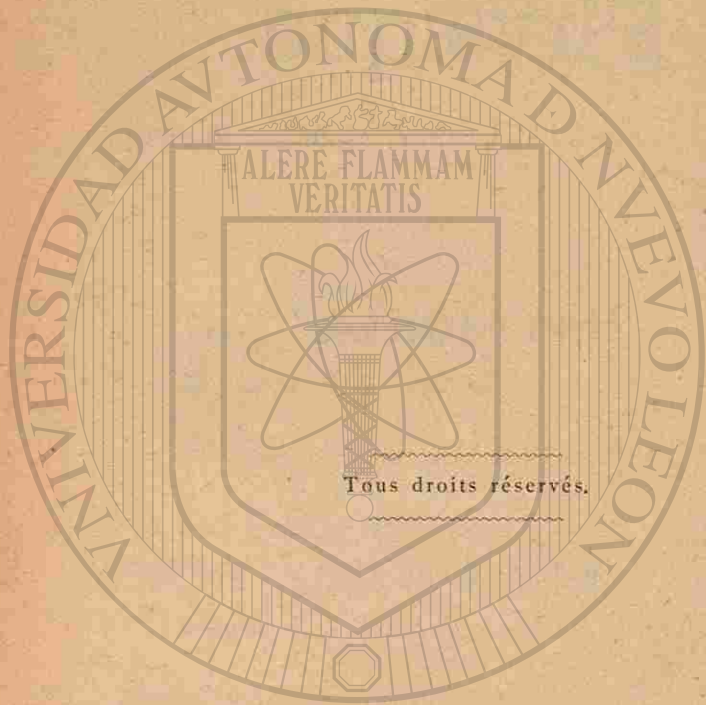
Traduit sur la 3^e édition allemande.

Chez les auteurs.

1891.

021

03

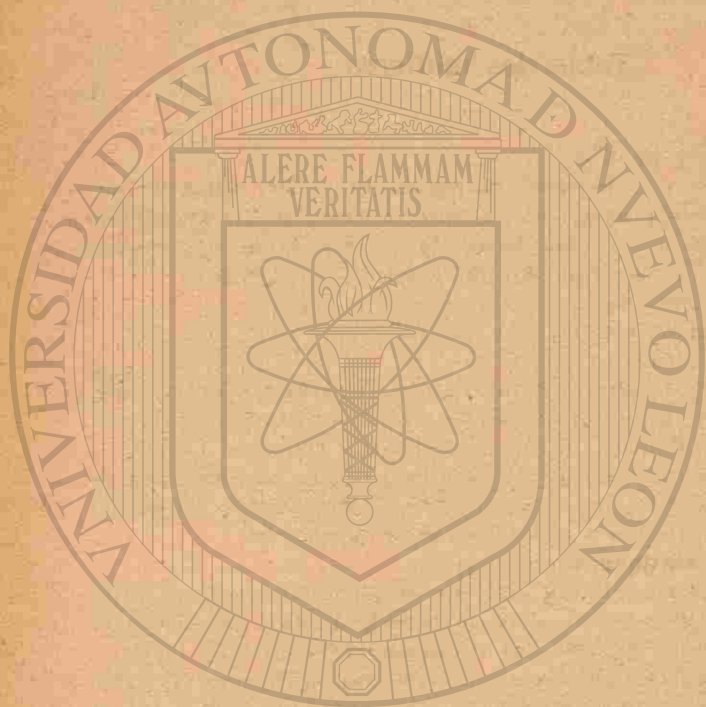


FONDO
RODRIGO DE LLANO

Table des matières.

- I. **Mécanique:** Exerc. 1—85.
L'équilibre: Ex. 1—7; la poussée des liquides: Ex. 8—20; élasticité de l'air: Ex. 21—24; travail emmagasiné, puis remis en liberté: Ex. 25—27; élasticité de l'air: Ex. 28—43; le siphon: Ex. 44—55; le ludion: Ex. 56—60; cohésion, adhésion, tension superficielle: 61—78; le pendule: Ex. 79—85.
- II. **Chaleur:** Ex. 86—104.
- III. **Acoustique:** Ex. 105—125.
- IV. **Optique:** Ex. 126—260.
Généralités: Ex. 126—132; réflexion: Ex. 133—152; réfraction: Ex. 153—161; réflexion totale: Ex. 162—169; déviation des rayons lumineux par le prisme: Ex. 170—178; la lentille: Ex. 179—198; l'objet et l'image par rapport à la lentille convergente: Ex. 199—205; l'œil et la vision: Ex. 206—220; appareils d'optique: Ex. 221—222; dispersion: Ex. 223—240; couleurs du spectre: Ex. 241—245; absorption, couleurs des corps: Ex. 246—260.
- V. **Electricité statique:** Ex. 261—354.
Attractions électriques: Ex. 261—272; bons et mauvais conducteurs de l'électricité: Ex. 273—288; les deux espèces d'électricité: Ex. 289—297; expériences avec l'électroscope: Ex. 298—304; électrisation par influence: Ex. 305—315; électricité libre et électricité dissimulé: Ex. 316—319; l'électrophore: Ex. 320—328; la bouteille de Leyde: Ex. 329—344; pouvoir des pointes: Ex. 345—354.
- VI. **Electricité dynamique ou voltaïque:** Ex. 355—400.
Magnétisme: Ex. 355—359; magnétisme terrestre: Ex. 360—366; aimantation par influence: Ex. 367—369; production de l'électricité voltaïque; bons et mauvais conducteurs; décomposition par le courant: Ex. 380—392; électromagnétisme: Ex. 391—400. — Appendice: l'induction.
- Les Exercices les plus difficiles sont marqués d'un astérisque*.

Voyez, à la fin du volume, l'errata et la table alphabétique des matières.



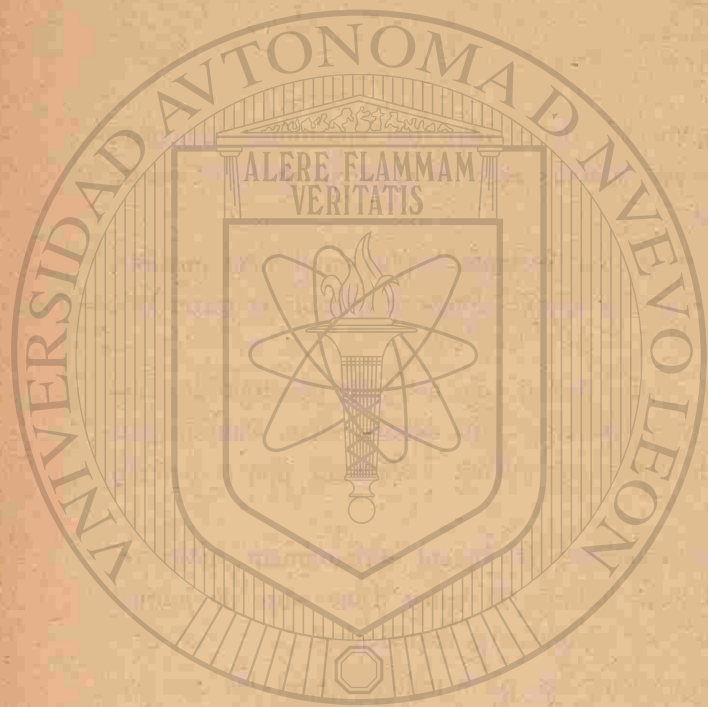
1. Les 400 expériences de ce livre ont été toutes réellement exécutées par les éditeurs avec les appareils de leur Cassette à expériences.
2. Chaque expérience doit s'exécuter le plus simplement possible. Qu'on évite donc les apprêts longs et gênants et qu'on aille droit au but.
3. Qu'on ne se rebute pas si l'on ne saisit pas tout de suite l'explication d'un Exercice. Au début, mieux vaut ne pas savoir que de mal savoir. Tout s'éclaircira peu à peu au bon moment.
4. Pour que les Exercices se fassent sérieusement, nous recommandons avec instance la tenue d'une sorte de journal où l'on inscrira les résultats des expériences.
5. Il faut environ deux ans pour traiter à fond les 400 expériences.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

Meiser & Mertig.

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS





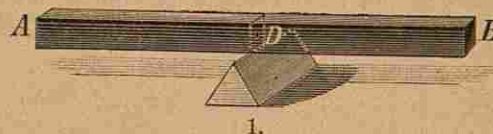
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECA

Mécanique.

L'équilibre.

1. Placez une règle sur l'arête du prisme en verre de telle manière qu'elle soit en équilibre. (V. la fig.)



— 1. Placez une règle sur l'arête du prisme en verre de telle manière qu'elle soit en équilibre. (V. la fig.)

Quand on prend la règle en main et qu'on la lâche, elle tombe. Pour nous expliquer ce fait, nous admettons que la terre attire tous les corps, et par conséquent la règle. — Tenons maintenant la règle fixe par un point voisin de l'un des bouts, par exemple en passant un fil par un trou pratiqué en ce point. Naturellement toutes les particules du bois de la règle seront encore attirées par la terre et tendront à tomber. Si le bois n'était pas assez résistant, la règle se briserait au point fixe et tomberait à terre. Mais la solidité du bois empêche la rupture et les particules de la règle peuvent seulement tomber aussi bas que le permet leur distance au point fixe: nous voyons la règle tourner autour de ce point. Donc chaque fois qu'un corps solide est fixé par un de ses points, l'attraction de la terre ne peut produire qu'un changement dans sa *position*. La position finale qu'il prend s'appelle *position d'équilibre*. Ce qui caractérise cette position, c'est que le corps y revient quand une cause extérieure quelconque l'en écarte un peu. Nous en avons un exemple bien connu dans le pendule d'une horloge. Au repos, il est dans sa position d'équilibre par rapport à son point fixe, le point de suspension. Un choc l'écarte de cette position, mais il finit toujours par y revenir.

Tenons la règle fixée par un point plus rapproché du milieu. Toutes les particules du bois tendent encore à tomber, mais nous voyons aisément qu'elles ne peuvent tomber toutes à la fois.

Si, par exemple, les particules situées à gauche du point d'appui tendent à se mouvoir dans la direction de la pesanteur ou vers le bas, les particules de droite doivent pour cela se mouvoir en sens opposé ou vers le haut. En d'autres termes, si l'attraction de la terre n'agissait que sur la partie gauche de la règle, celle-ci tournerait du côté gauche; elle tournerait du côté droit si l'attraction n'agissait que sur la partie droite. Mais l'attraction agissant sur les deux côtés à la fois, la rotation se fera dans le sens où l'impulsion est la plus forte. (Cette impulsion dépend du nombre des particules et de leur distance au point fixe.) Si l'impulsion est la même des deux côtés, aucune rotation n'est possible: la règle restera dans sa position primitive.

C'est cette position qu'il faut trouver par l'expérience dans notre Exercice. On y arrivera d'autant plus vite que la règle sera plus longue et plus pesante. Pour essayer la sensibilité de l'appareil ainsi disposé, on déposera, à la fin, de petits morceaux de papier sur l'un des côtés de la règle.

2. Placez une carte rectangulaire sur une pointe de telle manière qu'elle soit en équilibre.

Quand un corps solide est fixé par un de ses points, nous savons qu'il prend, par l'attraction de la terre, une position bien déterminée, à laquelle il revient quand une action extérieure l'en a écarté. Or, il existe pour chaque corps un point bien déterminé — et un seul — tel que le corps, fixé en ce point, se trouve en équilibre dans toute position. Ce point s'appelle *centre de gravité*.

On démontre par le calcul que tout corps, quelle que soit sa forme, a *toujours un* centre de gravité et qu'il n'en a *qu'un seul*. La position de ce point dépend de la figure et de la matière du corps. Il n'est pas nécessairement situé à l'intérieur du corps. Quand il se trouve en dehors, il faut se le représenter comme relié au corps par une tige quelconque inflexible et sans poids.

Le centre de gravité d'une sphère parfaitement homogène, c'est-à-dire dont la matière est partout la même, est le centre géométrique; seulement on ne peut fixer une sphère par son centre pour vérifier la propriété indiquée plus haut. — Le centre de gravité d'un cube est le point d'intersection de ses diagonales. — Le centre de gravité d'un cône droit à base circulaire

se trouve sur la droite qui joint le sommet au centre de la base et à une distance de ce centre égale au quart de la droite. Ainsi, si l'on pouvait tenir le cône par ce point, il serait en équilibre dans toute position, que la pointe fût en haut, en bas, ou de côté.

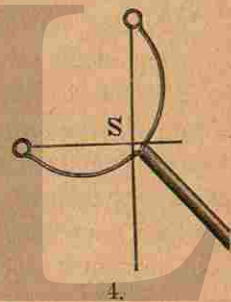
Dans notre Exercice, on trouve facilement que le centre de gravité, ou le point à soutenir, est l'intersection des diagonales du rectangle. On placera la pointe (du tourniquet électrique) sur la tige du support. On prendra une carte de la grandeur d'une carte postale.

3. Placez une carte triangulaire sur une pointe de telle manière qu'elle soit en équilibre.

Joignez deux des sommets du triangle au milieu des côtés opposés: l'intersection des deux droites ainsi menées est le point d'appui cherché.

4. Déterminez le centre de gravité de l'excitateur. (V. la fig.)

Nous suspendrons l'excitateur par un fil passé dans l'un des anneaux, et nous marquerons, par exemple par un fil, la direction de la verticale ou du fil à plomb passant par le point d'appui. En opérant de même à l'autre anneau, nous aurons deux directions dont l'intersection sera le centre de gravité cherché. Il se trouve entre les deux branches, un peu au-dessus du manche, et par conséquent en dehors du corps lui-même.



4.

5. Construisez, d'après la figure ci-contre, le modèle d'une balance dont le centre de gravité coïncide avec le point de suspension. (V. la fig.)

Enfonçons dans un bouchon une des extrémités d'une aiguille à tricoter; perpendiculairement à celle-ci, enfonçons en une seconde dont le milieu se trouve sur le prolongement de la première. En plaçant la première aiguille sur un verre à boire, nous avons le modèle d'une balance



5.

dont le centre de gravité se trouve sur l'axe de suspension. Nous remarquons, que l'aiguille oscillante — le fléau — reste en équilibre dans toute position, comme nous pouvions nous y attendre d'après les considérations précédentes sur la nature du centre de gravité. — Si maintenant nous enfonçons perpendiculairement au fléau une troisième aiguille, comme le montre la figure, de telle manière que son milieu se trouve aussi dans le prolongement de la première, notre modèle de balance aura encore son centre de gravité sur l'axe de suspension. Cette troisième aiguille représente l'aiguille ou l'index de la balance. Nous remarquerons que le fléau reste encore en équilibre dans toute position. Mais une semblable balance ne serait pas maniable: il faut que le fléau, à vide, reprenne toujours la position horizontale.

6. Construisez le modèle d'une balance dont le centre de gravité se trouve *au-dessus* de l'axe de suspension.

Nous pouvons, dans notre modèle de balance, réaliser immédiatement cette position du centre de gravité en relevant la troisième aiguille dans le bouchon jusqu'en haut. Si l'aiguille a été enfoncée bien exactement à la place voulue, tout l'ensemble sera en équilibre quand le fléau sera horizontal, mais le moindre excès de poids sur l'un des côtés du fléau le fait aussitôt trébucher de telle sorte que l'aiguille se trouve en bas. Une balance dont le centre de gravité est au-dessus de l'axe de suspension est donc impossible à employer.

7. Construisez le modèle d'une balance dont le centre de gravité soit *en dessous* de l'axe de suspension.

Il suffit pour cela d'enfoncer la troisième aiguille dans le bouchon jusqu'en bas. Si alors on écarte le fléau de sa position horizontale et qu'on l'abandonne ensuite à lui-même, il reviendra à sa position première après quelques oscillations. Une semblable balance peut donc être employée. Il faut donc, dans une balance bien construite, que le centre de gravité du fléau soit toujours verticalement en dessous de l'axe de suspension. — Pour que la balance soit maniable en pratique, il faut encore d'autres conditions qu'il serait trop long d'énumérer ici.

Arrêtons-nous cependant encore un instant à observer les oscillations du fléau. Nous pouvons déplacer son centre de

gravité en enfilant un morceau de bouchon au bas de la troisième aiguille. Après quelques tâtonnements, nous remarquerons que les oscillations deviennent d'autant plus lentes que le centre de gravité est plus voisin de l'axe. Dans une balance sensible, le fléau oscille très lentement, parce que le centre de gravité, tout en restant au-dessous de l'axe, doit en être le plus rapproché possible.

Pour terminer, indiquons encore comment on peut peser juste avec une balance fautive. Plaçons 500 gr. sur le plateau de gauche, et sur l'autre plateau assez de poids — marqués ou non — pour établir l'équilibre. (Le poids de droite sera évidemment différent de 500 gr., puisque la balance n'est pas juste.) Enlevons maintenant le poids du plateau de gauche, et mettons-y par exemple du sucre jusqu'à ce que l'équilibre se rétablisse: la quantité de sucre ainsi ajoutée pèsera juste 500 gr.

La poussée des liquides.

8. Enfoncez à moitié dans de l'eau salée le large tube ouvert, bouchez du doigt la partie inférieure, retirez le tube, enfoncez-le à moitié dans de l'eau pure, ôtez le doigt et comparez la hauteur de l'eau salée dans le tube avec le niveau de l'eau à l'extérieur.

Pour préparer l'eau salée, on remplit à moitié de sel de cuisine un verre à boire dans lequel on verse ensuite de l'eau jusqu'au bord. En remuant souvent, le sel se dissout complètement en une heure environ. L'eau salée est plus pesante que l'eau pure.

Si le tube était plein d'eau pure, le niveau à l'intérieur serait évidemment le même qu'à l'extérieur. Supposons maintenant que l'on ferme hermétiquement le bas du tube par une planchette et que l'eau dans le tube soit enlevée; la planchette sera pressée contre le bord du tube et cette pression sera égale au poids de la colonne d'eau enlevée. (C'est avec cette pression que l'eau tend à entrer dans le tube.) Si alors on verse, par en haut, de l'eau salée dans le tube, il ne faudra pas, pour équilibrer la pression environnante, en verser jusqu'au niveau que l'eau pure occupe à l'extérieur, mais moins haut, juste assez

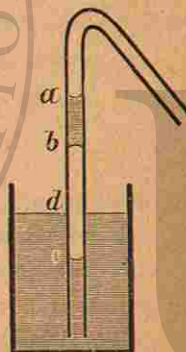
pour que le poids de la colonne d'eau salée soit égal à celui de la colonne d'eau pure qu'on a enlevée. Enlevons maintenant la planchette, cela ne changera rien à l'état de l'eau salée dans le tube. Son niveau y est donc *plus bas* que celui de l'eau pure environnante.

- 9. Enfoncez à moitié dans de l'eau pure le large tube ouvert, bouchez du doigt la partie inférieure, retirez le tube, enfoncez-le pas tout à fait à moitié dans de l'eau salée, ôtez le doigt et comparez la hauteur de l'eau pure dans le tube avec le niveau de l'eau salée à l'extérieur.

D'après les explication de l'Exercice 8, l'eau sera plus élevée dans le tube qu'à l'extérieur.

- 10.* Introduisez dans le tube coudé une petite colonne d'eau *a b*, bouchez du doigt la partie supérieure et enfoncez le tube dans l'eau. Retirez alors le doigt et observez la position finale. (V. la fig.)

Cette expérience demande une certaine adresse. La difficulté consiste à maintenir en place la colonne liquide et à déboucher le tube au moment voulu. En enfonceant le tube dans l'eau, on comprime l'air; il faut donc déboucher peu à peu le tube, car si on l'ouvrait subitement après l'avoir trop enfoncé, la colonne d'eau serait projetée en haut hors du tube. En faisant abstraction du poids de l'air, il y aura équilibre quand l'espace *c d*, c'est à-dire l'espace occupé par l'air en dessous du niveau de l'eau, sera égal à l'espace *a b*, occupé par l'eau au-dessus du niveau. Cela résulte des considérations exposées au n° 8.



10.

- 11. Tenez le tube coudé dans le grand vase rempli d'eau, et soufflez dans le tube le plus doucement possible, de manière que les bulles d'air montent dans l'eau une à une. Observez comment il faut augmenter la force du souffle à mesure que le tube plonge plus profondément dans l'eau.

En soufflant, nous expulsions du tube la colonne d'eau qui s'y trouvait: nous devons exercer sur elle exactement la même

pression que si nous voulions l'élever séparément (V. l'Exerc. 8). Cette pression doit donc être d'autant plus forte que la colonne d'eau est plus haute et, par suite, plus pesante.

- 12. Observez la différence de pression qu'il faut exercer pour enfoncez dans l'eau le tube large d'abord ouvert, puis bouché par en bas.

Quand nous enfoncez dans l'eau le tube ouvert en haut et en bas, nous n'avons à exercer *avec la main* aucune pression, car, si nous lâchons le tube, il tombe de lui-même dans l'eau. Le poids du tube suffit pour vaincre la poussée de l'eau. Mais, quand le tube est fermé par en bas, — ce qu'on peut faire avec un bouchon ou avec une rondelle de pomme de terre crue enfoncée dans le tube — nous devons déplacer une colonne d'eau d'un volume égal à celui de la partie immergée. Cette colonne s'étend sur toute la surface supérieure dont, par conséquent, la hauteur augmente. Il faut donc, pour enfoncez le tube, élever cette masse d'eau, et, pour cela, exercer une pression. (Peu importe, comme le montre le calcul, que ce soient précisément les particules liquides déplacées par le tube qui s'élèvent au-dessus de la surface ou d'autres particules quelconques.) La pression à vaincre augmente à mesure qu'on enfonce le tube plus profondément. La main n'a à vaincre qu'une partie de cette pression, l'autre étant surmontée par le poids du tube.

- 13. Adaptez un morceau de feuille d'étain à l'ouverture inférieure du tube large et enfoncez-le rapidement dans l'eau.

La feuille d'étain ne ferme qu'imparfaitement le tube, mais, si on l'enfonce rapidement, l'eau ne peut pas monter aussitôt dans le tube à la hauteur du niveau extérieur; l'eau extérieure exerce donc une pression contre la colonne d'eau située à l'intérieur et la feuille d'étain est pressée contre le bord du tube. Mais peu à peu l'eau pénètre dans le tube et finit par atteindre en dedans le même niveau qu'en dehors. A ce moment la colonne intérieure fait équilibre à la pression extérieure; au bas du tube les pressions de haut en bas et de bas en haut se détruisent, la feuille d'étain n'est plus pressée contre le bord et tombe au fond, le métal étant plus lourd que l'eau.

14. Mettre en évidence la poussée des liquides.

Supposons un verre d'eau placé sur le plateau de droite d'une balance, et sur l'autre plateau assez de poids pour l'équilibrer. Enfonçons dans l'eau le prisme de verre: il faut pour cela, nous le savons, exercer sur l'eau une pression. Cette pression est nettement accusée par la balance, car le plateau de droite s'abaisse. Mais l'eau exerce sur le prisme une pression en sens contraire: elle tend à repousser le prisme au dehors. C'est à cette pression qu'on donne le nom de *poussée*. La balance la met aussi très bien en évidence; seulement il faut pour cela y suspendre non plus le verre d'eau mais le prisme.

Enlevons donc le verre d'eau; au plateau où il se trouvait suspendons le prisme et équilibrons-le par des poids placés sur l'autre plateau. Sous le prisme, plaçons ensuite le verre d'eau et élevons-le de manière que le prisme plonge dans l'eau. A l'instant où le prisme commence à s'immerger, le plateau de droite s'élève et monte d'autant plus haut que le prisme plonge plus profondément dans l'eau. On pourrait croire que le prisme est devenu plus léger, car il faut enlever des poids à gauche pour rétablir l'équilibre, mais ce serait là une observation très superficielle. Le poids du prisme doit évidemment rester le même, qu'il se trouve dans l'eau ou dans l'air. La pression qu'il n'exerce plus sur le plateau de la balance, il l'exerce maintenant sur l'eau — comme nous l'avons vu en commençant; et la main qui tient le verre doit vaincre cette pression.

Pour observer nettement ce fait, le meilleur moyen serait de placer le verre d'eau sur le plateau de droite d'une seconde balance, et de mettre sur le plateau de gauche un poids suffisant pour établir l'équilibre à l'instant où le prisme touche la surface de l'eau. Alors si l'on enfonce davantage le prisme, le plateau de droite de la seconde balance baissera, et, pour la ramener en équilibre, il faudra mettre sur son plateau de gauche les poids qu'on aura dû enlever de la première balance.

On peut, à défaut de balance, faire plus simplement quelques-unes de ces expériences importantes. Au milieu d'un léger bâton de bois, attachons un fil que nous accrocherons à un support quelconque, par ex. au bouton d'un tiroir. A l'un des bouts du bâton, suspendons le prisme par un fil, et à l'autre bout un contrepoids suffisant pour amener le bâton dans la position horizontale. En approchant un verre d'eau en dessous

du prisme, de manière à ce que celui-ci finisse par plonger dans le verre, nous verrons s'élever le côté auquel est attaché le prisme.

15. Versez dans le tube à essais assez d'eau pour qu'il flotte verticalement.

En enfonçant dans l'eau le tube vide et le lâchant ensuite, nous le voyons remonter hors de l'eau. Nous en concluons, d'après l'Exercice 8, que le poids du tube ne suffit pas pour vaincre la poussée de l'eau quand le tube y est enfoncé plus bas. Pour le faire flotter, il faut augmenter son poids, et pour cela le moyen le plus simple est d'y verser de l'eau. Alors le tube s'enfonce jusqu'à une hauteur déterminée, et flotte droit dans l'eau. Il plonge alors juste assez pour que son poids, augmenté du poids de l'eau qu'il contient, fasse équilibre à la pression de l'eau environnante. Pour l'enfoncer davantage, il faut augmenter la pression en le poussant du doigt ou augmenter son poids en y ajoutant de l'eau. Ainsi le tube flottera toujours quand son poids total sera égal au poids de l'eau qu'il déplace. C'est la loi qui s'applique à tous les corps flottants.

16. Quand le tube à essais flotte dans l'eau pure, plongez-le dans de l'eau salée et observez de combien il s'y enfonce.

L'eau salée est plus pesante que l'eau pure, il en faut donc une moindre quantité pour faire équilibre au poids du tube: il s'y enfoncera moins profondément.

17. Placez un œuf frais d'abord dans de l'eau pure, puis dans de l'eau salée.

L'œuf s'enfonce dans l'eau pure, mais il surnage dans l'eau salée; il est donc plus lourd que l'eau pure, mais plus léger que l'eau salée.

18. Enfoncez le tube large jusqu'au fond d'un verre à moitié plein d'eau, versez par le tube de l'eau salée dans le verre et observez la disposition que prennent les deux liquides.

L'eau salée, étant plus pesante, occupe le fond du vase et fait monter en proportion l'eau pure qui est plus légère. Avec un peu d'attention, on distingue nettement la surface de séparation des deux liquides.

19. Placez un œuf frais dans le verre rempli moitié d'eau salée et moitié d'eau pure (d'après l'Exerc. 18), et observez la position de l'œuf dans les deux liquides.

D'après l'Exercice 17, l'œuf est plus léger que l'eau salée mais plus lourd que l'eau pure: il flottera donc entre les deux liquides.

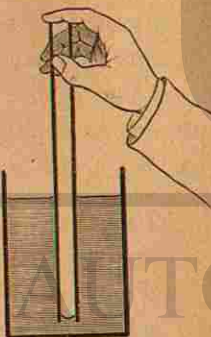
20. Bouchez d'un doigt l'ouverture inférieure du tube large et versez-y de l'eau jusque près du bord supérieur; bouchez alors le haut avec un autre doigt et observez la bulle d'air ainsi emprisonnée dans les positions du tube les plus diverses.

L'air étant plus léger que l'eau, la bulle d'air tend à occuper, dans chaque position du tube, la partie la plus élevée. Si elle se tient au milieu du tube, le haut de celui-ci est exactement horizontal.

C'est le principe du niveau d'eau.

Compressibilité ou élasticité de l'air.

21. Bouchez du doigt le haut du tube large, enfoncez-le aussi profondément que possible dans un vase plein d'eau et observez à quelle hauteur l'eau s'élève dans le tube. (V. la fig.)



En enfonçant verticalement dans l'eau le tube bouché par le haut, nous séparons de l'air environnant l'air contenu dans le tube. Si alors nous l'enfonçons davantage, l'eau qui entoure le tube tend, nous le savons, à y pénétrer. L'air, plus léger, reste toujours en haut et l'eau en dessous. Donc, pour que l'eau entre dans le tube, il faut que l'espace occupé par l'air diminue: l'air est comprimé. Mais nous voyons que cet air comprimé exerce aussi une pression, car l'eau ne s'élève pas aussi haut dans le tube qu'au dehors. Cette expérience prouve donc qu'il faut une pression pour comprimer l'air, et que réciproquement l'air comprimé tend à reprendre son volume. C'est ce qu'on exprime en disant: l'air est *élastique*.

22. Fermez du doigt la petite branche du tube coudé, plongez la grande branche dans la grande éprouvette remplie d'eau et observez à quelle hauteur l'eau monte dans le tube quand on l'enfonce à différentes profondeurs.

Le niveau de l'eau s'élève d'autant plus lentement que la profondeur devient plus grande.

23. Dans un bassin rempli d'eau, plongez un verre à boire renversé, le fond en haut, et observez à quelle hauteur l'eau s'élève dans le verre.

C'est une représentation de la cloche à plongeur dans ce qu'elle a d'essentiel. — Si l'on dispose d'un vase profond, par exemple un tonneau à eau de pluie, on sent nettement qu'on doit, pour enfoncer le verre dans l'eau, exercer une pression et que cette pression augmente tant qu'il y a encore une partie du verre hors de l'eau. Mais dès que le verre est entièrement immergé, la pression nécessaire pour l'enfoncer davantage diminue constamment, parce que l'air contenu dans le verre se comprime de plus en plus. — Nous observerons encore mieux tout ceci dans les expériences avec le ludion.

24. Dans un large bassin rempli d'eau, plongez un verre à boire renversé, le fond en haut, fermez du doigt la longue branche du tube coudé et introduisez la petite branche sous le verre jusqu'au-dessus du niveau de l'eau; écartez alors le doigt et observez ce qui se passe dans le verre.

On sait, par les Exercices précédents, que l'air est comprimé dans le verre. Quand on débouche la longue branche du tube, l'air emprisonné dans le verre est mis en communication avec l'air extérieur, exactement comme si l'on avait percé un trou à la partie supérieure. Une partie de l'air s'échappe donc par le tube et l'eau remonte dans le verre aussi haut qu'en dehors. ®

Travail emmagasiné, puis remis en liberté.

25. Fermez du doigt un bout du tube large, enfoncez le tube dans l'eau par l'autre bout aussi bas que possible, écartez vivement le doigt et observez ce qui se passe.

Quand le tube bouché par en haut est plongé dans l'eau, le liquide s'y tient beaucoup plus bas qu'à l'extérieur. Si on

le débouche rapidement, l'eau s'y précipite avec une grande vitesse, atteint bientôt le même niveau au dedans qu'au dehors et, de plus, s'élance encore notablement plus haut. C'est ici le point capital. Ensuite l'eau retombe, remonte encore et, après quelques oscillations, finit par s'arrêter. Dans cette position, — position d'équilibre — l'eau se trouve dans le tube aussi haut qu'au dehors.

Comment expliquer ce fait que l'eau monte dans le tube au-dessus du niveau extérieur?

Supposons, pour plus de simplicité, que le tube n'ait pas de poids et que ses parois soient infiniment minces. Si nous plongeons ce tube dans l'eau sans le boucher du haut, nous ne devons pour cela exercer aucune pression. Dans la position finale, l'eau aura la même hauteur en dedans qu'en dehors. Mais, pour enfoncer le tube bouché du haut, nous avons à vaincre une pression, nous devons dépenser de la force musculaire, en d'autres termes nous devons produire un travail. Quel est ce travail? C'est que nous soulevons au-dessus du niveau un poids d'eau égal à celui que déplace le tube. Dans notre expérience, ce travail est comme emmagasiné ou mis en réserve pendant que nous enfonçons le tube. Il est remis en liberté à l'instant où nous enlevons le doigt qui bouchait le tube, et c'est lui qui soulève de nouveau dans le tube une colonne d'eau au-dessus du niveau extérieur.

- 26. Bouchez du doigt la pointe du tube étiré, enfoncez-le dans l'eau, par le bout ouvert, aussi bas que possible, écartez vivement le doigt de la pointe et observez ce qui se passe.

L'eau s'élance encore dans le tube au-dessus du niveau extérieur. Mais elle doit se resserrer dans la pointe, la pression sur chacune des particules liquides augmenté et l'eau est refoulée plus haut que si le tube n'avait pas de pointe. Mais en même temps, remarquons-le bien, la masse d'eau ainsi élevée diminue.

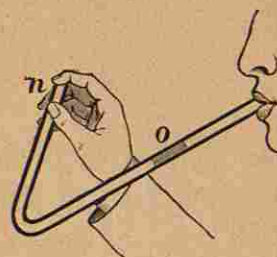
- 27. Bouchez du doigt le bout le plus large du tube étiré, enfoncez-le dans l'eau par la pointe aussi bas que possible, écartez vivement le doigt et observez ce qui se passe.

L'eau tend encore à se précipiter dans le tube avec une grande vitesse, mais la petitesse de l'ouverture qu'elle doit

traverser lui oppose un obstacle permanent. Le travail emmagasiné se dépense en partie à vaincre cette résistance: l'eau ne fait que monter lentement jusqu'au niveau extérieur.

Elasticité de l'air.

- 28. Introduisez une goutte d'eau dans le tube coudé, fermez du doigt l'un des bouts et soufflez dans le tube par l'autre: observez la goutte d'eau. (V. la fig.)



Pour introduire dans le tube une goutte d'eau, le moyen le plus simple est de le plonger dans l'eau et de l'en retirer; une goutte reste suspendue au bout et l'on peut, en inclinant le tube, amener cette goutte dans la position qu'on veut. Quand on souffle dans le tube fermé à l'autre bout, l'air compris entre la bouche et la goutte d'eau se comprime d'abord. La goutte supporte donc du côté de la bouche une pression plus grande que du côté du doigt: par suite elle se déplace et s'avance du côté du doigt. Mais par là, l'espace entre la goutte et le doigt diminuant, l'air s'y comprime et sa tension augmente en proportion. La goutte s'arrêtera quand les pressions des deux côtés seront égales.

- 29. Introduisez une goutte d'eau dans le tube coudé, fermez du doigt l'un des bouts et aspirez dans le tube par l'autre: observez la goutte d'eau.

L'aspiration raréfie l'air entre la bouche et la goutte d'eau, cet air perd donc de sa force élastique. La goutte supporte donc du côté de la bouche une pression plus faible que du côté du doigt: elle se déplace par suite et s'avance vers la bouche. Mais par là, l'espace entre la goutte et le doigt augmentant, l'air s'y raréfie aussi et perd de sa tension. La goutte arrive donc bientôt à une position où elle supporte des deux côtés la même pression, et elle s'y arrête.

30. Fermez par un piston un bout du tube large, plongez-le dans l'eau par l'autre bout, enfoncez lentement le piston et observez l'air dans le tube.

Le piston se fera d'une baguette de bois entourée de fil de laine ou d'étoupe imbibée d'huile. On peut aussi couper une tranche de pomme de terre crue, y découper un disque en y enfonçant le tube et le fixer à la baguette.

Cette expérience est analogue à celle du n° 11. On observera aussi la forme des bulles d'air qui s'élèvent à travers l'eau.

31. Fermez par des pistons les deux bouts du tube large, enfoncez-en un dans le tube et observez l'autre.

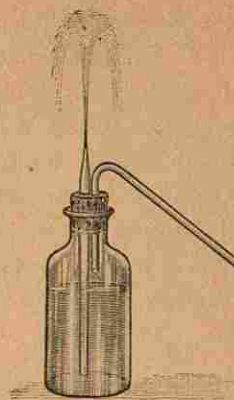
C'est la sarbacane des enfants. Quand on enfonce l'un des pistons, l'air contenu dans le tube est comprimé et sa tension augmente. La pression sur le piston libre finit par devenir assez forte pour vaincre la pression extérieure et le frottement contre les parois: le piston est lancé hors du tube avec une forte détonation.

32. Remplissez à moitié d'eau une petite bouteille, par exemple une de ces bouteilles dont les pharmaciens se servent pour leurs potions; bouchez-la avec un bouchon à travers lequel le tube en pointe passe en atteignant presque jusqu'au fond. Soufflez dans la bouteille par la pointe du tube, et observez l'effet produit.

C'est l'appareil nommé *ballon de Héron*. En soufflant dans la bouteille, on fait passer, à travers le tube et l'eau, une certaine quantité d'air comprimé qui va se joindre à l'air déjà contenu dans la bouteille. La pression de l'air à l'intérieur de la bouteille devient donc peu à peu supérieure à la pression de l'air environnant. Si alors on cesse de souffler et qu'on retire vivement de la bouche la pointe du tube, l'air comprimé dans la bouteille refoule l'eau à travers le tube et la fait jaillir à une certaine hauteur.

33. Insufflez l'air dans le ballon de Héron au moyen d'un second tube traversant le bouchon. (V. la fig.)

On emploiera le tube coudé, dont on fera arriver la petite branche dans la bouteille au-dessus de l'eau, comme le montre la figure.



33.

Le poids ou la pression de l'air.

34. Fermez par un piston l'un des bouts du tube large, enfoncez ce bout dans l'eau, soulevez le piston et observez ce qui se passe dans le tube.

Si l'on emploie comme piston un disque de pomme de terre crue, on y fera passer un fil pour le soulever. L'élévation du piston produit d'abord en dessous du piston un espace vide d'air. Il n'y a donc plus aucune pression sur la surface de l'eau dans l'intérieur du tube. Mais, à l'extérieur, l'eau supporte le poids de l'air qui la presse vers le piston: elle monte dans le tube à la suite du piston.

La couche d'air qui entoure le globe terrestre — l'atmosphère — a une épaisseur de deux à trois cents kilomètres. L'air est, il est vrai, très léger par rapport à l'eau, mais des colonnes d'une telle hauteur doivent, on le conçoit, exercer une pression considérable sur les surfaces qui les supportent. L'air presse sur la surface de la terre avec un poids égal à celui d'une couche d'eau de 10 mètres environ de hauteur. Supprimons, par la pensée, l'air que nous ne voyons pas et, à sa place, figurons nous, au-dessus de notre vase, une colonne d'eau de 10 mètres: nous verrons clairement avec quelle force l'eau est pressée vers le haut en dessous du piston. Mais nous verrons aussi que pour soulever le piston, il faut soulever en même temps cette colonne d'eau qui le recouvre. Comment donc ne sentons-nous pas du tout ce poids et levons-nous si facilement le piston? C'est que la colonne d'eau de 10 mètres presse aussi la face inférieure du piston. C'est elle qui fournit presque tout le travail nécessaire

pour soulever la colonne qui pèse sur la face supérieure. (V. les Exerc. 8 et suiv.)

Signalons encore une conséquence de tout ceci. Concevons que le tube s'allonge indéfiniment vers le haut et qu'en même temps le piston y soit élevé de plus en plus: la colonne d'eau montera-t-elle toujours à la suite du piston? Evidemment non. Quand le piston atteindra dix mètres ou un peu plus, la masse d'eau extérieure, haute elle-même de 10 mètres, ne pourra plus soulever davantage l'eau dans le tube. Le niveau serait alors le même au dedans et au dehors.

- 35. Placez sur une table une planchette de caisse à cigares, dépassant d'environ 5 centimètres le bord de la table; étendez au-dessus et sur la table une mince feuille de papier, un journal par exemple. Cherchez alors à faire basculer la planche en donnant sur la partie qui dépasse un coup fort et sec avec la main ou avec un marteau.

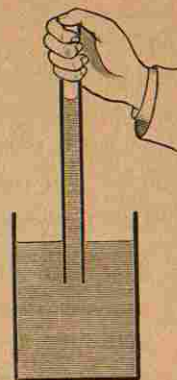
Cette expérience met en évidence d'une manière très simple la grandeur de la pression de l'air. En la faisant avec les précautions voulues, on cassera plutôt la partie extérieure de la planchette que de la faire basculer. Supposons, pour plus de simplicité, que le papier soit appliqué hermétiquement contre la table — quoique cela ne soit pas nécessaire pour réussir l'expérience. Le poids de l'air repose sur la face supérieure du papier; or, pour faire basculer la planchette, il faut soulever la feuille étendue au-dessus, c'est-à-dire soulever aussi, au premier instant du choc, la colonne d'air qui la surmonte.

- 36. Mettez une couple de gouttes d'eau sur une plaque de verre, placez par dessus une seconde plaque, pressez les deux plaques l'une contre l'autre et essayez de les séparer en soulevant la plaque supérieure.

Cette expérience est analogue à la précédente. L'eau expulse l'air d'entre les plaques. On prendra le verre bleu et la glace sans enduit.

- 37. Enfoncez dans l'eau le tube large, bouchez-le du doigt par en haut, et soulevez-le verticalement jusque près du niveau de l'eau. (V. la fig.)

L'eau ne s'écoule pas. L'explication découle de l'Exercice 34. — Avec un peu d'adresse, on peut même soulever hors de l'eau le tube rempli. On y réussit en tout cas avec le tube coudé ou avec le tube en pointe. — Comparez avec l'Exercice 66.



37.

- 38. Plongez dans l'eau un verre à boire, tournez le fond vers le haut et soulevez le verre verticalement jusque près du niveau de l'eau.

Expérience analogue à la précédente. Le fond du verre remplace le doigt. L'eau ne s'écoule que quand le bord du verre commence à s'élever au-dessus de la surface.

- 39. Plongez dans l'eau une petite bouteille et laissez-la se remplir; soulevez-la ensuite verticalement jusque près du niveau, appliquez une feuille de papier sur le goulot, et soulevez la bouteille hors de l'eau, l'ouverture en bas, en pressant du doigt le papier; retirez alors le doigt.

La feuille de papier reste attachée à l'ouverture, et l'eau ne s'écoule pas. Le papier est nécessaire pour que l'eau ne s'écoule pas par les côtés et que l'air ne pénètre pas à sa place.

- 40. Remplissez d'eau une petite bouteille, retournez-la vivement et observez comment l'eau s'écoule par saccades.

L'eau ne peut s'écouler que lorsque l'air peut arriver à la partie supérieure de la bouteille. On voit donc toujours une bulle d'air monter avant que l'eau ne s'écoule.

- 41. Plongez dans l'eau le tube étiré, la pointe en bas, bouchez-le du doigt par en haut, soulevez-le hors de l'eau et laissez écouler l'eau par intermittences, en enlevant et remplaçant le doigt à plusieurs reprises.

Quand on n'écarte pas le doigt, l'eau doit rester dans le tube, d'après l'Exercice 37. Quand on ouvre le tube, l'air peut presser d'en haut sur l'eau, et celle-ci tombe par son poids.

Quand on rebouche le tube avant que toute l'eau ne soit écoulée, l'eau ne supporte plus par en haut que la pression de la petite colonne d'air emprisonnée. L'eau continuant à couler un instant, cet air se raréfie et perd de sa tension: l'eau s'arrête donc quand cette tension devient égale à la pression de l'air extérieur diminuée du poids de la colonne d'eau restée dans le tube. C'est le principe du tâte-vin.

- 42. Bouchez du doigt le haut du tube large, plongez-le à moitié dans l'eau, débouchez-le vivement, puis rebouchez-le quand l'eau y sera montée le plus haut possible. Retirez alors le tube de l'eau autant que vous le pourrez.

Cette expérience s'explique par les Exercices 25 et 37. Si l'eau a dans le vase une hauteur de 10 centimètres, elle montera peut-être dans le tube jusqu'à 16. Cet artifice permet donc de remplir le tube à une hauteur qui dépasse celle de l'eau dans le vase. Nous nous en servirons encore plus loin (Exerc. 59).

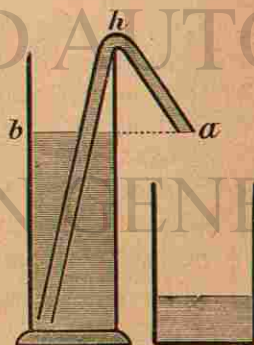
- 43. Plongez dans l'eau la grande branche du tube coudé, aspirez avec la bouche à l'autre branche, et observez ce qui se passe dans le tube.

Pendant l'aspiration, la poitrine se dilate, l'air se raréfie dans les poumons, dans la bouche et dans le tube; la pression supportée par l'eau dans le tube diminue donc et par suite la pression de l'air extérieur pousse l'eau dans le tube et l'y fait monter.

Le siphon.

- 44. Remplissez d'eau jusqu'au bord la grande éprouvette, plongez-y aussi bas que possible la grande branche du tube coudé, aspirez par la petite branche jusqu'à ce que l'eau vous arrive à la bouche. Abandonnez alors l'appareil à lui-même, et observez ce qui se passe. (V. la fig.)

L'aspiration fait arriver l'eau juste à l'ouverture de la petite branche, ouverture qui se trouve plus bas que le niveau de



44.

l'eau dans le vase. Il y a donc, suspendue au vase, une colonne d'eau de la hauteur de la petite branche et qui tend à tomber. Peut-elle le faire? L'air presse sur cette colonne par la grande branche, car il presse sur la surface de l'eau dans le vase et cette pression se transmet dans le tube; mais il presse aussi immédiatement à l'ouverture de la petite branche. Ces deux pressions, étant égales, se détruisent et par suite ne font pas obstacle à la chute de la colonne d'eau. Mais il y a aussi dans le tube, à partir du point le plus élevé *h* jusqu'au niveau, une colonne d'eau qui tend également à tomber. Si les deux colonnes d'eau tombaient réellement, il se produirait en *h* un espace vide. Les surfaces supérieures de ces colonnes ne supporteraient donc aucune pression, tandis que, nous le savons, leurs surfaces inférieures en supportent une de la part de l'air. L'air soulèverait donc ces colonnes et les réunirait de nouveau. L'eau ne peut donc pas se diviser en *h*.

Mais il peut encore arriver deux choses: les deux colonnes d'eau peuvent couler ensemble par la branche extérieure ou rentrer dans le vase; cela ne dépendra évidemment que de leur hauteur. La colonne extérieure, étant la plus haute, tombera en attirant après elle la colonne intérieure et en entraînant de plus autant d'eau que le lui permet sa hauteur. L'eau s'écoule donc par la petite branche et cela d'une manière continue, car les particules d'eau qui ont dépassé le point *h* du tube viennent combler la perte de hauteur produite par l'écoulement. Le tube coudé ainsi disposé se nomme un *siphon*.

Combien de temps durera l'écoulement? La réponse est facile si l'on remonte à la cause. L'eau s'arrêtera évidemment lorsque les colonnes d'eau intérieure et extérieure auront la même hauteur, car elles se feront alors équilibre. En d'autres termes, le siphon cessera de couler quand le niveau de l'eau dans le vase sera à la même hauteur que l'ouverture de la branche extérieure, comme le montre la figure.

Les considérations exposées au n° 34 montrent que le point *h* le plus élevé du siphon ne peut pas se trouver à plus de 10 mètres du niveau de l'eau, sans quoi le siphon cesse de couler.

- 45. Pendant que le siphon coule, modifiez la hauteur de l'orifice d'écoulement, et observez comment varie la vitesse avec laquelle l'eau s'écoule.

On peut modifier la hauteur de l'orifice en élevant, en abaissant ou en inclinant le siphon, ou aussi en inclinant le vase. L'eau s'écoule d'autant plus rapidement que l'orifice se trouve plus bas au-dessous du niveau.

- 46. Placez sous l'orifice extérieur du siphon un verre à moitié plein d'eau, et observez, pendant l'écoulement, les bulles d'air qui se produisent sous la surface de l'eau dans le verre.

Si les bulles d'air ne se produisent pas tout d'abord, il ne s'en formera pas tant que le jet depuis l'orifice jusqu'à la surface de l'eau ne présentera pas d'interruption. On les remarquera seulement quand le jet commencera à se diviser en gouttes; alors en effet il y aura derrière chaque goutte d'eau une couche d'air que la chute de la goutte entraînera sous la surface de l'eau.

- 47. Pour démontrer par l'expérience la justesse de l'explication précédente, remplissez et disposez le tube large comme dans l'Exercice 42, écartez le doigt et observez comment la colonne d'eau qui tombe entraîne avec elle une grande quantité d'air sous le niveau de l'eau.

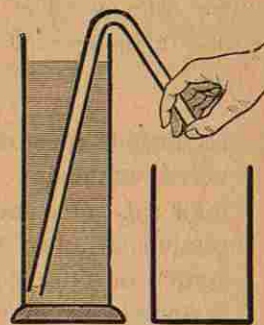
Cette expérience confirme l'explication précédente. La colonne d'eau qui se trouve au-dessus du niveau remplace ici la petite goutte d'eau de l'Exercice précédent.

- 48. Remplissez et placez le tube large comme dans l'Exercice 42, soulevez un instant le doigt et abaissez-le de nouveau: observez la pression de l'air produite sur le doigt par la colonne d'eau qui tombe.

En levant le doigt, on détermine une chute de la colonne d'eau. Au moment où l'on rebouche le tube, l'eau a acquis une certaine vitesse qu'elle ne peut pas perdre aussitôt. On dit qu'elle a de la *force vive*. Elle tombe donc encore un peu plus bas et produit ainsi une raréfaction de l'air qui la surmonte.

L'air extérieur presse donc sur le doigt plus fort que l'air contenu dans le tube. On le sent bien nettement au moment où l'on ferme le tube, le doigt est pressé contre le bord.

- 49. Déterminez l'écoulement du siphon, non par aspiration, mais en utilisant la force vive de l'eau, de la manière indiquée à l'Exercice 25. (V. la fig.)



49.

On remplira d'eau la grande éprouvette jusque près du bord. On bouchera la petite branche du siphon et on enfoncera l'autre dans l'eau le plus bas possible. En débouchant alors la petite branche, on verra l'eau monter, puis s'échapper par la petite branche. Naturellement l'écoulement continue ensuite.

- 50. Remplissez d'eau la grande éprouvette, mais pas assez haut pour pouvoir réaliser l'expérience précédente. Comment peut-on encore, dans bien des cas, déterminer l'écoulement du siphon?

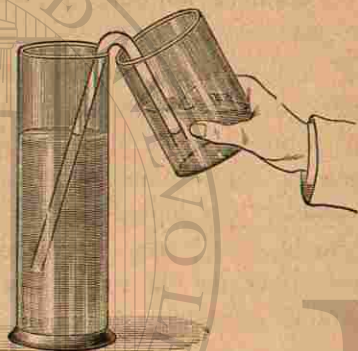
En commençant par incliner le vase et opérant ensuite comme au n° 49.

- 51. Au moyen du siphon, mais sans l'amorcer par aspiration, videz d'eau un verre autant que possible.

Quand on ne peut déterminer l'écoulement d'aucune des deux manières indiquées aux nos 49 et 50, on peut encore employer deux moyens. On peut d'abord remplir d'eau le siphon, n'importe comment, fermer l'une des ouvertures et le placer dans l'eau de manière que l'ouverture extérieure soit au-dessous du niveau. On peut alors, en inclinant le verre, le vider presque complètement. — Voici un autre moyen plus intéressant. On enfonce la grande branche dans l'eau le plus bas possible, on bouche la petite branche et l'on soulève hors de l'eau le siphon avec la colonne d'eau qui se trouve dans la grande branche. On bouche

alors celle-ci et on introduit la petite dans l'eau. On débouche enfin la grande branche: la colonne d'eau qui s'y trouve tombe et aspire après elle l'eau hors du verre, ce qui détermine l'écoulement. Si cette colonne d'eau était trop courte et ne pouvait, par suite, agir assez longtemps, il faudrait d'abord, en inclinant le tube, l'amener dans la grande branche jusque près du coude du tube et plonger alors la petite branche dans l'eau.

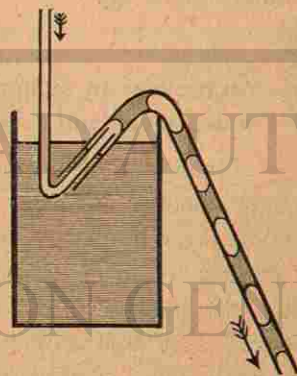
52. La grande éprouvette et le verre contenant de l'eau, mais sans être entièrement remplis, trouver un moyen simple de faire couler par le siphon l'eau du vase dans le verre et réciproquement. (V. la fig.)



On plongera la grande branche du siphon dans le grand vase et la petite dans le verre.

Si l'on soulève le verre, l'eau s'écoule dans le vase; si l'on abaisse le verre de manière que le niveau de l'eau y soit plus bas que dans le vase, l'eau retourne dans ce dernier. Si les vases ne contiennent qu'une petite quantité d'eau, il faudra les incliner.

53. Pendant que l'eau coule du verre dans la grande éprouvette (d'après l'Exercice précédent), introduisez, comme le montre la figure, le tube mince recourbé dans la petite branche du siphon, et observez comment l'eau en s'écoulant entraîne de l'air qui entre par le petit tube.



Cette expérience intéressante représente l'essentiel d'une trompe à eau.

En fermant subitement l'orifice d'écoulement, on voit le tube plein de bulles d'air. Si le tube capillaire est trop large, il pénètre trop d'air dans le siphon, la pres-

53.

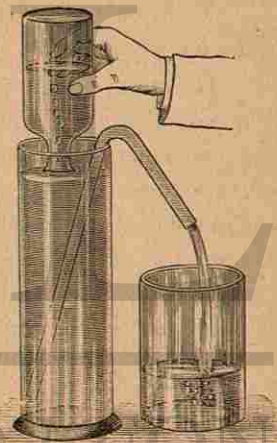
sion de l'eau décroît peu à peu et finalement l'écoulement cesse. Une petite ouverture pratiquée n'importe où dans le siphon, par exemple au point *h* de la fig. 44, produirait le même effet que l'introduction du petit tube.

54. Plongez à moitié dans l'eau le tube étiré en pointe et, au moyen du tube coudé, soufflez fortement sur la pointe du tube.

Le courant d'air passant sur la pointe entraîne une partie de l'air contenu dans le tube. L'air se raréfie aussi au-dessus de l'eau dans le tube et l'air extérieur y fait monter l'eau du vase.

Cette expérience trouve une application dans le pulvérisateur employé pour réduire en particules très fines différents liquides, par exemple certains parfums ou certains médicaments à injecter dans la gorge ou d'autres organes.

55. L'eau s'écoulant par le siphon de la grande éprouvette remplie presque jusqu'au bord, maintenir le niveau constant dans le vase au moyen d'une petite bouteille. (V. la fig.)



On a ainsi un appareil à niveau constant et, par suite, à écoulement constant. On remplira entièrement la bouteille, on la bouchera et on introduira l'ouverture un tant soit peu au-dessous du niveau de l'eau. Si alors on débouche l'ouverture, l'eau ne s'écoule pas — d'après des explications

précédentes. Mais quand le siphon fonctionne, le niveau de l'eau baisse dans le vase, met à découvert l'ouverture de la bouteille et y donne accès à l'air. Des bulles montent dans la bouteille et un égal volume d'eau s'en écoule aussi longtemps que le goulot dépasse le niveau. L'ouverture du siphon étant moindre que celle de la bouteille, l'eau de celle-ci s'écoule dans le vase en quantité égale à celle qui en sort par le siphon. Le niveau dans le vase reste donc constant, aussi longtemps qu'il reste de l'eau dans la bouteille.

55.

Le ludion ou plongeur de Descartes.

56. Préparez le plongeur pour l'expérience.
(V. la fig.)

Placé dans l'eau tel qu'il est, le flotteur surnage, une partie du verre surpassant la surface. Or pour les expériences auxquelles il doit servir, il faut qu'il flotte dans l'eau de manière qu'il soit juste sur le point de s'y enfoncer. Il faut que, par le moindre choc, il descende jusqu'au fond du vase pour remonter ensuite lentement. Il faut donc augmenter son poids. Le moyen le plus simple, c'est d'y verser de l'eau. Il suffira alors, pour le réglage exact, d'enfoncer ou de retirer un peu le bouchon.



56.

Tout cela demande de l'habitude, on doit l'acquérir par l'exercice personnel.

La chose essentielle à considérer dans le plongeur, c'est la masse d'air qu'il contient. Dans notre appareil, cette masse d'air est renfermée dans un verre à essais, fermé en bas par un bouchon que traverse un petit tube. C'est cette bulle d'air qui soutient dans l'eau le tube, le bouchon avec son disque métallique et son tube, et enfin l'eau qu'on y a versée. Elle supportera d'autant moins de poids qu'elle sera plus petite, et on peut la rendre plus petite en versant de l'eau ou en enfonçant le bouchon.

57. Donnez au plongeur un choc pour le faire descendre jusqu'au fond du vase, et pendant son mouvement observez le niveau de l'eau dans le tube intérieur.

Plus le plongeur descend, plus la couche d'eau qui l'entoure devient élevée. La bulle d'air ne peut plus, avec sa tension primitive, faire équilibre à la pression de la colonne d'eau qui agit à l'orifice du tube intérieur. L'eau monte donc dans ce tube et comprime l'air jusqu'à ce que sa pression devienne égale à celle de l'eau. Le niveau de l'eau dans le tube intérieur monte donc quand le plongeur descend et réciproquement.

58. Placez le plongeur dans la grande éprouvette remplie d'eau, fermez l'ouverture du vase avec du papier parchemin mouillé, et faites descendre le plongeur en pressant sur le papier.

Le papier parchemin doit être appliqué bien juste sur le bord et lié par quelques tours de fil. On peut le remplacer par un morceau de vessie d'animal ou par une feuille de gomme comme celles qu'on trouve dans le commerce pour fermer les sachets à glace employés dans certaines fièvres pour abaisser la température. On peut aussi prendre un morceau d'une de ces vessies en caoutchouc qui servent au jeu de ballon. Enfin, on peut aussi réussir en appliquant sur le bord du vase la paume de la main; seulement celle-ci ne ferme pas suffisamment pour qu'on puisse maintenir la pression d'une manière continue.

On voit aisément pourquoi la pression sur la membrane qui ferme le vase fait descendre le plongeur. Cette pression comprime l'air dans le vase et augmente sa tension. Cette tension agit sur la surface de l'eau et s'y propage dans toutes les directions. Elle exerce par exemple une pression sur les parois latérales et sur le fond du vase. Elle agit de même à l'ouverture du tube intérieur du ludion. L'air contenu dans ce dernier, n'ayant que sa tension primitive, doit céder à cet excès de pression. L'eau monte par le tube et comprime l'air intérieur dont la tension augmente jusqu'à faire équilibre à la pression de l'eau. Donc la bulle d'air a gardé son poids, mais elle a diminué de volume. Quant au reste de l'appareil (tubes de verre, bouchon, disque métallique et eau contenue), il n'a changé ni de poids ni de volume. Avant la pression, le flotteur étant sur le point de s'enfoncer, déplaçait un poids d'eau égal au sien (v. l'Exerc. 15). Par la pression, son volume diminue, il déplace moins d'eau; son poids restant le même, il doit donc s'enfoncer.

59. Le plongeur étant bien réglé, il peut arriver que, par un léger choc, il descende au fond, mais ne remonte plus. Comment peut-on le faire revenir à la surface?

Il faut, avant tout, rechercher pourquoi le ludion ne remonte pas. Pour enfoncer dans un tonneau plein d'eau un morceau de bois, il faut vaincre une pression qui augmente tant qu'il reste une partie du bois hors de l'eau, mais qui devient

constante dès que le bois est entièrement immergé. Supposons le morceau de bois maintenu, par un fil métallique, à une profondeur quelconque. Evidemment rien ne sera changé si nous le supposons entouré tout à coup d'un tube ouvert aux deux bouts et atteignant verticalement jusqu'à la surface de l'eau. Dès lors, et d'après ce qui a été dit à l'Exercice 8, nous voyons qu'il y a une colonne qui presse le bois de bas en haut, mais qu'il y en a aussi une qui le presse de haut en bas. Le poids de cette dernière est moindre que celui de la première, mais la différence est toujours la même, savoir le poids de l'eau déplacée par le bois. En effet, si l'on enfonce le bois davantage, l'une des colonnes gagne en hauteur ce que l'autre aura perdu.

C'est cette différence entre les pressions de bas en haut et de haut en bas que nous avons appelée la *poussée* du liquide. Nous pouvons donc dire: Un corps de poids et de volume constant, entièrement immergé dans un liquide, supporte toujours la même poussée, à quelque profondeur qu'il soit plongé. (La poussée peut toutefois varier pour de très grandes profondeurs. Au fond d'une mer profonde, l'eau est comprimée par le poids de la masse d'eau qu'elle supporte et devient plus dense. Pour enfoncez notre morceau de bois à de telles profondeurs, il faudrait en réalité augmenter peu à peu la pression, car la poussée, ou le poids de l'eau déplacée, va toujours en augmentant.)

Les choses se passent tout autrement pour un appareil disposé comme notre plongeur, quand on l'enfonce de plus en plus dans l'eau. Son poids reste, il est vrai, constant, mais son volume diminue, comme nous l'avons vu dans l'Exercice 57. Il déplace donc moins d'eau au fond qu'à la surface, et, par suite, la force qui le pousse en haut est moindre au fond. Par conséquent, si un plongeur flotte à la surface mais ne remonte pas quand il est au fond, c'est que son poids est tout au plus égal à la poussée à la surface et supérieur à la poussée au fond.

La cause qui empêche le plongeur de remonter est donc que son volume est devenu trop petit par suite d'une trop grande pression de l'eau. Pour le faire remonter, il faut diminuer cette pression. C'est ce qu'on peut réaliser en faisant écouler de l'eau hors du vase au moyen du siphon. Quand le niveau aura suffisamment baissé, le plongeur remontera à la surface, et, naturellement, il y restera quand on remplira de nouveau le vase.

Le volume du plongeur augmente aussi quand la pression de l'air extérieur diminue; on le verra parfois remonter quand on observera une forte baisse barométrique.

60. Montrez par l'expérience qu'un plongeur peut encore flotter dans l'eau salée quand il va au fond dans l'eau pure.

Comparez avec l'Exercice 19. — S'il n'y a qu'un faible excès de poids entre le plongeur et l'eau qu'il déplace, il remonte bientôt du fond quand on jette dans l'eau une cuillerée de sel de cuisine. Si l'on ne remue pas l'eau, le fond seul se charge d'abord de sel, le plongeur remonte, mais seulement jusqu'à la couche de séparation des deux liquides, où il flotte sans monter ni descendre. (V. plus loin l'Exerc. 91.)

Cohésion, Adhésion, Tension superficielle.

61. Faites monter une bulle d'air dans le tube coudé pendant qu'il plonge dans l'eau, et observez la forme et la vitesse de cette bulle.

On plongera dans l'eau la grande branche du tube coudé, puis, bouchant du doigt la petite branche, on retirera le tube hors de l'eau, et on enlèvera, par exemple avec le tube capillaire, une ou deux gouttes d'eau à l'ouverture de la grande branche, on replongera celle-ci dans l'eau à la même profondeur qu'auparavant, et on enlèvera le doigt qui bouche la petite branche. On remarquera à l'ouverture de la grande branche une bulle d'air que la poussée de l'eau fera lentement monter dans le tube. Elle a une forme analogue à celle d'un pain de sucre, la pointe en haut.

Pour que la bulle monte, il faut que l'eau placée au-dessus d'elle puisse couler à côté de l'air ascendant. On facilite ce mouvement de l'eau en tenant le tube un peu incliné. La bulle monte alors plus vite que quand le tube est vertical, et l'on distingue nettement l'eau qui coule sur la paroi inférieure du tube.

62. Faites monter une bulle d'air dans le tube coudé pendant qu'il plonge dans l'eau, soulevez et abaissez le tube pendant que la bulle monte et observez la position qu'elle prend.

On commencera comme dans l'Exercice précédent. — La rapidité avec laquelle monte la bulle dépend de la poussée de l'eau et de la vitesse avec laquelle peut s'écouler l'eau qui surmonte la bulle dans le tube. Ces deux grandeurs ne varient presque pas par le mouvement du tube ouvert aux deux bouts, l'ascension de la bulle ne variera guère non plus. Elle restera donc à égale distance du niveau, quand même on soulèverait rapidement le tube. — Nous avons dit que les conditions de l'expérience ne varient *presque pas*, parce que en soulevant par exemple le tube, on retarde un peu l'écoulement de l'eau. On verra pourquoi dans l'Exercice suivant.

63. Placez sur une table un verre d'eau au milieu duquel vous déposerez un petit bâton de bois, faites tourner le verre sur lui-même avec la main et observez les changements de position du bâton.

Comme le bâtonnet s'attache aisément aux parois, à cause de la courbure de la surface, on peut le remplacer par de la sciure de bois etc. qu'on fait flotter sur l'eau. Le corps flottant ne sert ici qu'à indiquer le mouvement de l'eau. On voit de suite que l'eau tourne beaucoup plus lentement que le verre. En effet, elle n'est mise en mouvement *que* par le frottement exercé sur elle par les parois du verre.

Plus d'un qui croyait cette expérience trop simple pour valoir la peine d'être essayée, s'était imaginé que le flotteur et l'eau tourneraient aussi vite que le verre. Si l'on n'y réfléchit pas, on considère aisément le verre d'eau comme un seul tout, tandis qu'en réalité ce sont deux corps différents reliés ensemble.

64. Graissez légèrement une moitié de la plaque de verre bleu, plongez successivement les deux moitiés dans l'eau et observez sur laquelle l'eau reste attachée quand on retire la plaque.

Cette expérience fera comprendre ce qu'on entend par adhésion et par cohésion. Qu'est-ce que la *cohésion*? Tout corps se compose d'un nombre immense de petites parcelles (atomes); l'œil

et les autres sens ne perçoivent que des amas de ces parcelles. Pour que leur réunion forme un corps solide, liquide ou gazeux, il faut qu'elles soient reliées entre elles par une attraction réciproque. Cette attraction s'appelle cohésion. La cohésion est donc l'attraction des particules de matière qui est nécessaire pour former un corps. Ainsi pour diviser un corps en deux autres en le coupant ou en le sciant, il faut vaincre la cohésion des particules à la surface de séparation. Pour enfoncer dans l'eau une plaque de verre, il faut vaincre non seulement la poussée de l'eau, mais aussi la cohésion des parcelles liquides que le verre déplace.

Qu'est-ce que *l'adhésion*? C'est l'attraction réciproque des plus petites parcelles de matière appartenant à des corps différents. C'est par l'adhésion que l'encre tient au papier et l'eau à la surface du verre.

Entre la cohésion et l'adhésion, il n'y a donc pas grande différence. La cohésion s'exerce entre les particules d'un seul et même corps, l'adhésion, entre les particules de deux corps différents.

En exécutant l'expérience 64, nous trouverons que l'eau n'adhère pas à la couche de graisse mais seulement au verre net. Dans le premier cas, la cohésion des particules de l'eau entre elles l'emporte sur leur adhésion aux particules de la graisse étendue sur le verre. Dans le second cas, l'adhésion entre les particules de l'eau et celles du verre l'emporte sur la cohésion des particules de l'eau entre elles. Pendant l'immersion, la couche d'eau en contact avec la plaque y adhère plus fortement qu'à la couche d'eau avoisinante; c'est pour cela qu'elle se sépare du reste du liquide.

65. En vidant lentement un verre plein d'eau, on est souvent gêné par le liquide qui découle le long de la paroi extérieure. Comment peut-on remédier à cet inconvénient? ®

Pour pouvoir chercher le remède, il faut savoir d'abord pourquoi, lorsqu'on incline le verre, l'eau coule au-dessus du bord, puis se sépare du verre. Cette séparation exige une pression pour vaincre l'adhésion de l'eau pour le verre. Or lors qu'on incline lentement le verre, le mouvement de l'eau étant lent, la pression avec laquelle l'eau tend à dépasser le bord est moindre que l'adhésion: par suite, l'eau coule le long du verre. Pour l'en empêcher,

il faut ou bien diminuer l'adhésion de l'eau pour le bord du vase, ou bien la vaincre d'une manière convenable. D'après l'Exercice 64, on obtiendra le premier résultat en enduisant de graisse le bord du verre. On pourra alors verser librement l'eau en mince filet.

On peut encore vaincre l'adhésion entre l'eau et la paroi par l'artifice suivant. Si, près du bord du vase, nous plaçons le tube coudé dans la direction que doit prendre le jet, l'eau paraît avoir le choix de couler le long du tube ou le long de la paroi. Mais l'adhésion étant la même des deux côtés, la direction primitive du mouvement de l'eau l'emportera; au lieu de dévier, elle suivra le tube et s'écoulera librement au bout. Nous pouvons donc verser librement l'eau hors du verre en mince filet en plaçant un tube de verre près du bord dans la direction de l'écoulement.

66. Remplissez d'eau salée le tube large, comme dans l'Exercice 42, soulevez-le entièrement hors de l'eau et observez si l'eau reste dans le tube.

Avec l'eau pure, l'expérience demande beaucoup d'adresse: l'eau s'écoule et l'air pénètre à sa place. Mais la cohésion de l'eau salée et l'adhésion entre elle et le verre est plus forte que pour l'eau pure; aussi l'eau salée ne s'écoule-t-elle pas aussi aisément. Nous verrons qu'elle reste dans le tube tant qu'il reste bouché par en haut.

67. Enfoncez à moitié dans l'eau salée le tube large ouvert aux deux bouts, bouchez-le du doigt par le haut, soulevez-le hors du liquide, et observez si celui-ci reste dans le tube.

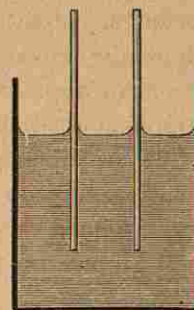
L'eau salée reste dans le tube, par la raison donnée dans l'Exercice 66.

68. Essayez de remplir à moitié d'eau salée le tube large, comme dans l'Exercice 67, mais de manière que le liquide occupe le haut du tube.

L'essai ne réussira pas, l'eau salée s'écoulera aussitôt le long du tube. Pour que les expériences 66 et 67 réussissent, il doit donc y avoir une autre raison que celle donnée au n° 66. Les deux expériences ont cela de commun que le liquide soutenu arrive jusqu'au bord inférieur du tube: la résistance à l'écou-

ment doit donc y être plus grande qu'au milieu du tube. — C'est ce que vont expliquer les Exercices suivants.

69. Sur un imprimé quelconque, un journal par exemple, placez un verre d'eau; tenez verticalement le tube large au-dessus de l'eau, et plaçant l'œil à l'ouverture du tube, regardez les caractères à travers le tube et l'eau. Enfoncez alors le tube dans l'eau et observez comment les lettres changent de grandeur et de place. (V. la fig.)

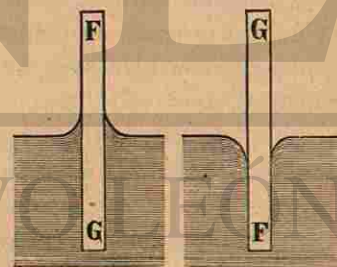


69.

Dans la première position, les caractères se présentent à peu près comme ils le font d'ordinaire à cette distance de l'œil. Mais au moment où le tube touche l'eau, nous voyons les caractères diminuer et se déformer. La seule chose qui ait pu changer, c'est la surface de l'eau dans le tube; nous devons donc conclure de notre observation que cette surface s'est modifiée quand le tube a touché l'eau. En y regardant de plus près, nous remarquerons en effet que l'eau dans le tube se tient plus haut près des parois qu'au milieu.

La fig. 69 montre la position de l'eau dans le tube et au dehors.

70. Graissez légèrement une moitié de la plaque de verre bleu, enfoncez successivement les deux moitiés dans l'eau et observez la courbure de la surface de l'eau en contact avec le verre. (V. la fig.)



70.

On observera que la surface de l'eau est courbée, comme le montre la figure. Cette courbure qui se produit toujours à la surface d'un liquide au contact d'un solide est la position d'équilibre que prennent les particules liquides sous l'action de la cohésion et de l'adhésion. C'est ce qu'on appelle les phénomènes de *tension superficielle*.

La courbure de la surface dépend donc de la prédominance éventuelle de la cohésion ou de l'adhésion, suivant ce qui a

été dit au n° 64. Si l'adhésion l'emporte, comme lorsqu'on plonge dans l'eau le verre propre G (fig. 70), le liquide s'élève autour de la plaque; si c'est la cohésion qui prévaut, comme lorsqu'on enfonce le verre gras F, l'eau est déprimée autour de la plaque au-dessous de son niveau. D'après le n° 64, on reconnaît aisément si c'est l'adhésion qui prédomine, car alors le solide est *mouillé*. On peut donc dire: quand un corps solide est mouillé par un liquide et qu'on l'y plonge, le liquide s'élève autour du solide. Un exemple encore pour éclaircir tout ceci. Quand on enfonce une plaque de verre dans du mercure bien propre, on ne voit aucune goutte de mercure adhérer à la plaque lorsqu'on la retire. Nous en concluons qu'on observera une dépression du mercure autour de la plaque quand on l'y enfoncera. Si l'on enroulait la plaque sur elle-même en forme de tube, le mercure se tiendrait plus haut au milieu du tube que près de la paroi. C'est ce qu'on voit dans le tube des baromètres.

71. Faites flotter sur l'eau une fine aiguille.

Avec un peu d'adresse, on peut déposer simplement l'aiguille sur l'eau avec la main. Pour réussir plus sûrement, on peut placer sur l'eau une bande de papier brouillard de la longueur de l'aiguille et sur cette bande l'aiguille elle-même. Le papier s'imprègne d'eau, tombe au fond: on l'aidera un peu au besoin — et l'aiguille surnage seule. Elle flotte plus facilement si elle est un peu grasse; au contraire elle ne flotte pas si, avant l'expérience, on la lave avec un peu d'alcool qui la dégraisse complètement.

Ce qui fait flotter l'aiguille, c'est la tension superficielle de l'eau qui l'entoure. Elle se trouve dans une sorte de sillon, plus bas que le niveau de l'eau. Le volume de ce sillon est plus grand que celui de l'aiguille parce que des deux côtés de l'aiguille l'eau se tient à une certaine distance. L'aiguille flottera donc si elle a le même poids ou un poids moindre que celui de l'eau déplacée par ce sillon.

72. Enfoncez dans l'eau le tube coudé, et observez si l'eau s'y tient à l'intérieur à la même hauteur qu'au dehors.

L'eau se tient plus haut à l'intérieur. Cela résulte immédiatement des explications données au n° 70.

73. Plongez dans l'eau le tube coudé du siphon et le tube capillaire, et observez de combien l'eau s'élève dans chacun.

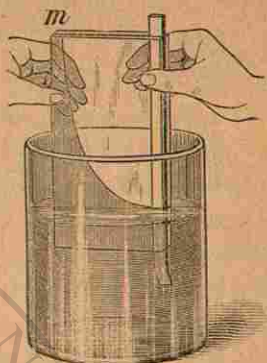
L'eau monte plus haut dans le tube le plus étroit. Les tubes très étroits sont nommés tubes *capillaires*, et les phénomènes qui s'y produisent, phénomènes de *capillarité*. — D'après le n° 70, le liquide ne monte pas toujours dans les tubes capillaires. L'eau, par exemple, y serait déprimée si le tube était graissé ou huilé à l'intérieur. Il en sera de même si l'on plonge le tube capillaire dans du mercure.

La mèche des lampes est une application bien connue des phénomènes capillaires. Le tissu de la mèche présente dans ses mailles une foule de petits intervalles qui se remplissent d'huile et la font ainsi monter du réservoir au bord supérieur de la mèche. Dans la nature, peu de phénomènes sont aussi fréquents que les phénomènes capillaires. Les tissus qui constituent les organes de tous les animaux et de toutes les plantes sont disposés à cet effet. Néanmoins la théorie de la capillarité est encore loin d'être bien claire et complète.

74. Enfoncez successivement le tube fin dans différents liquides et observez à quelle hauteur chaque liquide s'y élève.

On marquera les hauteurs avec un petit morceau de bouchon, enfilé sur le tube. On peut prendre l'eau salée, le pétrole, l'alcool, etc. Les différents liquides montent à des hauteurs différentes. — Un autre fait qui se rapporte à ceci, c'est que l'huile de colza monte dans une mèche presque aussi haut que le pétrole, et que cependant on ne peut pas la brûler dans les lampes à pétrole. C'est que ce dernier monte plus vite dans la mèche; l'huile grasse monte plus lentement et n'arrive pas assez vite en haut pour remplacer l'huile consommée par la combustion.

75. Placez une bande étroite de papier entre deux plaques de verre, sur leur longueur; serrez bien les plaques entre les mains, enfoncez-les un peu dans l'eau, et observez comment l'eau monte entre les plaques par la capillarité. (V. la fig.)



75.

On prendra le verre bleu et la glace sans enduit. Sur leur longueur, les plaques se touchent d'un côté; de l'autre, elles sont séparées par la bande de papier. Leur distance varie donc d'un bord à l'autre. Or, d'après le n° 73, l'eau s'élève d'autant moins que les plaques sont plus écartées. La surface de l'eau entre les plaques prend donc la forme d'une courbe, comme l'indique la figure.

76. Plongez dans l'eau la grande branche du tube capillaire, soulevez-le lentement dehors et observez tout ce qui se produit.

Le tube étant plongé dans l'eau, l'eau y est plus élevée qu'au dehors. Quand on le soulève lentement, la colonne d'eau retombe dans le tube d'une hauteur correspondante. A un instant donné, le bout du tube touche le niveau de l'eau. Si l'on continue à soulever lentement le tube, il faut que la colonne d'eau dans le tube s'écoule entièrement ou qu'elle s'arrache de la masse liquide pour rester dans le tube. C'est ce dernier cas qui se réalise. L'adhésion entre la colonne d'eau et la paroi du tube est plus grande que la cohésion des particules liquides situées à l'orifice. De fait, nous voyons que pour arracher de la masse environnante la colonne d'eau restée dans le tube, il faut un certain effort de traction, car, avant la séparation, l'eau qui se trouve en dessous de l'orifice est soulevée avec le tube: il se forme une petite éminence au-dessus du niveau.

77. Faites fonctionner comme siphon le tube capillaire en faisant couler l'eau, d'abord par la grande branche, puis par la petite, et observez la position finale.

On remplira le vase jusqu'au bord. Quand l'eau s'écoule par la grande branche, elle en sort d'abord en mince filet, mais,

si elle s'écoule par la petite, elle sort dès le commencement par gouttes. Dans ce dernier cas, l'orifice d'écoulement est à une moindre hauteur du niveau du liquide, c'est une moindre colonne d'eau qui tend à tomber. Mais à cette chute s'oppose le frottement de l'eau dans le siphon, et ce frottement est tellement grand que l'eau ne peut s'écouler que lentement, c'est-à-dire goutte à goutte. — Finalement et quelle que soit la branche plongée dans l'eau, le siphon cesse de couler. En observant de près cette position finale, on verra que l'eau dans le vase est encore au-dessus de l'orifice d'écoulement. La pression dans le siphon est alors égale au frottement; en d'autres termes, l'adhésion de la colonne d'eau dans le tube fait équilibre à la colonne d'eau suspendue à l'extérieur.

78. Humectez d'eau une feuille de papier sur l'une de ses faces seulement, et observez ce qui se produit.

Quand on mouille le papier, l'eau en pénètre les pores; de là, une extension du papier. Mais comme cette extension ne se produit que sur une face, la bande de papier doit se courber, le côté sec à l'intérieur. L'expérience démontre la justesse de cette déduction.

Le Pendule.

79. Suspendez un poids par un fil, mettez-le en branle par un choc, et observez ce qui se passe.

On prendra un fil d'un mètre de long environ, on l'attachera à un clou enfoncé par exemple dans le linteau d'une porte. L'appareil ainsi disposé se nomme un *pendule*. Quand on donne au poids un choc, il se meut d'abord en avant dans la direction du choc, mais bientôt son mouvement se ralentit, il s'arrête un instant, revient dans la direction opposée, repasse au point de départ (position d'équilibre), son mouvement se ralentit de nouveau, il s'arrête un instant, reprend son chemin et repasse à la position primitive. Alors le pendule a fait une *oscillation complète*. Il recommence ensuite la même série de mouvements.

Cependant on remarque que l'arc décrit à chaque oscillation diminue toujours, et qu'enfin le pendule s'arrête. Si rien ne s'opposait au mouvement du pendule, il oscillerait indéfiniment.

Ce qui s'y oppose, c'est d'abord le frottement du poids contre l'air pendant son mouvement et ensuite le frottement produit au point fixe par le mode même de suspension du pendule.

A chaque mouvement, le poids décrit un arc de cercle. Il se trouve donc tantôt plus haut tantôt plus bas par rapport à la terre. D'où ce fait important: Par suite du choc reçu, le pendule monte d'abord, il retombe jusqu'au point de départ, remonte, retombe, et ainsi de suite.

Le nombre de degrés contenu dans l'arc décrit à chaque oscillation s'appelle *l'amplitude* de cette oscillation.

80. Déterminez par l'expérience la durée de l'oscillation d'un pendule.

La *durée d'oscillation* est le temps employé par le pendule pour faire une oscillation complète. Or, fait important, un pendule emploie le même temps pour chacune de ses oscillations, quand celles-ci ne sont pas trop grandes. L'Exercice 79 nous a montré que les oscillations deviennent de plus en plus petites, mais ce serait une grande erreur de croire que les plus petites se font dans un temps relativement plus court. Les petites durent à peu près autant que les grandes, on dit que les oscillations sont *isochrones*, lorsqu'elles ne sont pas trop grandes.

Un observateur attentif s'en convaincra aisément sans grands préparatifs. Il remarquera du moins que la durée d'oscillation ne varie pas aussi considérablement que l'écart ou l'excursion du pendule.

Déterminons maintenant par l'expérience la durée d'une oscillation de notre pendule. Ce serait un procédé fort inexact que de vouloir le faire en n'observant qu'une seule oscillation. Remarquons plutôt que si une oscillation dure 3 secondes, 60 oscillations dureront 60×3 ou 180 secondes, puisque toutes les oscillations ont la même durée. Si par exemple nous laissons le pendule osciller pendant 5 minutes ou 300 secondes (mesurées avec une montre), et que nous comptons pendant ce temps 150 oscillations complètes, nous en concluons que chaque oscillation dure $\frac{300}{150} = 2$ secondes.

Pendant une oscillation complète, le pendule va et vient sur le même arc de cercle, il parcourt donc deux fois le même chemin. Donc, pour le parcourir une fois, notre pendule emploie

exactement une seconde. Un tel pendule s'appelle pendule à secondes ou *pendule qui bat la seconde*. La longueur du fil (longueur du pendule) doit être pour cela un peu moindre qu'un mètre.

81. Déterminez par l'expérience la durée d'oscillation d'un certain nombre de pendules de même longueur mais de poids différent.

On attachera successivement au fil différents poids, et l'on déterminera chaque fois la durée d'oscillation du pendule ainsi formé. On trouvera cette durée sensiblement la même pour tous. C'est une application d'un fait plus général, savoir que, abstraction faite de la résistance de l'air, tous les corps tombent également vite, quelque différent que soit leur poids, par exemple une boule de plomb et une boule de bois de même grandeur.

Nous comprenons maintenant pourquoi notre série d'observations ne donne pas toujours exactement la même durée d'oscillation. On sait qu'une plume tombe à terre plus lentement qu'une pierre. C'est que le poids de la plume peut moins facilement que celui de la pierre vaincre le frottement qui se produit contre l'air pendant la chute. C'est pour cela aussi qu'il ne faut pas, dans nos essais, prendre un pendule d'un poids trop faible.

82. Déterminez par l'expérience la durée d'oscillation d'un certain nombre de pendules de longueurs différentes.

D'après l'Exercice 81, le poids n'a pas d'influence sur la durée d'oscillation. On emploiera donc, pour plus de facilité, le même poids pour tous les pendules, en ne faisant varier que la longueur du fil. L'expérience nous apprend que la durée d'oscillation augmente, ou que le pendule oscille plus lentement, à mesure que la longueur augmente.

83. Faites exécuter de grandes oscillations à un pendule d'un grand poids au moyen d'une suite de chocs. Dans quelle position du poids oscillant les chocs produiront-ils le plus d'effet?

Un pendule qui se prête très bien à cette expérience, c'est l'escarpolette. Nous trouverons par l'observation que les chocs produisent leur plus grand effet lorsque le poids du pendule se

trouve dans sa plus haute position, par conséquent à l'instant où il s'arrête pour rebrousser chemin. Dans ce cas, la force du choc se communique presque tout entière au poids du pendule.

Les sonneurs de cloches le savent bien. En tirant ou poussant une seule fois des cloches pesantes, il est impossible de les faire osciller assez fort pour que le battant vienne frapper la paroi; il faut pour cela tirer sur la corde à plusieurs reprises. Le sonneur exerce cette traction quand la cloche atteint sa position la plus élevée.

84. Donnez au pendule pendant qu'il oscille un choc oblique à la direction des oscillations, et observez l'effet de ce choc.

Le poids décrit une courbe qui est un cercle dans un cas particulier. Si le poids a la forme d'une boule et est suspendu à un long fil de fer très fin, nous ne verrons, dans une demi-obscurité, qu'une boule décrivant une ligne fermée dans des temps égaux. On voit aisément quelle analogie ce mouvement présente avec celui des planètes. La terre aussi décrit dans l'espace une courbe fermée dans des temps égaux. En réalité, ce sont des lois analogues qui régissent les mouvements de notre pendule et ceux des corps célestes.

85. Entre les deux montants d'une porte, tendez un fil à égale hauteur des deux côtés, et fixez un pendule en chacun des deux points qui divisent le fil en 3 parties égales. Observez ces deux pendules lorsqu'on met, par un choc, l'un des deux en oscillations.

Supposons que la baie de la porte ait 2^m,30 de hauteur et 1^m,5 de largeur. Enfonçons un clou dans chaque montant à 1^m,50 du plancher et reions ces clous par un fil. A 35 centimètres de chaque montant, attachons au fil transversal deux autres fils longs de 40 centimètres, et suspendons à chacun un poids de 200 grammes. (Ce sont les mesures des pendules qui ont servi aux éditeurs dans leurs expériences.)

Nous ne pouvons malheureusement pas expliquer dans ce livre les observations extrêmement nombreuses auxquelles se prête cet appareil. Nous ne parlons de cette expérience qu'à cause des nombreuses réflexions qu'elle peut suggérer. Lorsque, par un choc, on a fait osciller le pendule de droite, on voit bientôt

celui de gauche se mettre à osciller de lui-même. A mesure que l'amplitude des oscillations du premier diminue, l'amplitude de celles du second augmente. Il vient un instant où le pendule de droite est complètement en repos et où celui de gauche oscille avec une amplitude égale à celle qu'avait d'abord le premier pendule. Alors se produit le phénomène inverse: les oscillations du pendule de gauche diminuent peu à peu tandis que celui de droite recommence à exécuter des oscillations de grandeur toujours croissante. Enfin le pendule de gauche s'arrête un instant, et celui de droite oscille aussi fort qu'au début de l'expérience. A partir de ce moment tout se reproduit dans le même ordre. Il est très instructif de répéter l'expérience avec des pendules de longueurs et de poids différents. Si les longueurs et les poids sont bien choisis, il faut, dans toutes les combinaisons, que les deux pendules soient, chacun à son tour, en repos complet.

Chaleur.

86. Remplissez d'eau une petite bouteille (à potions), fermez-la par un bouchon traversé par le tube en pointe plongeant dans le liquide. Observez le niveau de l'eau dans le tube lorsqu'on tient assez longtemps la bouteille dans la main ou qu'on la plonge dans l'eau chaude.

Nous voyons l'eau monter dans le tube. La seule cause possible de ce fait c'est que l'eau se dilate par la chaleur. Il en est de même des autres liquides, du mercure, par exemple. On utilise cette propriété dans les instruments destinés à mesurer les températures ou thermomètres ordinaires.

87. Remplissez à moitié d'eau une petite bouteille, fermez-la par un bouchon traversé par le tube en pointe plongeant dans le liquide. Observez le niveau de l'eau dans le tube lorsqu'on tient assez longtemps la bouteille dans la main ou qu'on la plonge dans l'eau chaude.

L'eau monte dans le tube plus vite que dans l'Exercice 86. Nous en concluons que la force élastique de l'air augmente aussi par la chaleur.

trouve dans sa plus haute position, par conséquent à l'instant où il s'arrête pour rebrousser chemin. Dans ce cas, la force du choc se communique presque tout entière au poids du pendule.

Les sonneurs de cloches le savent bien. En tirant ou poussant une seule fois des cloches pesantes, il est impossible de les faire osciller assez fort pour que le battant vienne frapper la paroi; il faut pour cela tirer sur la corde à plusieurs reprises. Le sonneur exerce cette traction quand la cloche atteint sa position la plus élevée.

84. Donnez au pendule pendant qu'il oscille un choc oblique à la direction des oscillations, et observez l'effet de ce choc.

Le poids décrit une courbe qui est un cercle dans un cas particulier. Si le poids a la forme d'une boule et est suspendu à un long fil de fer très fin, nous ne verrons, dans une demi-obscurité, qu'une boule décrivant une ligne fermée dans des temps égaux. On voit aisément quelle analogie ce mouvement présente avec celui des planètes. La terre aussi décrit dans l'espace une courbe fermée dans des temps égaux. En réalité, ce sont des lois analogues qui régissent les mouvements de notre pendule et ceux des corps célestes.

85. Entre les deux montants d'une porte, tendez un fil à égale hauteur des deux côtés, et fixez un pendule en chacun des deux points qui divisent le fil en 3 parties égales. Observez ces deux pendules lorsqu'on met, par un choc, l'un des deux en oscillations.

Supposons que la baie de la porte ait 2^m,30 de hauteur et 1^m,5 de largeur. Enfonçons un clou dans chaque montant à 1^m,50 du plancher et reions ces clous par un fil. A 35 centimètres de chaque montant, attachons au fil transversal deux autres fils longs de 40 centimètres, et suspendons à chacun un poids de 200 grammes. (Ce sont les mesures des pendules qui ont servi aux éditeurs dans leurs expériences.)

Nous ne pouvons malheureusement pas expliquer dans ce livre les observations extrêmement nombreuses auxquelles se prête cet appareil. Nous ne parlons de cette expérience qu'à cause des nombreuses réflexions qu'elle peut suggérer. Lorsque, par un choc, on a fait osciller le pendule de droite, on voit bientôt

celui de gauche se mettre à osciller de lui-même. A mesure que l'amplitude des oscillations du premier diminue, l'amplitude de celles du second augmente. Il vient un instant où le pendule de droite est complètement en repos et où celui de gauche oscille avec une amplitude égale à celle qu'avait d'abord le premier pendule. Alors se produit le phénomène inverse: les oscillations du pendule de gauche diminuent peu à peu tandis que celui de droite recommence à exécuter des oscillations de grandeur toujours croissante. Enfin le pendule de gauche s'arrête un instant, et celui de droite oscille aussi fort qu'au début de l'expérience. A partir de ce moment tout se reproduit dans le même ordre. Il est très instructif de répéter l'expérience avec des pendules de longueurs et de poids différents. Si les longueurs et les poids sont bien choisis, il faut, dans toutes les combinaisons, que les deux pendules soient, chacun à son tour, en repos complet.

Chaleur.

86. Remplissez d'eau une petite bouteille (à potions), fermez-la par un bouchon traversé par le tube en pointe plongeant dans le liquide. Observez le niveau de l'eau dans le tube lorsqu'on tient assez longtemps la bouteille dans la main ou qu'on la plonge dans l'eau chaude.

Nous voyons l'eau monter dans le tube. La seule cause possible de ce fait c'est que l'eau se dilate par la chaleur. Il en est de même des autres liquides, du mercure, par exemple. On utilise cette propriété dans les instruments destinés à mesurer les températures ou thermomètres ordinaires.

87. Remplissez à moitié d'eau une petite bouteille, fermez-la par un bouchon traversé par le tube en pointe plongeant dans le liquide. Observez le niveau de l'eau dans le tube lorsqu'on tient assez longtemps la bouteille dans la main ou qu'on la plonge dans l'eau chaude.

L'eau monte dans le tube plus vite que dans l'Exercice 86. Nous en concluons que la force élastique de l'air augmente aussi par la chaleur.

88. Mettez seulement un peu d'eau dans la bouteille, fermez-la par un bouchon traversé par le tube en pointe plongeant dans le liquide. Observez le niveau de l'eau dans le tube lorsqu'on tient la bouteille en main.

Ici, c'est surtout l'air qui s'échauffe; l'eau monte dans le tube plus vite que dans l'Exercice 87.

89. Fermez la bouteille vide par un bouchon traversé par le tube en pointe, le bas du tube contenant une goutte d'eau. Observez cette goutte lorsqu'on tient assez longtemps la bouteille dans la main.

Cette goutte d'eau agit comme un piston séparant de l'air extérieur l'air contenu dans la bouteille. Quand la chaleur de la main échauffe le verre de la bouteille et par suite l'air intérieur, la tension de cet air augmente, il se dilate et soulève la goutte d'eau. Dans les deux expériences précédentes, l'air de la bouteille devait, pour se dilater, soulever d'abord la colonne d'air qui presse sur l'eau par l'ouverture supérieure du tube, et de plus la colonne d'eau contenue dans le tube, colonne dont la longueur augmente tant que l'air se dilate. Ici, au contraire, il n'a à soulever que le poids de l'air extérieur et celui de la goutte d'eau. Il a donc à soulever, non plus un poids toujours croissant, mais un poids toujours le même. Aussi, quand on chauffe la bouteille, la goutte d'eau monte dans le tube encore plus vite que le sommet de la colonne liquide dans l'Exercice 88.

90. Fermez une petite bouteille vide avec un bouchon traversé par le tube en pointe, et tenez-la assez longtemps entourée de la main. Plongez alors dans l'eau la pointe du tube en ne tenant plus la bouteille que par deux doigts, et observez ce qui se passe à la partie inférieure du tube.

Nous avons déjà pu observer, dans les Exercices précédents, que, lorsqu'on cesse de tenir la bouteille à la main, le niveau de l'eau dans le tube revient peu à peu à sa première position; c'est un signe que la tension de l'air intérieur reprend sa valeur primitive.

Semblablement ici, la chaleur de la main a échauffé l'air contenu dans la bouteille et augmenté sa tension. Quand on plonge le tube dans l'eau, elle y monte à une hauteur telle que la tension de l'air intérieur fasse équilibre à la tension de l'air

extérieur augmentée du poids d'une petite colonne d'eau. Mais lorsqu'on ne tient plus la bouteille que par deux doigts, l'air intérieur se refroidit, sa tension diminue, et en même temps la pression sur l'eau contenue dans le tube. Cette eau doit donc remonter pour rétablir l'équilibre. De fait, on voit l'eau monter lentement dans le tube.

91. Le plongeur étant disposé comme dans l'Exercice 59 et descendu au fond du vase par un léger choc, faites-le remonter par l'action de la chaleur.

Nous avons vu jusqu'ici deux moyens de faire remonter le plongeur. Dans l'Exercice 59, on augmente le volume de la bulle d'air en diminuant la pression de l'eau. Dans l'Exercice 60, on diminue un peu la bulle d'air, mais pas assez pour que la poussée plus forte de l'eau salée ne puisse pas soulever l'appareil. La chaleur ne peut évidemment produire qu'un effet analogue à l'Exercice 59. Versons dans le vase une ou deux cuillerées d'eau chaude, l'eau du vase s'échauffera elle-même et échauffera ensuite l'air contenu dans le plongeur. Bientôt la bulle sera assez grande pour déterminer l'ascension.

Cette expérience montre quelle faible quantité de chaleur suffit pour soulever le plongeur. Cela nous explique bien des points restés obscurs dans les expériences précédentes. Ainsi, dans le réglage exact du plongeur, une des difficultés vient de ce qu'il faut nécessairement le prendre en main, ce qui échauffe la bulle d'air contenue à l'intérieur.

92. Placez une carte en équilibre sur une pointe, d'après l'Exercice 2, et tenez à une certaine distance une allumette enflammée en dessous de l'un des coins de la carte.

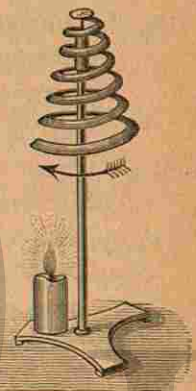
On verra la carte se soulever à ce coin. C'est l'effet du courant d'air produit par l'allumette enflammée. — L'air échauffé se dilate, il devient ainsi plus léger que l'air environnant et éprouve, de la part de ce dernier, une poussée analogue à celle du bois entouré d'eau. L'air chaud est soulevé par l'air froid, vient frapper le coin de la carte et le soulève.

Le petit courant d'air que nous venons d'observer nous aide à nous représenter comment se produit le vent. La terre échauffée remplace dans ce cas l'allumette. Quand les rayons du soleil ont, dans la zone torride par exemple, échauffé une

grande surface de terrain, la couche d'air qui surmonte cette région s'échauffe aussi par rayonnement de la chaleur terrestre. Par suite, cet air s'élève et s'écoule vers des contrées plus froides. L'air froid de ces contrées est alors poussé, sous forme de vent, à la surface de la terre vers les régions chaudes.

93. Mettre en mouvement continu un corps solide au moyen d'un courant d'air produit par la chaleur. (V. la fig.)

La disposition la plus simple pour résoudre ce problème est le jouet connu sous le nom de *serpent*. Découpez en spirale une bande de papier, placez le milieu sur la pointe du support, et placez en dessous une bougie allumée: il se produit un courant d'air qui imprime au papier un mouvement de rotation. L'air presse la surface inclinée du papier, surface qui ne peut faire équilibre à cette pression, et qui, par suite, tend à s'élever dans la direction du courant. Mais, comme le poids du papier s'y oppose, la bande prend le seul mouvement qui lui soit possible, c'est-à-dire le mouvement de rotation.



93.

On peut résoudre le même problème d'une autre façon. Percez dans un bouchon un trou aussi large que possible, collez sur l'une des ouvertures un morceau de papier, et adaptez au bouchon des ailettes disposées obliquement (en carton mince ou en plumes d'oiseau). Placez ce moulinet sur une pointe, et mettez le tout au-dessus d'un poêle allumé: la rotation se produit aussitôt.

94. Ouvrez une porte entre deux chambres de température différente, dans l'ouverture promenez lentement une lumière de haut en bas, et observez la direction des courants accusée par la déviation de la flamme.

Quand la bougie ou l'allumette enflammée se trouve en haut de la porte, la flamme s'incline vers la chambre la plus froide; quand la lumière se trouve à peu près au milieu de la

hauteur, la flamme s'élève sans être déviée: enfin, quand elle se trouve en bas, elle s'incline vers la chambre la plus chaude.

L'air chaud, étant plus léger que l'air froid, se porte dans une chambre vers le plafond. Là il se refroidit, c'est-à-dire qu'il cède au plafond une partie de sa chaleur; il retombe alors le long des murs vers le plancher. Il s'y réchauffe, remonte vers le plafond et ainsi de suite en parcourant toujours un circuit fermé.

95. Remplissez d'eau le petit tube à essais, tenez-le incliné, chauffez-le par en bas et observez le courant qui s'établit dans l'eau.

Pour mieux observer les courants, on prendra de l'eau de savon. — On observe que l'eau parcourt un circuit fermé. A la place échauffée, les particules liquides s'élèvent, montent le long de la paroi supérieure du tube, elles se refroidissent et redescendent le long de la paroi inférieure jusqu'à la partie échauffée. Il faut chauffer faiblement, par exemple en tenant une allumette enflammée à 2 centimètres environ au-dessous du tube.

96. Remplissez d'eau le petit tube à essais, tenez-le incliné chauffez-le au milieu et observez le courant qui s'établit dans l'eau.

A l'endroit chauffé s'élève une colonne d'eau qui se divise en deux branches. L'une prend le mouvement observé dans l'exercice 95, l'autre descend le long de la paroi supérieure du tube et est ensuite refoulée d'en bas jusqu'à la place chauffée.

97. Placez sur une table un bout de bougie allumée, au-dessus un verre renversé; observez l'effet produit.

La flamme s'éteint au bout d'un temps très court. Pourquoi cela? Le verre sépare la flamme du milieu qui l'entourait; il y a donc dans ce milieu quelque chose qui est nécessaire à l'entretien de la flamme: c'est l'oxygène de l'air. La flamme s'éteint parce que l'accès de l'oxygène est intercepté.

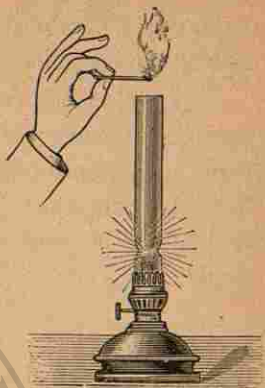
98. Au-dessus de la cheminée d'une lampe à pétrole allumée, tenez un mince bâton de bois sec, et observez ce qui se produit. (V. la fig.)

Nous voyons s'élever au-dessus du bois une sorte de gaz bleuâtre, qui, dans de certaines conditions, s'allume et brûle avec une flamme éclairante. — Le bois se compose principalement d'eau, de carbone et de divers hydrocarbures (combinaisons d'hydrogène et de carbone).

L'eau est réduite en vapeur par la chaleur qui règne au-dessus de la cheminée de la lampe, les hydrocarbures se dégagent sous forme de gaz, et le carbone forme le résidu noir que laisse le bâton: la chaleur de la lampe ne suffit pas pour réduire le carbone en vapeur. Les hydrocarbures échauffés tendent à se combiner à l'oxygène, et, comme il s'en trouve suffisamment dans l'air, cette combinaison peut se réaliser.

Toute combustion vive est une combinaison de l'oxygène avec un gaz dégagé par le corps qui brûle. Elle produit de la chaleur et de la lumière. Pour qu'elle s'accomplisse, il faut que le gaz et l'oxygène atteignent une température déterminée, la température de combustion. Peu importe d'ailleurs la manière dont cette température est produite. Elle peut l'être par une lentille (V. l'Optique), par un éclat de bois enflammé, par un fer rouge, par une forte pression, par un frottement, etc. C'est par la chaleur due au frottement que les sauvages se procurent du feu, et que nous-mêmes nous enflammons nos allumettes. En résumé donc, la flamme chaude et éclairante que nous remarquons dans la combustion du bois résulte de la combustion de deux gaz — le mélange des hydrocarbures du bois et l'oxygène.

C'est à des procédés analogues que reviennent presque tous nos moyens de produire de la lumière ou de la chaleur. Le corps que l'on veut faire brûler doit toujours préalablement être amené à l'état gazeux. — Dans un poêle, le bois qu'on allume d'abord fait dégager de la première couche de charbon différents gaz qui brûlent et produisent par là assez de chaleur pour amener de proche en proche le reste du charbon à l'état gazeux. De là cette règle



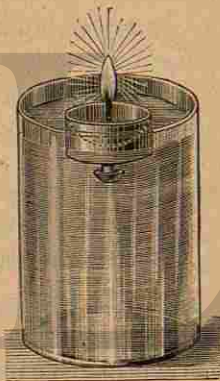
98.

pour conduire un feu économiquement: Placez tout en avant du foyer le charbon frais, rejetez à l'arrière le charbon déjà incandescent. Ainsi les gaz que la chaleur du poêle fait dégager du charbon frais devront passer au-dessus du charbon incandescent et s'y brûleront complètement si l'afflux de l'air est suffisant. Si l'on n'observe pas cette précaution, une grande partie des gaz dégagés s'échappe sans brûler par la cheminée.

Dans les usines à gaz, on chauffe le charbon au rouge en vase clos (distillation sèche); on purifie alors les gaz qui se dégagent et, au moyen de tuyaux, on les conduit, sous le nom de gaz d'éclairage, jusqu'aux appareils où se fait la combustion. Il faut observer encore ici cette règle: N'ouvrez pas tellement le robinet que la combustion ne puisse se faire d'une manière complètement tranquille. Autrement une partie du gaz échappe à la combustion.

99. Faites flotter sur l'eau un bout de bougie stéarique, allumez-le, et observez ce qui se produit. (V. la fig.)

Pour faire flotter la bougie, il faut la lester en y enfonçant un clou dans le bas. Quand la mèche est allumée, la matière grasse qui l'entoure fond et monte dans la mèche. Elle s'échauffe de plus en plus, passe à l'état gazeux et est ainsi préparée à brûler, c'est-à-dire à se combiner avec l'oxygène de l'air. Ordinairement, la matière fond assez régulièrement à partir du milieu. Mais ici le bord extérieur de la bougie est constamment refroidi par l'eau; il ne peut donc fondre, et, après quelque temps, il se produit dans la bougie une grande cavité comme le montre la figure. On peut ensuite observer d'autres phénomènes, qui s'expliquent par ce qui a été dit dans la Mécanique.



99.

100. Allumez la mèche d'une lampe à pétrole sans y mettre la cheminée, et observez ce qui se produit.

La mèche de la lampe sert à une double fin. D'abord ses mailles fines font monter le pétrole du réservoir jusqu'au bord supérieur de la mèche, ensuite, en divisant ainsi l'huile en fines gouttelettes, elle facilite l'accès de l'air. En allumant la mèche,

nous observons une forte production de fumée ou de suie. Si par exemple on tient à une distance suffisante au-dessus de la flamme une assiette blanche, il s'y dépose bientôt une forte couche de suie.

La suie est un mélange de carbone pur et de combinaisons riches en carbone. Pour empêcher la flamme de fumer, il faut brûler complètement ces matières qui composent la suie. C'est ce qui se fait sans disposition spéciale dans la flamme d'une bougie ou du gaz. Mais, par suite de la composition chimique du pétrole, sa flamme est si riche en parcelles de carbone que celles-ci ne trouvent pas, dans la flamme libre, la chaleur nécessaire pour brûler complètement. Il faut donc élever la température de la flamme. C'est ce qu'on fait en l'entourant d'une cheminée en verre, qui empêche la flamme de se refroidir au contact de l'air environnant.

De nombreuses expériences ont prouvé que la flamme des hydrocarbures ne doit ses propriétés éclairantes qu'aux parcelles de carbone en ignition qu'elle contient. Ce pouvoir éclairant atteint son maximum quand les parcelles de carbone deviennent *incandescentes*, c'est-à-dire blanches de feu.

101. Qu'observe-t-on quand on met la cheminée sur une lampe à pétrole dont la mèche est allumée, mais assez fortement baissée?

La flamme qui donnait auparavant une lumière rougeâtre et un fort dégagement de suie, prend maintenant un aspect clair, blanc-jaunâtre, et devient plus petite. — Auparavant les parcelles de carbone devenaient seulement rouges de feu, maintenant elles atteignent à l'incandescence. L'étranglement de la cheminée arrête un peu la flamme, la combustion y gagne le temps nécessaire pour se faire plus complètement.

102. Allumez une lampe à pétrole, mettez-y la cheminée, et disposez la mèche juste assez haut pour qu'elle soit sur le point de fumer, mais sans le faire encore. Observez comment la flamme varie après quelque temps.

On voit la flamme grandir et commencer à fumer fortement. Cela vient de ce que la cheminée s'échauffe peu à peu, ce qui active l'arrivée de l'air ou de l'oxygène. Tout le monde a remarqué qu'il ne sert à rien de monter la mèche

au commencement, quand la cheminée est encore froide: l'afflux de l'air est alors faible et ne peut alimenter qu'une petite flamme.

Donc en allumant la lampe, on ne montera guère la mèche, et on ne réglera la flamme que lorsque la cheminée sera échauffée.

Comment faut-il éteindre une lampe à pétrole? — Quand une lampe à pétrole a brûlé assez longtemps, le réservoir lui-même s'échauffe passablement, et l'huile y dégage des gaz qui, mêlés à l'air, détonent facilement par l'approche d'une flamme. Si, comme on le fait souvent, on souffle par en haut dans la lampe, la flamme peut être refoulée dans le réservoir à travers quelque vide laissé par la mèche et amener ainsi une explosion. — Il faut donc, avant d'éteindre, baisser la mèche le plus possible et éteindre la petite flamme qui reste en soufflant en bas de la cheminée par les trous qui laissent passer l'air.

Pourquoi un fort courant d'air éteint-il une flamme? L'air plus froid refroidit la flamme jusqu'en dessous de la température de combustion (V. l'Exercice 98). Si l'air était aussi chaud que la flamme, celle-ci ne s'éteindrait pas, à moins que le courant n'eût une telle vitesse que l'oxygène contenu dans l'air n'eût pas le temps de se combiner chimiquement avec le gaz à brûler.

103. Roulez une feuille de papier en entonnoir, versez-y de l'eau, et tenez le tout au-dessus de la flamme d'une bougie.

L'eau se met bientôt à bouillir. — Un examen superficiel aurait pu faire croire que la flamme allait allumer le papier et faire ainsi écouler l'eau. Mais comme, en réalité, ce qui peut brûler, ce n'est pas le papier solide, mais les hydrocarbures gazeux contenus dans le papier, et que ceux-ci ne se dégagent qu'à haute température, on doit se dire que le papier ne peut pas atteindre immédiatement cette haute température, parce que le contact de l'eau lui enlève la plus grande partie de la chaleur qu'il reçoit. (R)

104. Portez dans une chambre chaude une plaque de verre froide, puis dans une chambre froide une plaque de verre chaude, et observez l'eau qui se dépose sur la plaque.

Cette expérience nous explique la formation de la pluie. — La chaleur des rayons solaires fait évaporer l'eau, c'est-à-dire

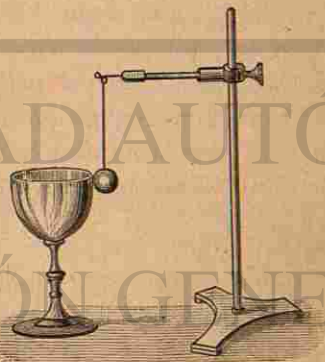
que les parcelles d'eau qui sont à la surface de la terre se transforment en un gaz que nous appelons *vapeur d'eau*. La vapeur est transparente comme l'air. On appelle souvent vapeur d'eau des nuages blancs, mais cette expression est inexacte. Les nuages se composent de petites vésicules ou bulles d'eau, mais d'eau à l'état liquide. La vapeur d'eau, étant invisible, se mêle donc à l'air sans être aperçue. — Maintenant, une réflexion: c'est la chaleur qui a changé l'eau liquide en vapeur d'eau; donc, une soustraction de chaleur ou un refroidissement de la vapeur doit reformer de l'eau liquide. Donc, en refroidissant suffisamment l'air qui est toujours mêlé de vapeur d'eau, nous devons toujours observer la formation d'eau liquide. C'est ce qui se produit dans la nature sous forme de rosée, de brouillard ou de pluie. Ainsi, pour qu'il pleuve il faut absolument qu'il se produise un refroidissement de l'air chargé de vapeur d'eau.

En faisant notre expérience, nous remarquerons donc aussi que l'eau se dépose sur la plaque froide, dans la chambre chaude, quand le verre a suffisamment refroidi l'air environnant. Ceux qui portent lunettes ne le savent que trop.

Acoustique.

105. Suspendez au support par un fil la petite boule métallique du carillon, placez à côté un verre à vin de manière que la boule puisse facilement en toucher le bord. Frappez sur le verre avec une baguette et observez la boule. (V. la fig.)

Au moindre choc, la boule est écartée du verre. Nous en concluons que ce choc a mis le verre en mouvement. Et ce mouvement ne peut pas être un



105.

déplacement du verre, car le même fait se produit quand on tient le verre ferme par le pied.

106. Répétez l'expérience précédente, mais avec le verre rempli d'eau.

La boule est repoussée plus loin que dans l'Exercice 105.

107. Touchez la boule, suspendue librement, avec une cloche qui résonne, et observez les trépidations de la boule.

On sait qu'en frappant une cloche (du carillon) avec une baguette, on entend un son. Ce son est produit par les vibrations de la cloche, vibrations qui se propagent dans l'air et arrivent jusqu'à l'oreille. Notre expérience montre qu'effectivement la cloche vibre, puisque la boule métallique, au contact de la cloche, se meut d'une manière bien visible. Notre oreille percevait ces vibrations comme son, notre œil les perçoit comme mouvements.

108. Mettez en vibration un verre à vin en promenant légèrement la pointe du doigt mouillée tout autour du bord.

La pointe du doigt mouillée adhère au bord du verre; il faut donc exercer une traction pour entretenir le mouvement, car il faut continuellement arracher du verre la pointe du doigt. C'est ce travail qui met le verre en vibrations, et notre oreille les perçoit comme son. L'expérience réussit d'autant mieux que le verre est plus mince. Il suffit d'une très faible pression.

109. Répétez l'expérience précédente, mais avec le verre rempli d'eau, et observez de plus la surface de l'eau.

On voit l'eau se rider à la surface, il s'y produit comme de petites vagues. Ces vagues sont produites par les vibrations du verre que nous voyons ainsi de l'œil en même temps que nous les entendons avec l'oreille.

110. Frappez sur un verre à vin avec une baguette, et observez comment le son change quand on verse peu à peu de l'eau dans le verre.

Le mieux est de remplir le verre au moyen du siphon. L'introduction de l'eau gêne le verre dans ses mouvements, il

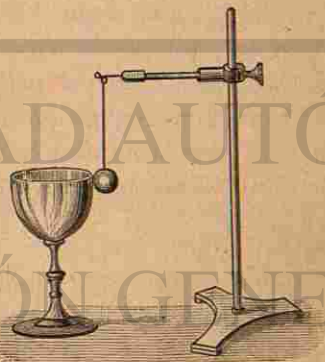
que les parcelles d'eau qui sont à la surface de la terre se transforment en un gaz que nous appelons *vapeur d'eau*. La vapeur est transparente comme l'air. On appelle souvent vapeur d'eau des nuages blancs, mais cette expression est inexacte. Les nuages se composent de petites vésicules ou bulles d'eau, mais d'eau à l'état liquide. La vapeur d'eau, étant invisible, se mêle donc à l'air sans être aperçue. — Maintenant, une réflexion: c'est la chaleur qui a changé l'eau liquide en vapeur d'eau; donc, une soustraction de chaleur ou un refroidissement de la vapeur doit reformer de l'eau liquide. Donc, en refroidissant suffisamment l'air qui est toujours mêlé de vapeur d'eau, nous devons toujours observer la formation d'eau liquide. C'est ce qui se produit dans la nature sous forme de rosée, de brouillard ou de pluie. Ainsi, pour qu'il pleuve il faut absolument qu'il se produise un refroidissement de l'air chargé de vapeur d'eau.

En faisant notre expérience, nous remarquerons donc aussi que l'eau se dépose sur la plaque froide, dans la chambre chaude, quand le verre a suffisamment refroidi l'air environnant. Ceux qui portent lunettes ne le savent que trop.

Acoustique.

105. Suspendez au support par un fil la petite boule métallique du carillon, placez à côté un verre à vin de manière que la boule puisse facilement en toucher le bord. Frappez sur le verre avec une baguette et observez la boule. (V. la fig.)

Au moindre choc, la boule est écartée du verre. Nous en concluons que ce choc a mis le verre en mouvement. Et ce mouvement ne peut pas être un



105.

déplacement du verre, car le même fait se produit quand on tient le verre ferme par le pied.

106. Répétez l'expérience précédente, mais avec le verre rempli d'eau.

La boule est repoussée plus loin que dans l'Exercice 105.

107. Touchez la boule, suspendue librement, avec une cloche qui résonne, et observez les trépidations de la boule.

On sait qu'en frappant une cloche (du carillon) avec une baguette, on entend un son. Ce son est produit par les vibrations de la cloche, vibrations qui se propagent dans l'air et arrivent jusqu'à l'oreille. Notre expérience montre qu'effectivement la cloche vibre, puisque la boule métallique, au contact de la cloche, se meut d'une manière bien visible. Notre oreille percevait ces vibrations comme son, notre œil les perçoit comme mouvements.

108. Mettez en vibration un verre à vin en promenant légèrement la pointe du doigt mouillée tout autour du bord.

La pointe du doigt mouillée adhère au bord du verre; il faut donc exercer une traction pour entretenir le mouvement, car il faut continuellement arracher du verre la pointe du doigt. C'est ce travail qui met le verre en vibrations, et notre oreille les perçoit comme son. L'expérience réussit d'autant mieux que le verre est plus mince. Il suffit d'une très faible pression.

109. Répétez l'expérience précédente, mais avec le verre rempli d'eau, et observez de plus la surface de l'eau.

On voit l'eau se rider à la surface, il s'y produit comme de petites vagues. Ces vagues sont produites par les vibrations du verre que nous voyons ainsi de l'œil en même temps que nous les entendons avec l'oreille.

110. Frappez sur un verre à vin avec une baguette, et observez comment le son change quand on verse peu à peu de l'eau dans le verre.

Le mieux est de remplir le verre au moyen du siphon. L'introduction de l'eau gêne le verre dans ses mouvements, il

vibre donc plus lentement. Le verre vide faisant par exemple 1200 vibrations par seconde, le verre plein n'en fera peut-être que 1000. Cette diminution dans le nombre de vibrations se traduit par un changement dans le son: il devient plus bas.

De là, ce fait important: La hauteur d'un son ne dépend que du nombre des vibrations qu'il fait en une seconde; ce nombre augmente quand le son monte et diminue quand le son baisse.

On répétera la même expérience en faisant vibrer le verre avec le doigt, comme dans l'Exercice 108.

111. Frappez sur une cloche ou sur un verre à vin avec une baguette, et observez si la hauteur du son produit dépend de la force du choc.

On peut frapper plus ou moins fort sans que la hauteur du son varie; ce qui variera, ce sera l'intensité. Quand on frappe plus fort, on augmente l'amplitude des vibrations, mais non leur nombre. — On peut s'en convaincre encore plus simplement. On sait qu'un corps mis en vibration cesse de vibrer après quelque temps. Il se pourrait que les vibrations devinssent de plus en plus lentes à mesure que leur amplitude diminue: alors le son baisserait en même temps qu'il s'affaiblit. Or nous observons qu'il s'affaiblit sans baisser, donc le nombre de ses vibrations reste le même.

La Mécanique nous a offert un phénomène analogue. Le pendule fait sensiblement le même nombre d'oscillations quelle que soit leur amplitude c'est-à-dire la grandeur ou le nombre de degrés de l'arc décrit par le poids.

112. Frappez sur une cloche ou sur un verre à vin avec une baguette, et cherchez dans quelle position de l'oreille le son se perçoit le plus nettement.

L'oreille doit se trouver dans la direction des vibrations du corps sonore. Or la cloche vibre du dehors en dedans; la place la plus favorable où l'oreille puisse recevoir ces vibrations sera donc le plan qui passe par le bord du verre ou dans le voisinage de ce plan.

113. Placez une fine aiguille à tricoter sur une table de sorte qu'une partie dépasse le bord, et pressez fortement d'une main la partie posée sur la table. Alors, de l'autre main, faites vibrer la partie qui dépasse, et cherchez si la longueur de cette partie influe sur la hauteur du son.

L'expérience montrera qu'effectivement la hauteur du son dépend de la longueur de la partie vibrante. Plus cette partie est longue, plus lentement elle vibre, et plus le son est grave. Ici encore, le pendule suit une loi analogue; plus il est long, plus il oscille lentement.

114. Attachez un fil par un bout à un point fixe, tenez l'autre bout en main et tendez fortement le fil. Si alors avec un doigt on écarte le fil de côté à peu près au milieu et on l'abandonne brusquement, on entend un son. Observez la hauteur de ce son suivant que le fil est plus ou moins tendu.

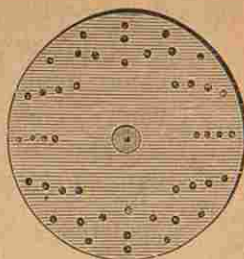
On attachera le fil par exemple à la poignée d'une porte. L'expérience montrera que le son monte à mesure que la tension augmente. Un même fil vibre donc d'autant plus vite qu'il est plus tendu.

115. Tendez fortement un fil entre deux points fixes, pincez-le à peu près au milieu, observez le son qui se produit, et examinez comment varie la hauteur de ce son lorsque le fil ne vibre qu'en partie.

La disposition la plus simple consiste à faire passer le fil tout autour de la feuille d'une table (donc moitié au-dessus, moitié au-dessous), nouer fortement les deux bouts ensemble et placer des morceaux de bois sur la table en dessous du fil. Celui-ci sera alors fortement tendu au-dessus de la table. — L'expérience montre que le son monte quand on raccourcit la partie vibrante du fil. D'où la loi suivante: Des fils vibrants, également tendus, donnent un son d'autant plus élevé qu'ils sont plus courts.

116. Fabriquer une sirène à trous.
(V. la fig.)

Découpez un disque circulaire de carton ayant 20 à 30 centimètres de diamètre; du centre de ce disque, décrivez 4 circonférences concentriques, sur lesquelles vous percerez des trous équidistants d'environ 5^{mm} de diamètre, au nombre de 8 pour le plus petit cercle, 10 pour le suivant, 12 pour le troisième et 16 pour le quatrième. Collez alors ou clouez le disque sur une bobine à fil à coudre, comme le montre la figure et enflez dans cette bobine un clou en guise de pivot. (Nous abandonnons cette construction à la réflexion et à l'adresse de chacun.) En enroulant un fil sur la bobine et le tirant rapidement, on imprimera au disque une rotation rapide. Soufflez alors sur une ligne de trous au moyen du tube en pointe, vous entendrez un son dont la hauteur dépend de la vitesse de rotation. — Comment se produit ce son? Le courant d'air lancé par la bouche à travers le tube vers le disque rencontre alternativement un trou et une partie pleine, il imprime donc à l'air situé derrière le disque une suite de chocs dont le nombre, en une seconde, dépend de la vitesse de la sirène. Ces chocs font vibrer l'air, les vibrations viennent frapper l'oreille et y éveillent la sensation du son.



116.

117. Bouchez l'un des bouts du tube large, faites parler le tube en soufflant avec la bouche, et observez le son produit.

Pour faire parler le tube, on le tient verticalement devant la bouche et l'on souffle obliquement contre le bord. (L'extrémité bouchée est alors en dessous, et le bout ouvert pressé contre la lèvre inférieure.) En soufflant plus ou moins fort, on entendra une série de sons, dus aux vibrations de l'air contenu dans le tube. Le plus grave de ces sons se nomme *son fondamental* du tube, les autres sont appelés *sons harmoniques* du premier.

Avec un peu d'adresse, on réussit également à faire parler le tube ouvert aux deux bouts.

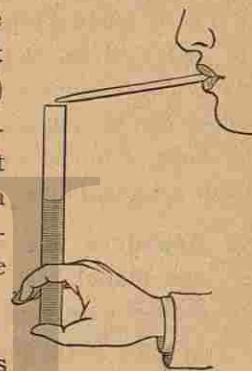
118. Examinez, en faisant l'expérience précédente, si la longueur du tube influe sur la hauteur du son. Pour cela, on remplira d'eau une partie du tube.

Bouchons donc du doigt le tube, remplissons-le d'eau environ aux trois quarts, et faisons-le parler en soufflant avec la bouche, comme il est indiqué au n° 117.

Remarquons la hauteur du son ainsi produit, versons un peu d'eau hors du tube, et soufflons sur le tube, ainsi allongé: le son sera plus bas que le précédent. — Le résultat de cette expérience est donc la loi suivante: le son fondamental d'un tube est d'autant plus grave que le tube est plus long.

119. Remplissez d'eau une partie du tube large, et faites le parler en soufflant avec le tube en pointe. (V. la fig.)

On cherchera d'abord, par tâtonnements, quelle direction doit avoir le courant d'air par rapport au bord du tube. La figure montre à peu près la position respective des deux tubes, la place juste ne peut être trouvée que par l'expérience.



120.

120. Avec la sarbacane composée d'après l'Exercice 31, démontrez que la longueur du tube détermine la hauteur du son produit par la détonation.

Le tube ayant 20^{cm} de longueur, pour que le tube de la sarbacane n'ait que 10^{cm}, on enfoncera l'un des pistons jusqu'au milieu du tube avant d'y placer l'autre, puis on enfoncera le premier jusqu'à ce que le second soit projeté. — Les essais montreront que le son produit par la détonation monte à mesure que le tube devient plus court.

121. Appliquez l'oreille à l'un des bouts d'une longue règle, pressez une montre sur l'autre bout, et observez comment le tic tac de la montre s'entend moins bien quand on enlève la règle, la distance de l'oreille à la montre restant la même.

Les ondes sonores se propagent mieux dans le bois que dans l'air. — On pourrait dire que le bois conduit mieux le son

ou est un meilleur conducteur du son que l'air. On peut aussi placer la montre à un bout d'une table et appliquer l'oreille à l'autre bout.

- 122. Attachez un corps solide assez lourd à un fil, prenez en bouche l'extrémité libre du fil, et traitez le poids sur le plancher en tendant bien le fil.

On entend très nettement le frottement. Le son se propage, par le fil tendu, jusqu'aux dents, d'où les vibrations aboutissent par divers intermédiaires à l'organe de l'ouïe.

- 123. Recommencez l'Exercice 114 avec cette différence qu'au lieu de tenir en main l'un des bouts du fil on l'attache à une règle qu'on applique contre l'oreille.

Le fil tendu propage bien les vibrations, il les communique à la règle qui les conduit à l'oreille presque sans intermédiaire. L'expérience montre que les moindres changements dans la tension du fil vibrant se font aussitôt sentir à l'oreille. — On peut faire la même observation en appliquant l'oreille contre un poteau télégraphique.

- 124. Appliquez une montre contre un cahier de papier ou une planchette, tenez le tout librement en l'air, et observez comment le tic tac s'entend distinctement à assez grande distance.

Les vibrations de la montre se communiquent au papier; l'air est ainsi mis en mouvement par une plus grande surface et se met à vibrer vivement.

- 125. Remplissez complètement d'eau la grande éprouvette à pied, enfoncez-y le tube large ou une cheminée de lampe et présentez une cloche en vibration à l'ouverture du tube en enfonçant ce dernier plus ou moins profondément. (V. la fig.)

En enfonçant le tube, on y diminue le volume de l'air. On arrive à une position déterminée pour laquelle on observe un renforcement du son de la cloche; la colonne d'air contenue dans le tube vibre alors en même temps.



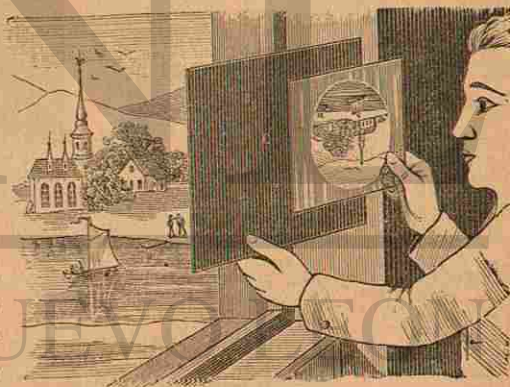
125.

On peut encore observer autrement le même phénomène. En enfonçant le tube dans l'eau, sifflez uniformément un même son devant l'ouverture. Bientôt viendra une position où le tube vibre avec le son émis, ou, comme on dit, parle à l'unisson. Cette position se reconnaît aisément, ne fût-ce que par facilité avec laquelle on peut alors siffler cette note. Si l'on peut alors faire parler le tube en soufflant avec la bouche, d'après l'Exercice 117, on remarquera que le son ainsi produit et la note sifflée sont exactement de même hauteur. (La construction des tuyaux d'orgue est une application de cette expérience.)

Le phénomène de la résonance d'une colonne d'air s'observe encore mieux en employant un diapason. On le tient au-dessus de l'ouverture du tube comme la cloche dans la figure. On trouvera aisément la position voulue.

Optique.

- 126. Percez une petite ouverture au milieu d'une feuille de papier noir, tenez cette feuille devant la fenêtre, recevez sur un écran transparent les rayons émis par les objets situés devant la fenêtre après leur passage à travers l'ouverture, et comparez avec ces objets la position, la grandeur et la clarté de l'image produite sur l'écran. (V. la fig.)



126.

On percera le trou avec une épingle. On tiendra la feuille de papier, le côté noir tourné vers l'écran. Pour celui-ci, on prendra du papier de soie ou mieux du papier huilé ou papier à calquer. L'image sur l'écran sera d'autant plus nette que

ou est un meilleur conducteur du son que l'air. On peut aussi placer la montre à un bout d'une table et appliquer l'oreille à l'autre bout.

- 122. Attachez un corps solide assez lourd à un fil, prenez en bouche l'extrémité libre du fil, et traitez le poids sur le plancher en tendant bien le fil.

On entend très nettement le frottement. Le son se propage, par le fil tendu, jusqu'aux dents, d'où les vibrations aboutissent par divers intermédiaires à l'organe de l'ouïe.

- 123. Recommencez l'Exercice 114 avec cette différence qu'au lieu de tenir en main l'un des bouts du fil on l'attache à une règle qu'on applique contre l'oreille.

Le fil tendu propage bien les vibrations, il les communique à la règle qui les conduit à l'oreille presque sans intermédiaire. L'expérience montre que les moindres changements dans la tension du fil vibrant se font aussitôt sentir à l'oreille. — On peut faire la même observation en appliquant l'oreille contre un poteau télégraphique.

- 124. Appliquez une montre contre un cahier de papier ou une planchette, tenez le tout librement en l'air, et observez comment le tic tac s'entend distinctement à assez grande distance.

Les vibrations de la montre se communiquent au papier; l'air est ainsi mis en mouvement par une plus grande surface et se met à vibrer vivement.

- 125. Remplissez complètement d'eau la grande éprouvette à pied, enfoncez-y le tube large ou une cheminée de lampe et présentez une cloche en vibration à l'ouverture du tube en enfonçant ce dernier plus ou moins profondément. (V. la fig.)

En enfonçant le tube, on y diminue le volume de l'air. On arrive à une position déterminée pour laquelle on observe un renforcement du son de la cloche; la colonne d'air contenue dans le tube vibre alors en même temps.



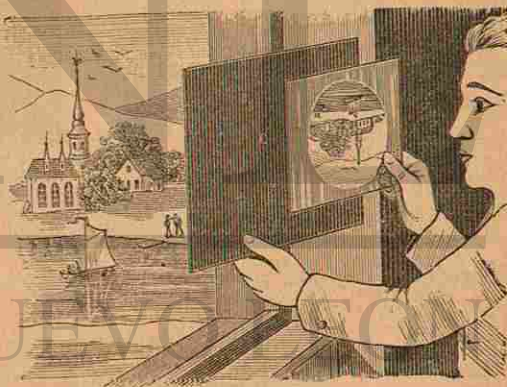
125.

On peut encore observer autrement le même phénomène. En enfonçant le tube dans l'eau, sifflez uniformément un même son devant l'ouverture. Bientôt viendra une position où le tube vibre avec le son émis, ou, comme on dit, parle à l'unisson. Cette position se reconnaît aisément, ne fût-ce que par facilité avec laquelle on peut alors siffler cette note. Si l'on peut alors faire parler le tube en soufflant avec la bouche, d'après l'Exercice 117, on remarquera que le son ainsi produit et la note sifflée sont exactement de même hauteur. (La construction des tuyaux d'orgue est une application de cette expérience.)

Le phénomène de la résonance d'une colonne d'air s'observe encore mieux en employant un diapason. On le tient au-dessus de l'ouverture du tube comme la cloche dans la figure. On trouvera aisément la position voulue.

Optique.

- 126. Percez une petite ouverture au milieu d'une feuille de papier noir, tenez cette feuille devant la fenêtre, recevez sur un écran transparent les rayons émis par les objets situés devant la fenê-



126.

tre après leur passage à travers l'ouverture, et comparez avec ces objets la position, la grandeur et la clarté de l'image produite sur l'écran. (V. la fig.)

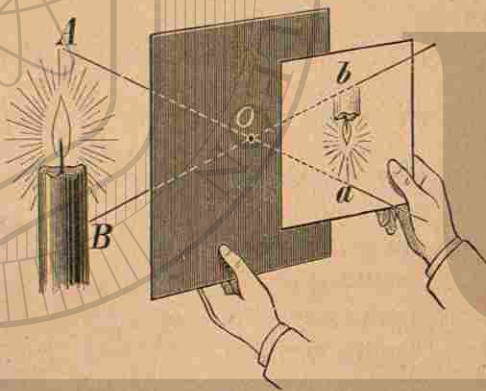
On percera le trou avec une épingle. On tiendra la feuille de papier, le côté noir tourné vers l'écran. Pour celui-ci, on prendra du papier de soie ou mieux du papier huilé ou papier à calquer. L'image sur l'écran sera d'autant plus nette que

l'écran recevra moins de lumière par les côtés. L'expérience ne réussirait donc pas en plein air. Dans la figure, l'observateur est trop près de la fenêtre, il doit se placer au fond de la chambre où il fait plus sombre. Ce qui vaut le mieux, c'est que la chambre soit tout à fait obscure, par exemple en pratiquant l'ouverture dans un volet. Cependant cela n'est pas nécessaire, et, avec un peu de patience, on réussit toujours en suivant la marche indiquée plus haut.

Sur l'écran, l'image du paysage se forme renversée: ce qui, dans l'objet, est en haut et à droite se trouve, dans l'image, en bas et à gauche. L'explication de ces phénomènes importants sera donnée dans l'Exercice suivant.

Plus l'écran est loin de l'ouverture, plus l'image est grande, mais moins elle est éclairée.

127. Pratiquez une fine ouverture au milieu d'une feuille de papier noir, tenez la feuille à environ 6^{cm} d'une bougie allumée et observez l'image de la bougie sur un écran transparent placé derrière l'ouverture. (V. la fig.)



127.

Nous avons appris en Acoustique que les vibrations sonores d'un corps ne sont perçues par l'oreille ou entendues que s'il se trouve entre le corps qui résonne et l'oreille un milieu matériel qui puisse exécuter les mêmes vibrations que la source sonore. Ce milieu ou cette matière s'appelle un *conducteur*. Ainsi l'air, le bois, l'eau, etc. sont de bons conducteurs des vibrations acoustiques. — Nous devons nous représenter quelque chose de semblable dans les phénomènes lumineux. De nombreuses observations nous obligent à admettre que les parcelles d'une source de lumière sont animées d'un mouvement vibratoire très vif, et

que ces vibrations se propagent dans l'espace sous forme d'ondes par le moyen desquelles nous percevons la source lumineuse: c'est ce qu'on appelle *voir*. Donc, principe fondamental en Optique: Nous ne pouvons voir un corps que s'il émet des vibrations lumineuses qui arrivent jusqu'à notre œil. Il faut donc toujours qu'il y ait entre la source lumineuse et l'œil une matière qui puisse conduire et propager les vibrations lumineuses. Cette matière doit être différente de l'air, car nous voyons par exemple le soleil, quoique les espaces célestes soient vides d'air. Aussi admet-on généralement que l'univers est rempli d'une matière subtile et impondérable — l'éther — qui participe aux vibrations des corps lumineux et les transmet jusqu'à notre œil.

Cependant cette théorie des phénomènes lumineux semble en contradiction avec une observation importante. En tenant la main entre l'oreille et une cloche qui résonne, nous entendons encore le son, bien qu'affaibli. Les vibrations acoustiques de l'air contournent donc la main. Au contraire, en tenant la main entre l'œil et la flamme d'une bougie, nous cessons de voir la source lumineuse. Beaucoup d'autres observations le prouvent: nous ne voyons une lumière que s'il ne se trouve sur la ligne droite qui joint la lumière à l'œil aucun corps capable d'arrêter les vibrations lumineuses.

Toutefois, d'après des recherches plus approfondies, le principe ainsi énoncé n'est pas vrai dans toute sa rigueur. Certaines vibrations lumineuses contournent aussi la main, mais elles sont si faibles qu'elles ne peuvent être perçues dans les conditions d'observation ordinaires. Donc, pour être exact, il faut dire: Les seules vibrations lumineuses ordinairement actives sont celles qui viennent en ligne droite de la source lumineuse. C'est dans ce sens qu'on dit, d'une manière abrégée: la lumière se propage en ligne droite.

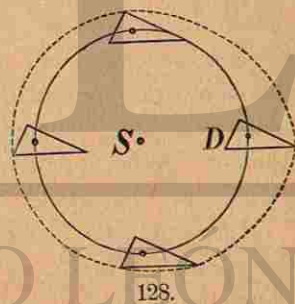
Les vibrations lumineuses qui se trouvent sur une ligne droite venant de la source se nomment un *rayon* de lumière. Un corps lumineux émet des rayons dans toutes les directions. Mais un rayon isolé n'est qu'une abstraction mathématique. L'œil ne peut jamais recevoir, d'un objet lumineux, un seul rayon à la fois, il en reçoit toujours un grand nombre ou un *faisceau* de rayons. Pour que l'œil voie un objet, il faut que chaque point de l'objet puisse envoyer dans l'œil un faisceau lumineux.

Les rayons de lumière sont invisibles en eux-mêmes. Nous ne remarquons leur existence que lorsqu'ils rencontrent notre œil ou un corps auquel ils puissent communiquer leurs vibrations, de manière que ce corps semble lumineux et envoie des rayons de lumière dans notre œil. Dans le premier cas, il se forme dans notre œil l'image de la source lumineuse, dans le second, celle du corps éclairé. Un exemple pour éclaircir ce dernier point. Quand le soleil donne dans une chambre par la fenêtre, nous ne pouvons pas d'ordinaire voir les rayons, mais nous croyons les voir nettement s'il y a beaucoup de poussière dans l'air de la chambre. En réalité, nous ne voyons alors que les grains de poussière éclairés par le soleil — et même ceci n'est-il pas encore rigoureusement exact. En effet, comme nous le montrerons plus loin, nous voyons une infinité d'images de différents points du soleil, images qui se produisent dans une disposition telle qu'elles peuvent passer pour une image des grains de poussière. Plaçons devant nous une bougie, et présentons à la flamme un écran de papier. Nous le voyons vivement éclairé, parce que la source lumineuse rayonne vers tous les points de l'écran: elle émet en effet des rayons dans toutes les directions. Si maintenant nous pouvions disposer les choses de telle sorte que chaque point de la flamme ne pût envoyer sur l'écran qu'un seul rayon, il devrait se former sur l'écran une image de cette flamme. Or, quand nous tenons entre la flamme et l'écran la feuille de papier noir, l'écran n'est pas éclairé, parce que le papier intercepte les rayons lumineux. Mais quand nous pratiquons dans le papier une fine ouverture, un faible faisceau lumineux peut arriver à travers cette ouverture de chaque point de l'objet jusqu'à l'écran. Il se produit ainsi sur l'écran une image de l'objet. L'image est renversée. Ce qui dans l'objet est en haut et à droite se trouve dans l'image en bas et à gauche. On le comprend aisément en considérant la figure. AOa et BOb représentent des rayons partant des points A et B de la source lumineuse, traversant en O l'ouverture pratiquée dans le papier noir, et rencontrant l'écran en a et en b . L'image est d'autant plus grande que l'on tient l'écran plus loin de l'ouverture. Cela se voit sur la figure sans autre explication. Mais ce que l'image gagne en grandeur, elle le perd en clarté et en netteté. La diminution de clarté s'explique par la considération suivante. Il passe par l'ouverture O toujours la même

quantité de lumière, quelle que soit la distance de l'écran à l'ouverture. La petite image qui se forme sur l'écran rapproché reçoit donc autant de lumière que l'image plus grande qui se forme sur l'écran éloigné. Si la surface de la petite image est exactement 1cm^2 et celle de la grande 4cm^2 , 1cm^2 de la grande ne recevra que le quart de la lumière qui éclaire 1cm^2 de la petite. — Quant à la diminution de netteté, en voici l'explication. Le point A du corps lumineux peut envoyer, à travers l'ouverture O , tout un faisceau de rayons qui vont en divergeant en forme de cône; l'ouverture de ce cône est d'autant plus grande que le trou O est plus large. L'image du point est donc, non pas précisément un point, mais une petite surface qui grandit à mesure que l'ouverture O s'élargit ou que l'écran s'éloigne de l'ouverture. L'image de l'objet paraît donc toujours plus ou moins confuse.

On nomme *chambre noire* une caisse disposée de manière que les phénomènes lumineux de ce genre ne soient pas troublés par des lumières étrangères.

128. Tenez perpendiculairement à la direction des rayons solaires une feuille de papier noir, percée au milieu d'une ouverture dont on fait varier la forme pendant l'expérience, et observez, sur une feuille de papier placée à différentes distances de l'ouverture, l'image du soleil produite par les rayons qui ont traversé l'ouverture. (V. la fig.)



En répétant l'expérience 127, — mais en remplaçant la bougie par le soleil, — nous obtenons naturellement sur l'écran derrière l'ouverture l'image du soleil au lieu de celle de la bougie. Nous verrons donc ordinairement un disque rond et brillant. Néanmoins les commençants sont portés à considérer ce disque comme une image, non pas du disque solaire, mais de l'ouverture si elle ronde. Pour se convaincre que c'est bien une image du soleil, on peut procéder de deux façons. D'abord, il

est bon de faire une fois l'expérience à un moment où le soleil n'est pas un disque rond lumineux, car alors son image paraîtra changée; ensuite, nous pouvons modifier la forme de l'ouverture pour pouvoir distinguer l'image du soleil ou le disque rond de celle de l'ouverture. La première condition se vérifie au moment d'une éclipse de soleil. Si on fait l'expérience au moment où le soleil présente, à sa partie éclairée, la figure d'un croissant, nous verrons en effet se former sur l'écran une image de même forme. — En employant une chambre noire, construite d'après ce qui a été dit aux n^{os} 126 et 127, il n'est pas nécessaire d'attendre une éclipse de soleil. On peut représenter le soleil par un disque de papier blanc, fortement éclairé, sur un fond noir, et faire glisser dessus un disque de papier noir pour remplacer la lune. On aura ainsi la représentation d'une éclipse, et, en l'observant dans la chambre noire, on verra d'abord l'image d'un disque blanc, puis celle d'un croissant. Si au contraire on fait varier la forme de l'ouverture — comme le propose le texte de l'Exercice — il faut, pour expliquer l'image qui se forme sur l'écran, revenir sur une remarque faite au n^o 127. Nous avons conclu alors que l'image d'un point de l'objet lumineux n'est pas précisément un point, mais une petite surface, dont la grandeur dépend de la largeur de l'ouverture et de la distance entre l'ouverture et l'écran. Il n'y aurait qu'un seul cas où cette image serait également un point, savoir quand l'ouverture serait elle-même un point mathématique. Dans ce cas, malheureusement irréalisable, l'image de l'objet serait parfaitement nette et distincte. Nous appellerons cette image «l'image mathématique» à cause de son mode de production.

La largeur de l'ouverture se confond ici avec sa forme. Par exemple si la forme de l'ouverture est un triangle, l'image de chaque point de l'objet lumineux sera aussi un triangle éclairé. Ainsi, dans l'image mathématique, chaque point se résout en une surface triangulaire. Or ici l'image mathématique est un cercle; donc, en chaque point de ce cercle se superposent en partie plusieurs petits triangles. Mais évidemment, pour la forme de l'image produite, ce sont les points limites de l'image mathématique qui sont seuls importants: or ces points forment un cercle.

Représentons ce cercle par celui qui, dans la figure 127, a pour centre le point *S*. Plaçons en un point quelconque de ce

cercle la surface triangulaire *D* et promenons-la autour du cercle en la maintenant dans la même direction, nous obtiendrons la ligne qui limite l'image réelle cherchée. En considérant la figure, on voit sans plus d'explications, que cette ligne se rapproche d'autant plus d'une circonférence que le rayon du cercle décrit du point *S* est plus grand et le triangle *D* plus petit. En d'autres termes, plus l'ouverture triangulaire est petite et éloignée de l'écran, plus l'image produite par les rayons solaires se rapproche d'une surface de cercle.

On peut aussi considérer l'image comme produite par un mouvement de l'image mathématique. Il faut alors regarder la forme de l'ouverture comme le chemin décrit par le centre du cercle. Nous abandonnons cette recherche au travail personnel de chacun.

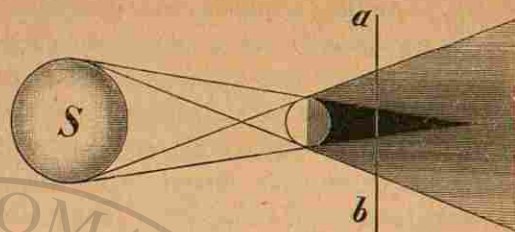
On obtient également une surface circulaire avec une ouverture quadrangulaire, avec une fente rectiligne, un croissant, etc., pourvu que l'écran soit suffisamment éloigné de l'ouverture. (On découpera ces ouvertures dans le papier avec un canif, en plaçant le papier sur une lame de verre.)

Il résulte encore des explications précédentes que l'image produite pendant une éclipse de soleil doit être un croissant brillant, pourvu que l'écran soit suffisamment éloigné de l'ouverture. On peut reproduire le même effet avec la chambre noire en y adaptant une petite ouverture, triangulaire par exemple, et en la dirigeant vers un croissant de papier blanc placé sur un fond obscur: on verra l'image du croissant éclairé.

129. Pratiquez, au milieu d'une feuille de papier noir, une petite ouverture de forme quelconque, tenez la feuille devant une bougie allumée, et observez sur un écran transparent l'image qui se produit.

On obtient toujours l'image de la bougie, quelle que soit la forme de l'ouverture, pourvu que cette ouverture ne soit pas trop grande et que l'écran en soit assez éloigné. On observera les phénomènes lumineux qu'on obtient en employant une ouverture en fente dans diverses positions et qui sont expliqués au n^o 128.

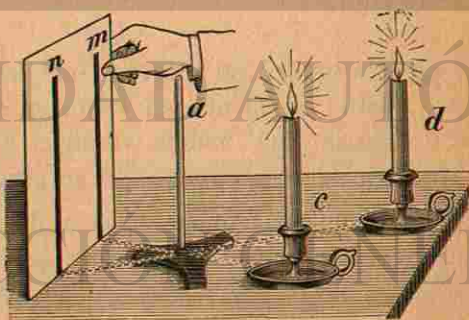
130. Présentez une boule opaque aux rayons du soleil, et observez l'ombre portée sur un écran placé derrière la boule.



130.

(V. la fig.) La figure de l'ombre ne dépend pas de la distance entre la boule et l'écran. Dans la figure, *S* représentant le soleil, il est clair qu'il y a, derrière la boule, deux sortes d'ombres: le cône d'ombre ou l'espace dans lequel ne peut arriver aucun rayon solaire et la pénombre ou l'espace dans lequel ne peuvent arriver que les rayons émis par une partie de la surface solaire. L'écran *ab* étant placé, comme le montre la figure, dans le cône d'ombre, nous devons observer, comme ombre de la boule, un cercle noir, entouré d'un anneau faiblement éclairé. — La figure de l'ombre ne paraît nette et distincte que si l'écran est à petite distance de la boule; à plus grande distance, l'ombre centrale se change peu à peu en pénombre. — L'ombre centrale d'un bâton exposé à la lumière solaire a une longueur égale à 105 fois environ l'épaisseur du bâton. Pour une aiguille à tricoter de 2^{mm} de diamètre, cette ombre atteindrait à peu près à 21^{cm} de l'aiguille.

131. Dressez un bâton devant deux bougies allumées et derrière le bâton un écran blanc. Observez comment varie la clarté des deux ombres du bâton lorsqu'on change la distance d'une des bougies au bâton. (V. la fig.)



131.

Dans la figure, les deux bougies sont *c* et *d*, les ombres du bâton tombent sur l'écran en *m* et en *n*. L'ombre *m* est évi-

demment éclairée par la bougie *d* et l'ombre *n* par la bougie *c*. Si les deux sources lumineuses sont égales et également distantes tant de l'écran que du bâton, les deux ombres apparaîtront également obscures. C'est ce qu'on devra réaliser d'abord, en déplaçant l'une des deux bougies. (On placera les lumières de telle sorte que les deux ombres soient le plus rapprochées possible.) Ensuite on éloignera ou rapprochera l'une des lumières pour observer le changement de l'intensité des deux ombres.

Si les deux sources lumineuses n'ont pas la même intensité (par exemple en remplaçant par une lampe l'une des deux bougies), la lumière la plus forte doit se trouver plus loin du bâton pour que les deux ombres paraissent également éclairées. — On emploie ce principe pour comparer les intensités de deux lumières.

132. Essayez si l'expérience 131 peut réussir quand l'une des deux lumières est le soleil.

L'essai doit se faire quand le soleil est assez bas sur l'horizon, dans la matinée ou dans l'après-midi. On remarquera tout de suite que l'ombre produite par la bougie reste imperceptible, même en approchant la flamme du bâton autant que possible. Le soleil éclaire tellement l'ombre produite par la bougie sur l'écran que la différence d'éclat entre la place de l'ombre et le reste de l'écran ne peut plus être perçue par l'œil. — A cette occasion, il est très intéressant d'observer l'ombre de la bougie et de sa flamme éclairée par le soleil.

Réflexion de la lumière.

133. Recevez dans une chambre les rayons solaires sur une feuille de papier blanc, inclinez cette feuille dans différentes positions, et observez, la partie des murs que le soleil n'éclaire pas directement.

Dans certaines positions de la surface blanche, il se projette sur les murs un reflet blanc, parfois assez clair pour que l'on perçoive les ombres des objets voisins. Pour expliquer ce fait, quelques remarques sont nécessaires. Quand les rayons émanés d'une source de lumière rencontrent un corps, il y a toujours une partie de ces rayons qui est renvoyée à l'extérieur tandis

que l'autre pénètre dans le corps. Celle-ci se divise à son tour, une partie traverse le corps tandis que l'autre s'y transforme soit en une autre lumière, soit en chaleur, soit en activité chimique. Il y a donc, parmi les rayons reçus :

- 1^o une partie renvoyée à l'extérieur du corps,
- 2^o une partie transformée dans le corps lui-même, et
- 3^o une partie qui traverse le corps et passe au delà.

Il n'y a sur la terre aucun corps où ne se présente qu'un seul de ces trois cas, à l'exclusion des autres, mais il y en a généralement un qui prédomine, d'après la nature des corps. Le premier cas se présente surtout dans les corps opaques dont la surface est plus ou moins polie et placée à peu près dans la direction des rayons incidents. Le second cas prédomine dans les corps à surface rugueuse et sombre, comme le noir de fumée, le papier noir, etc. Dans la troisième catégorie sont les corps dits transparents dont la surface est lisse et se présente à peu près perpendiculairement aux rayons incidents, comme les verres appelés glaces.

Dans les Exercices suivants, nous allons examiner de plus près les phénomènes de la première catégorie ou phénomènes de réflexion. Un corps qui renvoie la plus grande partie des rayons qu'il reçoit se nomme un miroir.

En revenant à notre expérience, nous devons considérer la feuille de papier avec ses aspérités et ses enfoncements comme la réunion d'une infinité de petits miroirs dirigés en tous sens. La surface du papier blanc renvoie donc dans toutes les directions les rayons qu'elle reçoit, de manière à éclairer faiblement la muraille voisine.

134. Recevez sur le miroir les rayons du soleil ou d'une bougie allumée, et observez comment la place où l'image se forme dépend de l'inclinaison du miroir par rapport aux rayons incidents.

On peut, en faisant varier l'inclinaison du miroir, faire tomber l'image sur n'importe quel point des murs. Mais maintenant, à la différence de ce que nous avons vu dans l'Exercice 133, les rayons renvoyés ou réfléchis restent réunis sans s'éparpiller, c'est-à-dire que tous les rayons de même direction sont déviés également par le miroir. C'est pour cela que les rayons réfléchis

par un miroir peuvent former une image de la source lumineuse, tandis que les rayons renvoyés en tous sens par le papier blanc ne font que rendre visible la surface du papier. Comparez les remarques faites à l'Exercice 127.

Recevez les rayons solaires sur le miroir et sur la glace non étamée, projetez les deux images l'une près de l'autre sur l'un des murs de la chambre, et observez la différence d'intensité entre ces deux images.

Le miroir et la glace non étamée ont la même surface, néanmoins le miroir donne une image notablement plus éclairée que l'autre glace. Un coup d'œil sur les ombres portées par les deux plaques nous montre que la glace nue laisse passer presque tous les rayons, tandis que le miroir argenté les réfléchit presque tous. Aussi l'ombre du miroir est-elle une surface presque noire, celle de la glace nue ne se remarque presque pas, si ce n'est sur le pourtour.

136. Tenez tout près l'un de l'autre le miroir et la glace sans enduit, regardez dans chacun d'eux la flamme d'une bougie, et observez la différence d'intensité entre les deux images.

On tiendra les deux plaques, devant l'œil, et on y regardera la flamme d'une bougie placée de côté à 1 mètre environ de l'observateur. Les deux plaques étant très rapprochées l'une de l'autre, on peut comparer aisément l'intensité des images. Celle que fournit la glace nue paraît notablement plus faible que l'autre, par la raison donnée à l'Exercice 135.

137. Donnez au miroir une position telle que les rayons du soleil s'y réfléchissent vers le plafond blanc de la chambre, recouvrez partiellement le miroir de manière à réduire sa surface libre à une ouverture dont on peut changer la forme pendant l'expérience, et observez la forme de l'image produite.

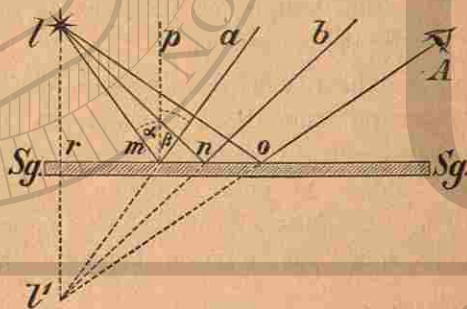
Si le miroir est suffisamment éloigné du plafond, l'image a la forme d'un disque éclairé sensiblement rond, quelle que soit la forme de l'ouverture. Lorsque, par exemple, sans recouvrir le miroir rectangulaire, on projette avec ce miroir les rayons du soleil vers le mur d'un bâtiment assez éloigné, on y voit un grand cercle brillant, à moins que le mur ne soit lui-même

directement éclairé par le soleil. L'explication de ce phénomène se trouve à l'Exercice 128. Le miroir agit comme une ouverture. La réflexion ne change pas la forme de l'image, mais seulement sa position.

138. Réduisez le miroir à une petite ouverture, projetez sur un écran blanc les rayons émis par deux bougies placées l'une près de l'autre, et observez l'image produite sur l'écran.

Pour réussir cette expérience, il faut placer, entre l'écran et les bougies, une paroi opaque, une planchette par exemple, qui s'avance jusque près du miroir. L'observation sera d'autant plus facile que l'écran paraîtra plus obscur. On découpera l'ouverture triangulaire, quadrangulaire ou de toute autre forme, dans une feuille de papier noir qu'on placera sur le miroir. Pour une ouverture carrée, on lui donnera environ 6^{mm} de côté. — On voit la flamme renversée, et la flamme de droite paraît à gauche dans l'image. Voyez l'explication aux Exercices 127 et 129.

139. Placez sur la table une bougie allumée, et devant elle un miroir; observez dans le miroir l'image de la flamme. (V. la fig.)



Le corps qui émet les rayons lumineux, ou, comme on dit plus brièvement en Optique, l'objet, nous apparaît, dans son image, derrière le miroir à une distance égale à celle de l'objet lui-même au miroir.

On prendra ensuite comme objet le support avec sa presse, une feuille imprimée, etc. L'explication de ces phénomènes repose sur les deux lois suivantes: Quand un rayon de lumière tombe sur la surface d'un miroir, il est réfléchi de telle manière que

1. le rayon incident et le rayon réfléchi se trouvent dans un même plan, perpendiculaire à la surface du miroir;
2. l'angle de réflexion est égal à l'angle d'incidence.

Le point où le rayon rencontre la surface du miroir s'appelle point d'incidence; la ligne menée par ce point perpendiculairement à la surface se nomme la normale au point d'incidence; enfin, on entend par angle d'incidence et angle de réflexion les angles que font avec la normale le rayon incident et le rayon réfléchi.

La figure 139 représente le trajet de quelques-uns des rayons émis par le point *l*; la ligne *Sg Sg* représente le miroir. Un faisceau de rayons émis par *l* et rencontrant le miroir en *m* est réfléchi vers *a*, d'après les deux lois énoncées plus haut. Ainsi l'angle d'incidence α est égal à l'angle de réflexion β . D'après les mêmes lois, le faisceau lumineux *ln* est réfléchi dans la direction de *b*. Si l'œil de l'observateur reçoit un faisceau émané de *l* et réfléchi en *o*, il verra le point *l* dans la direction de *a*. Si l'œil était en *b*, il verrait le point *l* dans la direction de *n*. On démontre, par la géométrie, que les prolongements de tous les rayons partis d'un même point et réfléchis par un miroir plan vont concourir en un même point symétrique du point lumineux par rapport au miroir. Cela veut dire qu'on obtient ce point en abaissant du point lumineux une perpendiculaire sur le miroir et en la prolongeant d'une longueur égale de l'autre côté du miroir. Ainsi *l'l'* est perpendiculaire au miroir et *lr* égal à *l'r*. Par suite le trajet que suivent les rayons à partir du miroir sera absolument le même, que ces rayons viennent directement du point *l'* ou qu'ils viennent de *l* et se réfléchissent sur le miroir. Donc, quelque part que l'œil se trouve au-dessus du miroir, il verra toujours le point *l* dans la direction des rayons qui lui arrivent, c'est-à-dire en *l'*. Si un autre point de l'objet se trouve plus près du miroir que *l*, l'œil verra l'image de ce point plus rapprochée aussi: c'est ce qui explique pourquoi l'image est renversée par rapport à l'objet.

Voici encore une conséquence des lois de la réflexion. Si une personne *A* regarde dans un miroir une autre personne *B*, *B* doit aussi apercevoir *A* dans le miroir. On le comprend aisément en considérant le trajet des rayons lumineux. De *B* partent des rayons qui rencontrent le miroir et s'y réfléchissent de manière à parvenir à l'œil de *A*. Donc, par le même chemin, des rayons pourront partir de *A* et parvenir à l'œil de *B*.

140. Découpez une ouverture dans une feuille de papier noir, et tenez cette feuille à quelque distance devant le miroir, de telle sorte que l'on voie l'ouverture au milieu du miroir. Plaçant alors l'œil à différentes distances du miroir, observez les objets qui sont visibles dans l'image de l'ouverture.

On découpera une ouverture ronde d'environ 2^{cm} de diamètre. Pendant l'observation, on laissera la feuille dans la même position et à la même distance du miroir, le côté noir tourné vers le miroir. On tiendra ce dernier de manière que le paysage situé en face devienne visible dans l'ouverture. — L'œil verra d'autant plus d'objets dans l'image de l'ouverture qu'il sera plus près du miroir.

Les images que nous avons observées dans les Exercices 126, 127, 128, 129 et 137 restaient toujours les mêmes, quelle que fût la distance de l'œil à l'image; ici, au contraire, nous constatons que la grandeur des images dépend de la distance et de la position de l'œil par rapport à la surface réfléchissante. Tout se passe comme si l'œil regardait le paysage, non dans le miroir, mais directement à travers l'ouverture, car, plus il approche de cette ouverture, plus il découvre d'objets dans le paysage. L'image produite par un miroir n'est donc pas une image *réelle*, qu'on puisse recevoir sur un écran, comme dans l'Exercice 126; ce n'est qu'une image apparente ou, comme on dit, *virtuelle*.

En réalité, nous voyons dans un miroir l'objet lui-même; si nous croyons ne voir que son image, c'est que l'objet nous apparaît à une autre place.

141. Suspendez verticalement le miroir à un fil, et observez-y un objet pendant que le miroir tourne lentement. (V. la fig.)

La figure indique le mode de suspension à employer. Dans une feuille de fort papier, grande comme une carte postale, on fera dans la longueur quatre traits au canif; on formera ainsi deux bandes étroites entre lesquelles on glissera le miroir. — Avec un peu d'attention, on remarquera tout de suite que, le miroir tournant assez lentement, les objets qu'on y voit, surtout les plus



141.

éloignés, tournent plus vite que lui. — On se sert de cette disposition pour observer de très petits mouvements de rotation, par exemple ceux d'une aiguille aimantée. Ici, c'est le fil qui tourne, et une petite rotation pourrait passer inaperçue, si on l'observait en elle-même. Mais, grâce au miroir qui y est suspendu, nous verrons que, même après des heures et malgré toutes les précautions possibles, le fil n'arrive pas à se tenir en repos. Il y a toujours dans l'air de petits courants par l'action desquels varie constamment la température des différentes parties du fil, ce qui l'empêche de s'arrêter, lui et le miroir qu'il porte.

142. Comment faut-il disposer le verre de couleur et le miroir pour que l'objet apparaisse comme s'il était vu à travers deux plaques semblables?

Le rayon de lumière allant de l'objet à l'œil doit traverser la plaque colorée d'abord dans le trajet entre l'objet et le miroir puis dans le trajet entre le miroir et l'œil. On regardera donc à travers la plaque colorée vers le miroir, et on y observera les objets dont les rayons ont déjà traversé cette même plaque pour arriver au miroir. On prendra pour objet une bougie allumée ou un paysage vivement éclairé. On placera d'abord le verre bleu à 5^{cm} environs du miroir. Pour mieux observer la différence, on regardera de temps en temps vers le miroir, à côté de la plaque colorée.

143. Disposez les deux glaces parallèlement l'une à l'autre, et observez les images d'un objet placé entre les deux.

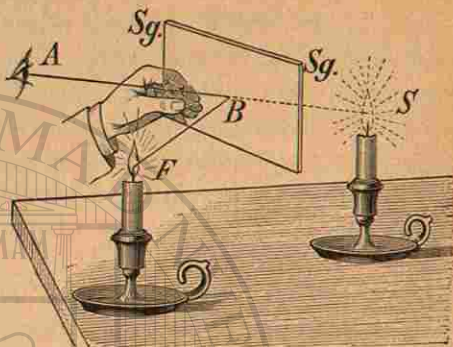
On trouvera, par quelques essais personnels, la meilleure manière d'exécuter cette expérience. La glace sans enduit réfléchit mieux lorsqu'on tient derrière elle une feuille de papier noir. En observant dans les miroirs parallèles la flamme d'une bougie, on aperçoit de nombreuses images produites par des rayons qui arrivent à l'œil les uns après une réflexion, d'autres après deux, trois, etc. Mais ces images deviennent de plus en plus faibles et finissent par échapper à l'observation.

144. Disposez les deux glaces sous un angle quelconque, et observez la position et le nombre des images produites par un objet situé entre les miroirs.

Le nombre des images dépend de la grandeur de l'angle

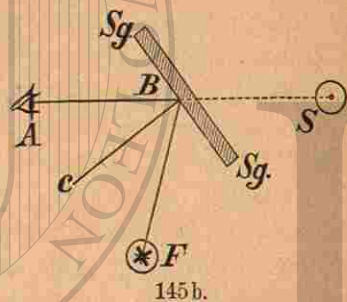
formé par les miroirs. Ainsi il s'en forme 4 pour un angle de 90° . Voyez, pour le reste, l'Exercice 143.

145. Placez à égale hauteur au-dessus de la table deux bougies dont une allumée. Entre les deux bougies tenez la glace sans enduit dans une position telle que, pour un œil placé du côté de la bougie allumée et regardant l'autre bougie à travers la glace, l'image de la flamme se produise sur la mèche éteinte, de telle sorte qu'elle paraisse allumée. (V. la fig.)



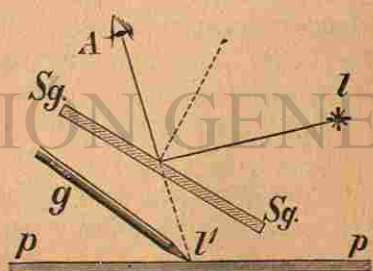
145a.

L'illusion se produit au delà de toute attente quand les deux bougies ont même hauteur et même épaisseur, et que, au moyen d'un écran, on empêche l'œil de voir la bougie F autrement que par réflexion. — Sg représente la glace. Les rayons émis par F arrivent à l'œil par le point B ; par suite, la flamme F est aperçue sur le prolongement de AB , où se trouve la mèche non allumée S . Il est bon que les distances FB et SB soient exactement égales. — C'est par un procédé du même genre qu'on produit, dans les théâtres, l'apparition de spectres sur la scène.



145b.

146. Tenez la glace sans enduit obliquement au-dessus d'une feuille de papier blanc. Un œil placé au-dessus de la glace voit alors par réflexion les objets situés devant le miroir, droit devant lui, c'est-à-dire sur le papier.



146.

On essaiera de dessiner sur le papier, avec un crayon, les contours de ces objets. (V. la fig.)

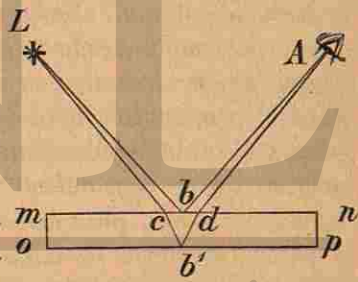
Sg représente le miroir, p , le papier, g , le crayon, l , un point de l'objet, A , l'œil du dessinateur. Le point l est aperçu par l'œil dans la direction de l' où l'on marquera un point au crayon.

147. Recherchez si les faces des deux plaques de glace sont bien planes.

On observera par réflexion sur la face à examiner un objet éloigné et rectiligne par exemple, la tige d'un paratonnerre, les montants des fenêtres d'un bâtiment éloigné, la hampe d'un drapeau, etc. Si la surface réfléchissante est bien plane, elle doit donner, en chacun de ses points, des images rectilignes comme les objets, sans courbure ni déformation. Pour mieux percevoir la différence, on observera le même objet avec une plaque de verre ordinaire, par exemple le verre bleu de la Collection. — Les plaques de verre à faces bien planes se nomment glaces, par opposition au verre à vitres ordinaire.

148. Observez la double réflexion avec le miroir argenté et avec la glace nue. (V. la fig.)

Dans les deux glaces de la collection, chaque objet se voit non seulement une fois, mais deux et même plusieurs fois. Ce fait n'aura pas échappé à l'observateur attentif, dans l'exécution des expériences précédentes. Il s'explique par cette circonstance qu'une glace a en réalité deux surfaces réfléchissantes. Dans la figure, mnp représente une glace dont les surfaces réfléchissantes sont mn et op . Le faisceau lumineux émis suivant Lb est donc réfléchi vers l'œil A aussi bien que le faisceau Lc . Le rayon Lb est renvoyé vers A par la surface mn , le rayon Lc arrive en b' , s'y réfléchit sur la face op vers d et ensuite vers A . L'œil voit donc le point lumineux dans la direction Ab et aussi dans la direction Ad : il en voit donc deux. On remarque immédiatement ces deux images quand on observe, avec la glace nue, une



148.

ligne droite éloignée. Si on ne les voit pas tout de suite, il suffit d'incliner un peu la plaque. — Mais le phénomène s'observe encore mieux lorsqu'on regarde dans le miroir une simple ligne lumineuse, ce qui peut se faire par une disposition très simple. Pour cela, on découpera dans une feuille de papier noir une fente d'environ 4^{mm} de long sur 2^{mm} de large, on fixera la feuille à la fenêtre, le côté noir vers l'observateur, et on observera dans le miroir cette ligne brillante sur fond noir. Toute lumière étrangère étant écartée, les deux images se produisent avec une netteté extrême. Avec la glace argentée, la seconde image est plus intense que la première parce que la face métallique réfléchit à peu près tous les rayons.

Dans des circonstances favorables, on observe même non seulement deux, mais plusieurs images. En voici l'explication. Le faisceau lumineux *b'd* de la figure 148 ne sort pas tout entier du verre. Une partie seulement se propage jusqu'en *A*, l'autre est de nouveau réfléchi sur la surface *mn*. Ce dernier faisceau, renvoyé ainsi sur la face *op*, s'y réfléchit de nouveau et sort en partie du verre. Il est vrai, comme le montre la figure, que ce faisceau deux fois réfléchi n'arrive plus à l'œil, mais, remarquons le bien, le point *L* n'émet pas seulement les faisceaux *Lb*, et, *Lc*; il en émet une infinité d'autres dans toutes les directions, et, parmi ces derniers, il y en aura toujours certainement quelques-uns qui parviendront à l'œil après s'être réfléchis entre les deux faces 3, 5 ou un nombre impair quelconque de fois. Ces faisceaux arrivant à l'œil dans différentes directions, on voit plusieurs points lumineux. — Ce phénomène s'observe très bien la nuit quand il fait clair de lune. En regardant cet astre dans l'une des glaces et donnant au miroir la position voulue, on peut compter jusqu'à 7 images.

149. Recherchez si les faces des deux glaces sont bien parallèles entre elles, c'est-à-dire si les plaques ont partout la même épaisseur.

Nous avons recherché, dans l'Exercice 147, si les faces des deux plaques sont bien planes; nous allons examiner si ces plans sont parallèles entre eux. Dans ce cas, il est évident que les images multiples observées dans l'Exercice 148 doivent garder la même position respective lorsqu'on tourne la plaque de manière que sa face inférieure reste toujours dans un même plan.

Plaçons donc sur la table la glace à examiner, faisons-la tourner lentement, et observons-y en même temps les images de la fente pratiquée dans le papier noir placé à la fenêtre (Exercice 148). Nous remarquons que la position relative des images de la fente se modifie: nous devons en conclure que les deux faces supérieure et inférieure ne sont pas rigoureusement parallèles, mais qu'elles font entre elles un certain angle. — On observera de même dans les deux glaces les images multiples de la lune (Exercice 148), et on remarquera comment elles se déplacent pendant la rotation de la plaque.

150. Recevez sur le verre coloré les rayons du soleil, donnez à la plaque une inclinaison telle que les rayons soient réfléchis vers le plafond blanc, et observez les images du soleil qui s'y projettent.

Il se produit dans la réflexion quelques irrégularités, provenant de ce que les faces du verre coloré ne sont pas planes. En négligeant ce détail, on aperçoit au plafond deux surfaces éclairées, l'une blanche et l'autre bleue. La blanche est produite par la face supérieure du verre, la bleue par la face inférieure. En effet, les rayons qui se réfléchissent sur cette dernière ont dû traverser deux fois le verre bleu. — Si l'on observe dans ce même verre la fente découpée dans le papier noir (Exercice 148), on voit, en plaçant convenablement le verre, une fente blanche et claire et une autre bleue et plus faible. Pour cette dernière observation, on s'approchera peu à peu jusqu'à quelques centimètres de la fente.

151. Observez comment varie l'intensité des images produites par la glace nue quand on place derrière elle du papier de couleur et enfin du papier noir.

Quand on tient derrière la glace une feuille de papier jaune, les images de la fente découpée dans le papier noir (Exercice 148) paraissent notablement plus faibles; c'est quand on tient le papier noir que les images ont la plus grande intensité. Il est clair cependant que la présence du papier derrière la glace ne change rien à la réflexion. Si les images paraissent plus faibles avec le papier jaune, c'est uniquement parce que ce papier envoie à l'œil de vifs rayons jaunes, de manière que l'œil voit alors des images claires sur un fond clair. Au contraire le papier noir

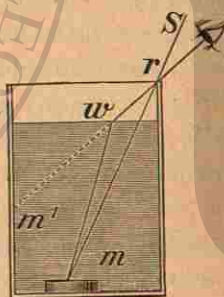
ne renvoie, peut-on dire, aucun rayon lumineux: on voit donc des images claires sur un fond obscur, et c'est ce qui les fait paraître plus nettement.

152. Comment peut-on faire un miroir horizontal avec une soucoupe pleine d'eau et une feuille de papier noir?

La surface de l'eau dans la soucoupe forme un plan horizontal, mais la réflexion sur cette surface est peu sensible, parce que la couleur blanche de la soucoupe forme un fond trop clair (Exercice 151). Mais si l'on place un disque de papier noir sur le fond de la soucoupe, la réflexion sur ce fond est supprimée, et celle qui se fait à la surface supérieure produit tout son effet.

Réfraction.

153. Mettez dans un verre une pièce de monnaie, et placez l'œil dans la position où il cesse précisément de voir la pièce par dessus le bord du verre. Versez alors peu à peu de l'eau dans le verre, et observez comment la pièce redevient peu à peu visible. (V. la fig.)



153a.

Dans la première figure, *m* est la pièce de monnaie. Pour la voir quand le verre est vide, l'œil doit se trouver au moins en *S*, le rayon *m'r* rasant alors le bord du vase. Mais s'il se trouve en dessous de *S*, il cesse de voir la pièce, car aucun rayon parti de *m* ne peut plus lui parvenir. Or, en versant de l'eau dans le verre, l'œil, sans changer de position, voit de nouveau la pièce de monnaie. Il parvient donc à l'œil des rayons émis par la pièce, et, comme elle n'a pas changé de position pas plus que l'œil ni le verre, ces rayons n'ont pu arriver à l'œil en ligne droite: ils ont dû nécessairement suivre une ligne brisée. Soit *mwr* cette ligne aboutissant à l'œil. Nous voyons que le rayon *m'w*, en passant de l'eau dans l'air ou au point *w*, se propage dans une direction différente de sa

direction primitive. Ce phénomène important se nomme *réfraction*; il se produit toujours au point où les rayons passent d'un corps dans un autre, ou, comme on dit en Optique, d'un *milieu* dans un autre. Le mot *milieu* équivaut ici au terme *conducteur* employé pour la chaleur et l'électricité.

Pour exprimer plus aisément comment se produit ce phénomène et pour en énoncer les lois, on a introduit trois notions, correspondant à celles qui ont été indiquées à propos de la réflexion (Exercice 139).

La perpendiculaire à la surface de séparation menée par le point où les rayons lumineux rencontrent cette surface s'appelle la *normale* au point d'incidence. On entend par *angle d'incidence* et *angle de réfraction* les angles que font avec la normale le rayon incident et le rayon réfracté. Dans la seconde figure, *MON* est la normale, *LOM* l'angle d'incidence, *L'ON* l'angle de réfraction. De plus, quoique ces termes ne soient malheureusement guère usités en français, nous dirons, dans l'Optique, qu'un corps est *meilleur milieu* qu'un autre lorsque la lumière se propage plus vite dans le premier que dans le second; et *moins bon milieu* dans le cas contraire.

Cela posé, voici les lois à retenir:

1. Le rayon incident, le rayon réfracté et la normale sont toujours dans un même plan.
2. Quand un rayon de lumière passe d'un meilleur milieu dans un moins bon, l'angle de réfraction est plus petit que l'angle d'incidence et *vice-versa*.

En d'autres termes, le rayon se rapproche de la normale dans le 1^{er} cas, il s'en éloigne dans le 2^d. On dit encore que le moins bon milieu est le *plus réfringent*.

Les quatre milieux optiques les plus importants sont l'air, l'eau, le verre ordinaire et le sulfure de carbone, liquide composé de carbone et de soufre. L'air est le meilleur des quatre, la lumière s'y propage plus vite que dans les trois autres; cette vitesse est moindre dans l'eau, moindre encore dans le verre et est la plus petite dans le sulfure de carbone. Dans la fig. 2, l'angle d'incidence *LOM* est plus grand que l'angle de réfraction, le rayon incident *LO* se propage donc dans un milieu optique meilleur que celui du



153b.

rayon réfracté $L'O$. Si le premier milieu est l'air, le second peut être l'eau, le verre ou le sulfure de carbone; mais si le premier est l'eau, le second ne peut être que le verre ou le sulfure de carbone.

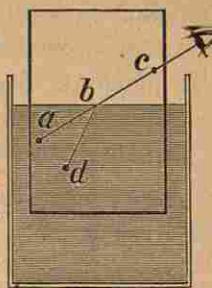
Nous avons dit, dans la 2^{de} loi, et *vice-versa*. Cela signifie qu'un rayon passant d'un milieu moins bon dans un meilleur s'éloigne de la normale, ou que l'angle de réfraction est alors plus grand que l'angle d'incidence. En un mot, le plus grand des deux angles se trouve dans le meilleur des deux milieux. Dans la 2^{de} figure, les milieux restant les mêmes, si $L'O$ est le rayon incident, LO sera le rayon réfracté. Dans la 1^{re} figure, chaque rayon partant de la pièce de monnaie passe d'un milieu moins bon, l'eau, dans un meilleur, l'air; le rayon incident mw se réfracte suivant wr . En plaçant au point w un fil à plomb, on verrait que l'angle d'incidence est plus petit que l'angle de réfraction.

Le faisceau lumineux mw arrive à l'œil dans la direction wr ; par suite, l'œil rapporte le point lumineux m sur le prolongement de wr et à une distance wm' égale à wm . La pièce de monnaie paraît donc relevée et en même temps plus éloignée.

154. Plongez obliquement et jusqu'à moitié dans l'eau une aiguille à tricoter, et observez la flexion apparente de l'aiguille.

En regardant suivant la longueur de l'aiguille, on voit la partie qui plonge dans l'eau apparaître comme repliée vers le haut. Cela s'explique aisément si l'on considère la figure 153. Soit mrS l'aiguille et m son point le plus bas. L'œil se trouvant en S ne peut, il est vrai, recevoir le rayon mn après sa réfraction, mais, comme le point m envoie des rayons dans toutes les directions, il y aura toujours quelqu'un de ces rayons (à gauche de mn) qui parviendra à l'œil et fera sur celui-ci la même impression que si le point m se trouvait plus haut qu'il ne l'est réellement. — Le même raisonnement s'appliquant à tous les points de l'aiguille situés sous l'eau, l'œil aperçoit cette partie comme une ligne droite, mais repliée vers le haut.

155. Tracez sur une feuille de fort papier la ligne droite abc , et plongez le papier dans l'eau jusqu'au point b ; en regardant le long de cb on voit la partie ba brisée vers le haut. (Exercice 154.) Cherchez alors la position que doit avoir une ligne cd pour paraître dans le prolongement de cb . (V. la fig.)



155.

Le moyen le plus simple, c'est de tracer la ligne db à part sur une bande de papier qu'on fixera en b de manière qu'elle puisse tourner autour de ce point. La ligne brisée dbc représente le chemin d'un faisceau lumineux qui parvient à l'œil quand la feuille plonge dans l'eau jusqu'en b .

156. Tracez des lignes parallèles sur une feuille de papier, et placez sur cette feuille un verre plein d'eau. Dirigez le regard perpendiculairement aux parallèles, et comparez la position relative des lignes qu'on aperçoit en regardant obliquement à travers l'eau et de celles qu'on voit directement à côté du verre.

Les lignes placées sous le verre paraissent s'être éloignées de l'observateur, mais en restant parallèles entre elles. Cette apparence s'explique par les mêmes raisons que l'expérience analogue du n° 153. La grandeur du déplacement dépend de la hauteur de l'eau: on fera varier celle-ci, en versant de l'eau dans le verre.

157. Placez au soleil un verre vide, et disposez devant ce verre un corps qui puisse produire une ombre (par exemple le verre bleu), de telle sorte que l'ombre recouvre tout juste le fond entier du verre. Versez alors de l'eau dans le verre en observant comment l'ombre se déplace par rapport au fond.

L'ombre ne recouvre plus le fond tout entier, car les rayons du soleil passent d'un milieu meilleur dans un moins bon; dès lors, ils se réfractent à la surface de l'eau, et l'angle de réfraction est moindre que l'angle d'incidence. Il est utile de représenter par un croquis la réfraction des rayons.

158. Sur la feuille de papier portant des lignes parallèles, disposées perpendiculairement à la direction du regard, placez la glace sans enduit, et observez le déplacement que subissent les lignes lorsqu'on regarde très obliquement à travers la glace.

Les lignes vues à travers la glace paraissent s'éloigner de l'observateur en restant parallèles entre elles. V. l'Exercice 156.

159. Dirigez le regard vers un objet éloigné à contours rectilignes, et placez devant l'œil la glace sans enduit à une hauteur telle qu'on n'aperçoive à travers la glace que la moitié inférieure de l'objet. Faites alors tourner la glace en la maintenant verticale, et observez le déplacement de la moitié inférieure de l'objet.

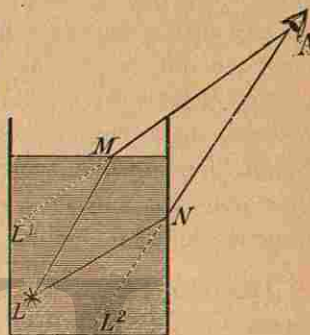
On prendra pour objet une tige de paratonnerre, une haute cheminée d'usine, etc., ou encore la fente découpée dans du papier noir (Exercice 148). — Tout rayon parti de la moitié inférieure de l'objet et arrivant à l'œil doit traverser la plaque de verre. Il subit donc une première réfraction en passant de l'air dans le verre et une seconde en passant du verre dans l'air. Mais, en sortant du verre, il s'écarte autant de la normale qu'il s'en était approché en entrant dans le verre: il ne peut donc que se déplacer parallèlement à lui-même. La grandeur de ce déplacement dépend de l'épaisseur de la plaque et de sa position par rapport à l'œil.

160. Examinez, dans la glace sans enduit, les images d'une ligne éclairée sur un fond noir, et observez comment l'intensité de l'image produite par réflexion sur la face postérieure du verre diminue notablement lorsqu'on mouille cette face avec de l'eau.

On prendra la fente disposée comme dans l'Exercice 148, dont celui-ci n'est qu'une continuation; seulement ici la face postérieure du verre est en contact, non plus avec de l'air, mais avec de l'eau. Or, c'est un fait d'expérience que les rayons de lumière passent d'autant plus facilement d'un milieu dans un autre qu'il y a moins de différence entre les conductibilités

optiques de ces milieux, ou entre les vitesses avec lesquelles la lumière s'y propage. Cette différence est très faible entre le verre et l'eau et elle n'est guère plus grande entre l'eau et l'air. Donc les rayons arrivant sur la face mouillée s'y réfléchiront en moindre proportion parce qu'il y en aura un plus grand nombre qui pourront passer du verre dans l'eau et ensuite de l'eau dans l'air.

161. Sur la paroi intérieure d'un verre plein d'eau, appliquez un carré de papier noir d'environ 10^{cm} de côté et portant, à 2^{cm} du fond, une fente triangulaire de 6^{mm} de large sur 10^{mm} de haut. Cherchez, à côté du vase et au-dessus du niveau de l'eau, dans quelle position il faut placer l'œil pour voir deux fois la fente. (V. la fig.)



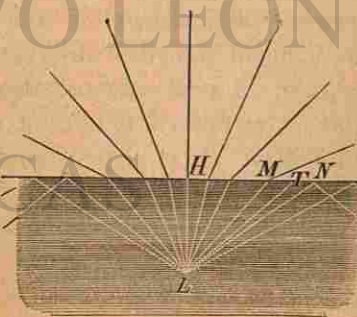
161.

Soit L un point de la fente; les deux faisceaux LMA , LNA peuvent parvenir de ce point à l'œil qui verra ainsi, dans la direction des rayons qui lui arrivent, une image en L^1 et une autre en L^2 .

Réflexion totale.

162. Les choses étant disposées comme dans l'Exercice 161, observez la réflexion totale. (V. la fig.)

Soit L un point lumineux envoyant des rayons en tous sens. Le rayon LH atteint suivant la normale la surface de séparation des deux milieux: il la traverse donc sans subir de déviation. Considérons une suite de rayons



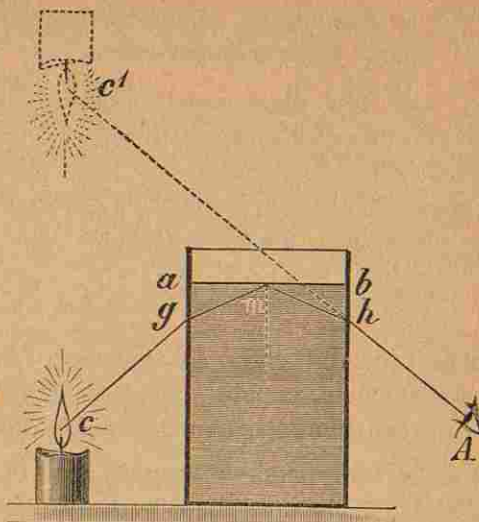
163.

qui s'écartent de plus en plus de LH , vers la droite par exemple. Les angles d'incidence de ces rayons vont sans cesse en augmentant, et comme les angles de réfraction doivent toujours être plus grands que les angles d'incidence, ils augmentent encore plus rapidement que ces derniers. Pour un rayon tel que LM , l'angle de réfraction est déjà voisin de 90° ; il atteint cette valeur limite pour un rayon tel que LT ; celui-ci reste donc, après sa réfraction, dans le plan qui sépare les deux milieux. Enfin, les rayons suivants, tels que LN , ne peuvent plus du tout pénétrer dans l'air; ils sont réfléchis, comme par un miroir, sur la surface qui sépare l'air de l'eau. C'est ce phénomène qu'on appelle *réflexion totale*. Il n'y a plus ici, comme dans nos plaques de verre, deux surfaces réfléchissantes, mais une seule: il ne se produit donc qu'une seule image. C'est pourquoi la réflexion totale nous fait voir un objet avec plus de netteté et de clarté qu'aucune autre réflexion.

Dans notre expérience, nous avons, au lieu du point lumineux L , la fente éclairée sur fond noir. Par suite, en regardant par en bas vers la surface de l'eau, exactement comme l'indique la figure 163, nous verrons la fente comme dans un miroir. — Dans les conditions de notre expérience, la fente ne doit pas se trouver trop bas dans l'eau: on retournera le papier de manière que la fente soit à 2^{cm} en dessous du niveau du liquide.

Quand l'œil de l'observateur se trouve en dessous du niveau de l'eau, il voit la fente deux fois, une fois directement et une seconde fois par réflexion totale. Dans le premier cas, les rayons venant de la fente n'éprouvent qu'une réfraction en entrant dans l'air; dans le second cas, les rayons éprouvent d'abord la réflexion totale, ensuite ils sont réfractés comme dans le premier cas. Quand l'œil de l'observateur se trouve au-dessus du niveau de l'eau, il peut encore, dans certaines circonstances, voir la fente deux fois. L'œil reçoit d'abord un des faisceaux compris entre H et T , et il peut aussi en recevoir sortant par la paroi latérale, comme dans l'Exercice 161. Dans les deux cas, les rayons sont seulement réfractés.

163. Derrière un vase rempli d'eau, placez une bougie allumée, la flamme à peu près à la même hauteur que le fond du vase; regardez d'en bas vers la surface de l'eau, et observez l'image produite par la réflexion totale. (V. la fig.)



L'œil voit, au-dessus du niveau de l'eau, l'image renversée de la flamme.

— Un faisceau lumineux partant d'un point c de l'objet rencontre le verre en g , se réfracte en entrant dans l'eau et arrive ainsi en m à la surface de séparation entre l'eau et l'air. Mais il y arrive sous une incidence si grande qu'il ne peut pénétrer dans l'air: il est renvoyé en h par réflexion totale. Là, il est de nouveau réfracté en entrant dans l'air et arrive enfin à l'œil. — Le point c émet encore bien d'autres faisceaux qui suivent un chemin analogue, mais tous ces faisceaux passent à côté de l'œil, sauf celui tracé sur la figure. Chaque point de la flamme envoyant à l'œil un faisceau semblable, l'observateur voit en c' , comme dans un miroir, l'image renversée de la flamme. (Nous avons négligé le passage des rayons à travers les parois du vase; ce passage ne peut produire qu'un léger déplacement des rayons parallèlement à eux-mêmes.)

164. Sur le bord de la table, placez un verre rempli d'eau; sur la paroi extérieure et du côté opposé à l'observateur, appliquez le papier noir avec la fente de l'Exercice 161. Observez cette fente par réflexion totale sur la surface de l'eau en tenant d'abord la fente aussi bas que possible

en dessous du niveau de l'eau et l'élevant ensuite lentement jusqu'à ce niveau.

La fente paraît comme un rectangle éclairé sur fond noir. Il est important de remarquer la position limite de la fente, lorsqu'elle atteint le niveau de l'eau. Pour bien comprendre l'observation, il est essentiel de faire une figure, simple d'ailleurs et que chacun tracera aisément.

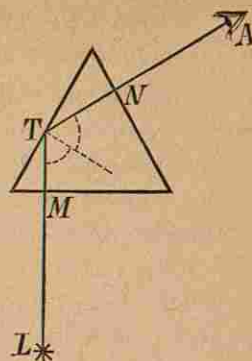
165. Dans un verre plein d'eau, tenez, dans une position inclinée, le petit tube à essais (du plongeur), et observez d'en haut l'éclat de la partie immergée.

Le tube paraît brillant comme s'il était plein de mercure. — Cette apparence s'explique par ce fait qu'aucun rayon rencontrant le verre sous un grand angle d'incidence ne peut pénétrer dans l'air du tube, mais que tous sont réfléchis vers le haut. L'éclat métallique du tube diminue d'une manière surprenante lorsqu'on tient un papier noir de manière à empêcher ces rayons d'entrer dans l'eau et d'arriver ainsi au tube.

166. Dans la disposition de l'Exercice 165, comment peut-on faire disparaître l'éclat métallique du tube autrement qu'en arrêtant les rayons obliques qui tombent sur le verre?

L'éclat métallique est produit par la réflexion totale d'un grand nombre de rayons à la surface de séparation entre le verre et l'air. Mais nous savons, par les explications de l'Exercice 160, qu'un rayon de lumière passe d'autant plus facilement d'un milieu dans un autre qu'il y a une moindre différence entre les conductibilités optiques des deux milieux. Si donc on peut mettre le verre en contact, non plus avec l'air, mais avec l'eau, un grand nombre des rayons qui se réfléchissaient pourra pénétrer dans l'intérieur du tube. C'est ce qu'on réalise aisément en versant de l'eau dans le tube. On voit alors disparaître l'éclat métallique pour la partie remplie d'eau.

167. Tenez droit devant l'œil une des faces du prisme, et observez les images produites par réflexion sur les deux autres faces, du côté intérieur. (V. la fig.)



Les images des objets situés à gauche et à droite paraissent à l'œil aussi claires et aussi brillantes que celles d'un miroir métallique. On observera de la même manière le ciel, la flamme d'une bougie, du papier de couleur, etc. On comparera surtout l'intensité de ces images avec celle des images que produisent ordinairement les miroirs de verre, par exemple une des faces extérieures du prisme. — Soit, dans la figure, *L* un point de l'objet. Le faisceau qui part de ce point et qui, arrivant à l'œil de l'observateur, lui fait voir le point *L* rencontre la surface du prisme en *M*, puis la face voisine en *T*. Mais il rencontre cette face sous un angle d'incidence si grand qu'il ne peut pas pénétrer dans l'autre milieu (l'air): il se réfléchit totalement vers *N* et arrive enfin à l'œil. L'observateur voit donc, d'après la figure, par réflexion totale sur la face du prisme, les objets situés à sa gauche.

167.

168. Appliquez sur l'une des faces du prisme une bande de papier coloré de même largeur, et observez dans quelle position du prisme le papier cesse d'être visible.

Le papier cesse d'être visible quand l'œil est placé, par rapport à la face correspondante de manière à voir dans cette face des images par réflexion totale (Exercice 167). On placera devant soi la bande de papier sur la table, le côté coloré en haut et le prisme par dessus. On trouve bientôt la position dans laquelle l'œil ne voit plus le papier. Voici l'explication de ce phénomène. De même que les rayons arrivant à l'œil ont été réfléchis sur la face inférieure du prisme, c'est-à-dire qu'ils n'ont pu sortir du verre, de même aucun rayon venant des points situés sous le prisme ne peut entrer dans celui-ci avec la direction qu'il devrait avoir pour parvenir jusqu'à l'œil. (Quand on place le prisme sur le papier, il reste toujours de l'air entre le papier et le verre.)

169. Répétez l'Exercice 168 en déposant une goutte d'eau quelque part entre le papier et la face du prisme.

On voit encore le papier à la place mouillée, même après que le reste est devenu invisible par la réflexion totale. — On placera la bande de papier sur la table, comme dans l'Exercice 168, on y déposera une goutte d'eau, et on recouvrira le tout avec le prisme. L'œil, étant de nouveau placé comme dans l'Exercice 168, verra encore nettement le papier coloré à la place mouillée. Celle-ci ne disparaît que plus tard, lorsque l'œil ne se trouve plus qu'à une petite distance au-dessus de la table. — L'explication de ce phénomène repose sur le fait expliqué plus haut (Exercice 160), que les rayons de lumière passent plus facilement de l'eau dans l'air que du verre dans l'air. C'est pourquoi la place mouillée peut encore envoyer des rayons qui pénètrent dans le verre de manière à parvenir à l'œil.

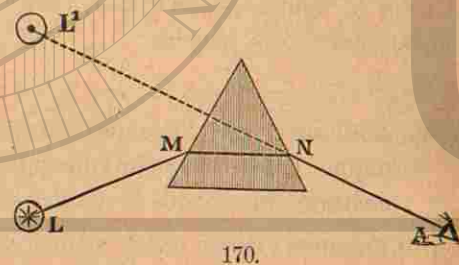
Déviation des rayons par le prisme.

170. Considérez à travers le prisme la flamme d'une bougie. (V. la fig.)

Soit L un point de la flamme et A l'œil de l'observateur. Dans la position du prisme représentée ici,

le rayon LM émané de l'objet arrive, après une première réfraction, en N , et après une deuxième, en A . Par suite, l'œil voit le point L dans la direction ANL .

On tiendra le prisme verticalement devant l'œil; on placera la bougie à environ 1^m de distance, et on l'observera dans le prisme, en dirigeant le regard, non sur elle, mais un peu de côté, comme le montre la figure. Les bords de la flamme présentent des colorations qui seront expliquées plus tard. — Dans les commencements, il faut s'exercer un peu pour bien réussir cette expérience. On considérera ensuite dans le prisme un doigt placé à différentes distances.



171. Lisez à travers le prisme un manuscrit ou un imprimé.

Cette expérience présentera d'abord quelques difficultés, mais il ne faut pas pour cela y renoncer, car il est indispensable, pour les expériences ultérieures, de s'habituer à manier le prisme d'une manière sûre. On tiendra les arêtes du prisme parallèlement aux lignes de l'écriture. On dirigera le regard, non vers le papier, mais plus loin au-dessus. Si les caractères paraissent renversés, c'est qu'on les voit par réflexion simple sur une face extérieure du prisme ou bien par réflexion totale à l'intérieur. Quand l'expérience est bien faite, les caractères doivent apparaître droits.

172. Considérez les barreaux d'une fenêtre à travers le prisme tenu verticalement.

On remarquera que les lignes verticales de l'objet paraissent courbées. Cela vient de ce que les rayons émis par les différents points de l'objet et arrivant ensuite à l'œil traversent le prisme dans des directions différentes. Les deux réfractions qu'ils éprouvent diffèrent donc d'une manière correspondante.

En Optique, on entend par *prisme* un corps transparent limité par deux plans faisant entre eux un certain angle. Cet angle se nomme *l'angle réfringent* ou simplement l'angle du prisme; la ligne suivant laquelle se coupent les deux faces s'appelle *l'arête* du prisme. Ainsi, dans la figure 170, l'arête est l'intersection des deux faces M et N . Quand on regarde, à travers le prisme tenu verticalement, les lignes verticales d'un objet, ces lignes paraissent courbées, et leur concavité est tournée du côté de l'arête. La courbure est d'autant plus forte que l'œil et le prisme se trouvent plus près de l'objet.

173. Considérez à travers le prisme la flamme d'une bougie, et déterminez, en faisant tourner le prisme, la position pour laquelle l'image de la flamme est le moins déviée.

On installera le prisme à un mètre environ de la flamme et à la même hauteur. Si l'on considère la flamme à travers le prisme en le faisant tourner lentement, on voit se mouvoir également l'image de la flamme. Cette image s'approche de l'objet (la flamme), puis elle s'en éloigne de nouveau. Il y a donc une position où elle est plus rapprochée de l'objet que dans toute

autre; c'est alors évidemment que les rayons partis de l'objet ont subi, en traversant le prisme, le moindre déplacement ou, comme l'on dit, la *déviatiou minimum*. On trouvera bientôt, par quelques tâtonnements, la position voulue. La loi qui détermine cette position est importante; en voici l'énoncé: Quand un rayon de lumière traversant un prisme éprouve la déviation minimum, l'angle d'entrée et l'angle de sortie (ou d'émergence) sont égaux.

174. Appliquez sur une feuille de papier noir une bande de papier rouge de 5^{mm} de large environ, et placez au-dessus un verre plein d'eau. Regardez à travers le prisme la bande colorée, et observez sa position lorsque le prisme se trouve d'abord dans l'air, puis plongé dans l'eau à moitié et enfin entièrement dans l'eau.

Quand le prisme plonge à moitié dans l'eau et qu'ainsi le liquide vient en contact avec l'une des faces réfringentes, l'image de la bande colorée se rapproche notablement de l'objet. Elle se trouve tout près de l'objet quand le prisme est entièrement dans l'eau. Voici comment s'explique ce phénomène. Quand le prisme est à moitié dans l'eau, un faisceau de rayons partant du papier pénètre immédiatement de l'eau dans le prisme. Il est donc alors moins dévié que s'il pénétrait de l'air dans le prisme (Exercice 153). Quant à la déviation que subit ce faisceau en sortant du prisme dans l'air, elle reste sensiblement la même que si le prisme entier était dans l'air. La déviation totale subie par ce rayon a donc diminué.

175. Sur le bord extérieur d'un verre rempli d'eau, appliquez une feuille de papier noir percée au milieu d'une ouverture carrée de 5^{mm} de côté; placez le verre au bord de la table, et essayez de voir le carré éclairé sur fond noir en regardant à travers la paroi latérale du verre, dans la partie en contact avec l'eau.

Pour que l'on puisse voir le carré à travers la paroi latérale du verre, il faut que les rayons de lumière traversent l'eau pour arriver à l'œil. Or ils sont réfractés à leur entrée dans l'eau et à leur sortie. L'eau dans le verre agit donc comme un prisme dont les faces formeraient un angle de 90°. Mais, un tel prisme agit d'une manière très défectueuse. S'il était en verre, aucun rayon ne pourrait le traverser: ils subiraient tous la réflexion totale

soit sur la première face du prisme soit, en tout cas, sur la seconde. (C'est pour cela qu'on ne peut rien voir à travers deux faces adjacentes d'un cube de verre.) De même, notre prisme d'eau arrête à peu près tous les rayons, et il faut beaucoup de précautions pour recevoir dans l'œil quelques-uns de ceux qui, partis de l'ouverture, réussissent à traverser l'eau. Il faut, pour voir le carré, couvrir de papier noir la paroi du verre située du côté de la lumière et regarder très obliquement vers le haut.

176. Placez sur la table un verre rempli d'eau jusqu'au bord; appliquez sur la paroi du verre une bande de papier coloré ou une ouverture en fente pratiquée dans du papier noir, et cherchez à voir ces objets à travers l'eau en tenant l'œil au-dessus du niveau du liquide.

En écartant autant que possible toute lumière étrangère, on peut encore voir le papier coloré ou la fente, même quand on tient ces objets assez bas en dessous du niveau de l'eau. Pour le reste, voyez les Exercices 175 et 164.

177. Placez sur la table un verre rempli d'eau jusqu'au bord; sur la paroi du verre et du côté opposé à l'observateur, appliquez une bande longue et étroite de papier de couleur mouillé. Regardez alors dans le verre obliquement et par en haut, observez la partie du papier que l'on voit à travers l'eau et celle qu'on voit directement en regardant à côté du verre, et comparez la position de ces deux parties.

La partie vue à travers l'eau envoie à l'œil des rayons qui ont subi une simple réfraction; elle paraît donc plus élevée que la partie vue directement. Si le papier n'était pas mouillé, on ne le verrait pas à travers l'eau, à moins de précautions spéciales (Exercice 176); l'eau dont le papier est humecté agit ici comme il a été expliqué aux Exercices 169 et 160.

178. Placez, d'abord sur le sol, puis sur la table, une bougie allumée, et tenez à la main un verre plein d'eau, verticalement au-dessus de la flamme, à une distance convenable. L'œil placé au-dessus et dans l'axe du verre aperçoit la flamme à travers l'eau. Eloignez

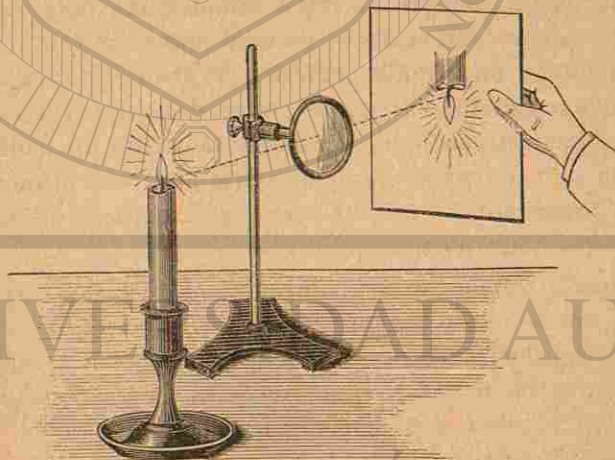
alors le verre de la bougie, et essayez de trouver une place où l'œil, placé de même dans l'axe du verre, puisse voir la flamme à travers la partie des parois qui est en contact avec l'eau.

On ne trouvera pas la place cherchée. La raison en a été exposée aux nos 176 et 177. — On renversera la disposition de l'expérience en examinant par en dessous la bougie placée au-dessus de l'eau.

La lentille.

179. Placez une bougie à 20^{cm} de distance devant la lentille et derrière celle-ci un écran à environ 18^{cm}: observez sur l'écran l'image de la flamme. (V. la fig.)

La figure indique la disposition exacte de l'expérience. Si l'écran est bien placé, on y voit l'image renversée de la flamme. Il n'est pas nécessaire, pour cette expérience, que la chambre soit obscure; il suffit que l'écran ne soit pas vivement éclairé par la lumière du jour.



179.

180. Projetez sur l'écran, d'après la disposition de l'Exercice 179, l'image du paysage situé devant la fenêtre.

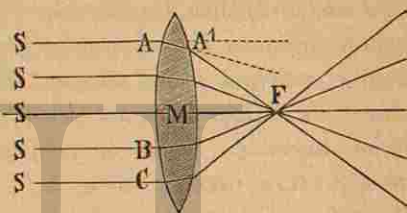
L'observateur se placera avec l'écran et la lentille dans le fond de la chambre et dirigera la lentille vers les objets situés

en face de la maison, bâtiments, arbres etc. Il tiendra l'écran à 9^{cm} environ derrière la lentille. — On projettera de même, par manière d'exercice, les images des objets situés dans la chambre. La distance de l'écran à la lentille dépend alors de la distance des objets à cette même lentille.

181. Observez plus exactement l'image du paysage projetée par la lentille sur l'écran blanc.

Si l'écran est placé de telle manière que les objets situés au premier plan apparaissent nets et distincts, les objets plus éloignés paraissent confus. La raison de ce fait sera donnée plus loin. (Exercice 201).

182. Projetez sur un écran blanc, d'après la disposition des Exercices précédents, une image du soleil. (V. la fig.)



182.

On installera la lentille de telle sorte que les rayons solaires tombent en plein sur l'une des faces, et l'on tiendra l'écran à 9^{cm} environ derrière la lentille. On voit sur l'écran l'image du soleil, ronde en général, enveloppée de nuages si le ciel est couvert, et en forme de croissant pendant une éclipse partielle.

Cette expérience est bien connue, surtout par ce fait que le papier commence à brûler à la place où se forme l'image. C'est pour cela qu'on appelle cette place le *foyer* de la lentille; la distance de ce point à la lentille se nomme *distance focale*. Comme il a été dit plus haut, la distance focale de notre lentille est d'environ 9^{cm}.

Cette lentille est limitée par deux surfaces sphériques, bombées vers l'extérieur: c'est ce qu'on nomme une lentille *biconvexe*. Ces deux portions de sphère se touchent suivant un plan qui est la *section principale* de la lentille. Dans la figure, la droite *SMF* qui joint les centres des deux faces se nomme *l'axe principal*. Sur cet axe se trouve un point *M*, appelé *centre optique*, dont la position dépend de la nature du verre et de la courbure des faces. Quand celles-ci ont la même courbure,

comme dans notre lentille, le centre optique est au milieu de l'épaisseur.

Aucun rayon lumineux passant par le centre optique d'une lentille n'est dévié par la réfraction; ceux qui suivent l'axe principal passent en ligne droite; les autres subissent simplement un petit déplacement, parallèlement à eux-mêmes; on nomme ces derniers: *axes secondaires*. Le foyer d'une lentille est l'image d'un objet situé à l'infini sur l'axe principal. Dans cette position de l'objet, les rayons qu'il envoie sur la lentille peuvent, sans erreur, être regardés comme parallèles entre eux. On peut dire aussi: Tous les rayons qui tombent sur une lentille parallèlement à l'axe principal se réunissent au foyer derrière la lentille.

On voit clairement par là pourquoi l'image du soleil se produit sur l'écran quand on place celui-ci à une distance égale à la distance focale. En effet, le soleil est tellement éloigné de la lentille que les rayons envoyés par un *point* du soleil vers la lentille peuvent, sans erreur, être regardés comme parallèles entre eux. Dans la figure, les rayons *S, S, S* arrivent tous d'un point du soleil. Le rayon *SA* est d'abord réfracté vers *A'* puis vers *F*. Les rayons *SB* et *SC* sont également déviés vers *F*. Le rayon *SM* passant par le point *M* n'est pas dévié: c'est l'axe principal si les rayons incidents sont parallèles à cet axe, ou bien un axe secondaire dans le cas contraire.

Notre lentille a évidemment deux foyers, un derrière chaque face, car nous pouvons recevoir les rayons solaires sur chacune de ces faces pour obtenir une image du soleil. Les deux foyers sont également distants du centre optique, parce que les deux courbures sont égales. Si alors la distance focale est de 9^{cm} , le rayon des deux portions de sphère est aussi de 9^{cm} environ.

183. Déterminez la distance focale de notre lentille en projetant sur un écran l'image d'un objet éloigné et mesurant la distance entre la lentille et l'écran.

On prendra pour objet un bâtiment éloigné. Sans doute, les rayons qu'il envoie sur la lentille ne sont pas rigoureusement parallèles, de sorte que la distance de l'image à la lentille n'est pas exactement égale à la distance focale, mais la différence est si petite qu'on peut la négliger sans aucune erreur. — On se placera donc au fond de la chambre, et on y recevra sur un écran blanc l'image d'un objet éloigné produite par la lentille;

on mesurera la distance de l'écran à la lentille: c'est la distance focale.

C'est là le procédé le plus usité pour déterminer rapidement et avec une exactitude suffisante la distance focale d'une lentille biconvexe. On ne prend pas pour objet le soleil, parce que l'éclat de son image éblouit l'œil, et l'empêche de bien apprécier la netteté de l'image pour placer exactement l'écran à la place voulue.

184. Placez une bougie allumée au foyer de la lentille, tenez un écran derrière celle-ci, et observez-y l'image qui se produit.

On ne trouve aucune position de l'écran où se produise une image nette et distincte de la flamme.

Explication: Le foyer est l'image d'un point lumineux situé à l'infini. Donc inversement, l'image d'un point situé au foyer se forme à une distance infinie: dans les deux cas, le trajet des rayons est le même, mais parcouru en sens inverse. En d'autres termes: Quand un point lumineux se trouve au foyer d'une lentille, les rayons émis par ce point sortent de la lentille parallèlement à l'axe principal.

Mais comme une flamme est un corps lumineux et non pas un simple point, elle ne peut jamais se trouver tout entière au foyer: c'est pourquoi on ne réussit jamais à faire prendre à tous les rayons sortant de la lentille des directions rigoureusement parallèles.

185. Enflammez une allumette au moyen de la lentille.

On recevra sur la lentille les rayons solaires, et l'on tiendra la tête de l'allumette au foyer. La lentille réfracte non seulement les rayons lumineux mais aussi les rayons calorifiques, et elle les concentre sur une petite surface voisine du foyer des rayons lumineux. Il s'y produit une élévation de température suffisante pour enflammer l'allumette.

186. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, tenez le verre coloré devant une moitié de la lentille, et observez derrière celle-ci, sur un écran blanc, la marche des rayons lumineux.

Comme le montre la figure 182, le demi-cercle coloré

diminue sur l'écran à mesure que celui-ci s'éloigne depuis la lentille jusqu'au foyer. Quand il a dépassé le foyer, le demi-cercle qui paraissait blanc devient coloré, et vice-versa. On fera mouvoir la plaque de verre pendant l'expérience.

187. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, tenez le verre coloré devant la lentille tout entière, et observez derrière celle-ci, sur un écran blanc, l'intensité lumineuse du disque projeté.

L'intensité du disque augmente quand l'écran s'approche du foyer. Elle est d'autant plus faible que le cercle est plus grand. — Quand on éloigne le verre coloré et qu'on dispose l'écran aussi loin que possible de la lentille, par exemple sur le plancher, l'ombre portée par le corps de la lentille paraît comme l'ombre d'un disque opaque, d'un cercle de carton, par exemple. — La lentille doit être disposée de telle sorte que les surfaces brillantes projetées sur l'écran soient rondes comme la lentille elle-même: alors son axe principal passe par le centre du soleil.

188. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, et placez derrière la lentille un écran à une distance telle que le cercle éclairé ait le même diamètre que la lentille. Comment déterminer alors la distance focale?

Le cercle éclairé sur l'écran doit avoir la même grandeur que la section principale de la lentille. Alors, d'après la figure 182, la distance de l'écran à la lentille est égale à deux fois la distance focale.

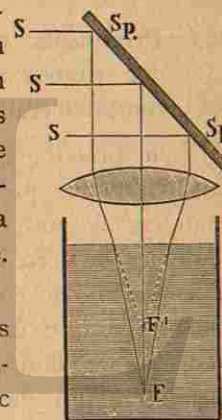
189. Observez la flamme d'une bougie dans la lentille comme dans un miroir.

Pour faciliter l'observation, on tiendra derrière la lentille une feuille de papier noir. On voit deux images de la flamme, l'une droite, l'autre renversée. Ces images proviennent des rayons émis par la flamme et réfléchis les uns sur la face antérieure de la lentille, les autres sur la face postérieure. Elles sont d'autant plus grandes que la flamme est plus près de la lentille. L'image renversée est la plus faible des deux.

190. Des deux images observées dans l'Exercice précédent, quelle est celle qui est produite par réflexion sur la face postérieure de la lentille?

C'est l'image renversée. — On pourrait déjà le conclure de ce qu'elle est la plus faible. Mais on s'en convaincra mieux encore en observant ce qui se passe lorsqu'on mouille la face postérieure. (Il suffit d'y appliquer un doigt mouillé.) A l'instant où l'eau vient mouiller le verre, elle permet à une partie des rayons, qui auparavant se réfléchissaient, de sortir de la lentille. Par suite, l'image renversée s'affaiblit et devient confuse, tandis que l'image droite ne change pas. Voyez à ce sujet les Exercices 160 et 169.

191. Au-dessus d'un verre rempli d'eau, installez la lentille de telle sorte que son axe principal soit vertical; au moyen du miroir, dirigez sur la lentille les rayons du soleil parallèlement à l'axe principal. Approchez alors de la lentille le verre d'eau, et observez la marche des rayons dans le liquide. (V. la fig.)



191.

Pour rendre visible le chemin des rayons dans l'eau, on y tiendra un morceau de savon sur lequel on frotera quelques fois avec le doigt, de manière que les parcelles dissoutes donnent à l'eau une couleur bleuâtre (V. l'Exercice 127). On peut aussi employer avantageusement quelques gouttes de teinture de myrrhe. — Dans la figure, Sp est le miroir. S'il n'y avait pas d'eau dans le verre, l'image du soleil se ferait en F' , mais l'eau fait dévier les rayons de telle manière que cette image se forme seulement en F . On écartera autant que possible toute lumière étrangère.

192. A quelle distance derrière la lentille vont se croiser les rayons du soleil lorsque, en sortant de la lentille, ils passent, non pas dans l'air, mais dans l'eau?

Le foyer d'une lentille est le point où vont se croiser les

rayons qui tombent sur la lentille parallèlement à l'axe principal. Notre expérience montre que la distance focale dépend essentiellement de la nature du milieu optique qui entoure la lentille. — On remplira d'eau de savon jusqu'au bord la grande éprouvette, et on tiendra la lentille au-dessus de l'eau, de manière que sa face inférieure vienne précisément au contact du liquide. On dirige alors, au moyen du miroir, les rayons solaires parallèlement à l'axe principal, et l'on cherche dans l'eau le point d'intersection des rayons lumineux. On facilite notablement l'observation en appliquant un papier noir sur le verre, du côté du jour. Les rayons se coupent à environ 20^{cm} au-dessous du niveau de l'eau; le foyer se trouve donc à 20^{cm} de la lentille.

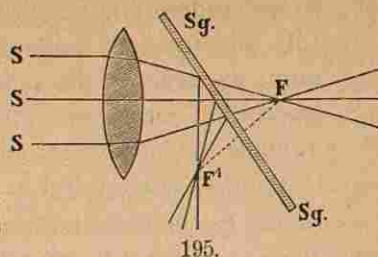
193. Produisez, au moyen de la lentille, la réflexion totale des rayons solaires sur la paroi intérieure d'un verre rempli d'eau.

On prendra la grande éprouvette remplie d'eau comme dans l'Exercice précédent, on écartera de nouveau la lumière étrangère au moyen du papier noir, et on disposera la lentille au-dessus du verre de telle sorte que les rayons solaires traversant la lentille ne se coupent qu'au-dessous du niveau de l'eau. Si l'on fait cette expérience à un moment où le soleil est élevé au-dessus de l'horizon, par exemple vers midi, on voit clairement que les rayons du soleil ne traversent pas la paroi du verre, mais qu'ils y éprouvent la réflexion totale.

194. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, placez le miroir argenté entre la lentille et le foyer, et cherchez la place où se forme l'image du soleil dans différentes positions du miroir.

L'image du soleil se forme toujours, en avant du miroir, à la même distance qu'elle se formerait derrière le miroir, si les rayons ne subissaient pas de réflexion. Le miroir n'empêche donc pas l'image de se produire, il en change seulement la position.

195. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, placez entre la lentille et le foyer la glace sans enduit, et cherchez la place où se forme l'image du soleil dans différentes positions du miroir. (V. la fig.)



On trouve deux images du soleil. L'une se produit derrière la glace à la même distance que l'autre par devant. Une partie des rayons solaires *S, S, S* traverse la glace *Sg.* et produit au foyer l'image du soleil *F*; l'autre partie est réfléchi par la glace et donne l'image *F'*. Si la plaque de glace est fortement oblique par rapport à l'axe principal, l'image par réflexion l'emporte en intensité sur l'autre.

196. Placez à 30^{cm} environ devant la lentille deux bougies allumées, et recevez sur un écran blanc derrière la lentille les images des deux flammes. Placez alors entre la lentille et les images le miroir argenté, et cherchez la place où se forment les images dans différentes positions du miroir.

Les images sont toujours aussi loin devant le miroir qu'elles le seraient derrière le miroir, si les rayons ne subissaient pas de réflexion. (V. l'Exercice 138.) — Les images paraissent renversées, et la flamme de droite paraît à gauche.

197. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, tenez, derrière la lentille et à son foyer, le miroir argenté, perpendiculairement à l'axe principal, et observez la marche des rayons lumineux.

Les rayons sont réfléchis par le miroir vers la lentille et en sortent parallèles entre eux pour retourner vers le soleil. On tiendra à différentes distances un écran blanc devant une moitié de la lentille, et l'on observera le demi-cercle éclairé. La marche des rayons s'observe d'une manière encore plus frappante lorsqu'on place le verre coloré devant la moitié de la lentille qui n'est pas recouverte par l'écran. On avancera lentement le verre bleu devant la lentille, perpendiculairement à l'axe principal.

198. Pour étudier plus exactement les propriétés de la lentille biconvexe, recouvrez-la d'un disque de papier, muni de deux ou de plusieurs ouvertures, recevez sur la lentille les rayons du soleil ou ceux d'une bougie allumée, et observez sur un écran blanc, derrière la lentille, l'image qui se produit.

D'après cet énoncé, les rayons émis par l'objet (soleil ou bougie) ne peuvent traverser la lentille qu'à un petit nombre de places. Néanmoins l'expérience montre qu'il se produit toujours sur l'écran une image régulière de l'objet; seulement cette image est d'autant plus faible que l'ouverture est plus petite. Ainsi, en couvrant toute la lentille sauf une petite ouverture carrée en dehors du centre, on obtient encore, en plaçant bien l'écran, une image de la bougie. On placera celle-ci à 20^{cm} environ de la lentille. L'ouverture étant très petite, l'image est très faible. On fera donc cette expérience le soir, pour mieux pouvoir écarter toute lumière étrangère.

L'objet et l'image par rapport à la lentille biconvexe.

199. Placez devant la lentille une bougie allumée dont l'image se projette derrière la lentille sur un écran blanc. Faites alors une série d'expériences en donnant à la bougie diverses positions depuis le foyer principal jusqu'à 2^m environ de la lentille et mesurant chaque fois les distances de l'image et de l'objet. (V. la fig. 179.)

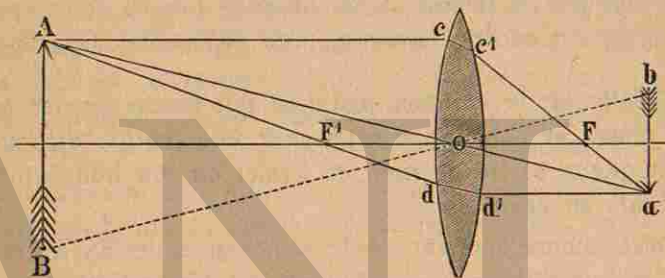
Voici les valeurs que nous avons obtenues dans une série d'expériences:

Distance de l'objet à la lentille.	Distance de l'image à la lentille.	Distance de l'image à l'objet.
9 ^{cm}	infiniment grande	infiniment grande
10 ^{cm}	90 ^{cm}	100 ^{cm}
12 ^{cm}	36 ^{cm}	48 ^{cm}
15 ^{cm}	22 ^{cm}	37 ^{cm}
18 ^{cm}	18 ^{cm}	36 ^{cm}
27 ^{cm}	13 ^{cm}	40 ^{cm}
36 ^{cm}	12 ^{cm}	48 ^{cm}
45 ^{cm}	11 ^{cm}	56 ^{cm}
90 ^{cm}	10 ^{cm}	100 ^{cm}
200 ^{cm}	9 ^{cm}	209 ^{cm}

La figure 179 indique la disposition de l'expérience.

L'examen de la troisième colonne du tableau montre que la distance entre l'image et l'objet ne peut pas devenir inférieure à une certaine valeur limite bien déterminée. Au début de l'expérience, l'image se trouvait à une distance infinie de la lentille, et elle s'est rapprochée du foyer à mesure que l'objet s'éloignait de l'autre foyer. (Pour plus de clarté, on n'a porté au tableau que des nombres entiers.)

200. Recommencez la série des expériences de l'Exercice précédent, en comparant en outre chaque fois la grandeur et la position de l'image avec la grandeur et la position de l'objet. (V. la fig.)



200.

L'image paraît toujours renversée; elle est d'abord plus grande que l'objet, puis elle diminue constamment de manière à devenir plus petite que l'objet. Plus elle est grande, plus elle est faible.

Pour faire comprendre les phénomènes observés dans cet Exercice et dans le précédent, nous devons expliquer comment se forme l'image d'un objet dont la distance à la lentille est comprise entre la distance focale et le double de cette distance. Soit la flèche ab l'objet, O le centre optique de la lentille, F et F' les foyers. Pour plus de clarté, on n'a figuré en détail que la formation de l'image d'un seul point, a . De ce point partent des rayons dans toutes les directions; nous n'avons à considérer que ceux qui tombent sur la lentille. Parmi ces derniers, nous ne suivrons dans leur trajet ultérieur que ceux qui nous sont déjà connus par les considérations développées jusqu'ici. Il y en a trois, savoir ad' , aO et ac' . Le rayon ad' , étant parallèle à l'axe principal, passe, après réfraction, au foyer F' (Exercice 182);

son chemin est donc $ad'dF'$. Le rayon aO est un axe secondaire (Exercice 182), il n'est donc pas dévié en traversant la lentille; son chemin est aOA . Le rayon ac' passe par le foyer F , il sort donc de la lentille parallèlement à l'axe principal (Exercice 184); son chemin est $aFc'A$. Tous les rayons partant du point a et compris entre les 3 rayons considérés se coupent comme eux au point A . (C'est la propriété optique la plus importante des lentilles convergentes.) Il se produit donc en A une image du point a . Les images des autres points de l'objet s'expliquent d'une manière toute semblable, de sorte que leur ensemble forme AB , image de ab . — Nous voyons que l'image est renversée et plus grande que l'objet. En traçant de même, par manière d'exercice, l'image d'un objet dont la distance à la lentille surpasse le double de la distance focale, nous verrons que l'image est encore renversée, mais plus petite que l'objet.

201. Quelle est la moindre distance qui puisse exister entre l'image et l'objet par rapport à une lentille biconvexe, et quelle est la position de l'objet où son image lui est égale en grandeur?

Voici, comme l'ont fait voir les expériences des Exercices 199 et 200, et comme le prouvent d'ailleurs des démonstrations mathématiques, le principe fondamental relatif aux lentilles convergentes:

Quand l'objet se trouve devant la lentille à une distance égale au double de la distance focale, l'image se forme à la même distance derrière la lentille. C'est alors que la distance entre l'image et l'objet est la plus petite possible; elle est égale à quatre fois la distance focale. La grandeur de l'image est alors égale à celle de l'objet.

Celui qui possède bien ce principe n'aura jamais de difficulté dans le maniement de la lentille. Si l'objet, placé à deux fois la distance focale, s'approche de la lentille, l'image s'éloigne de la lentille et devient plus grande que l'objet. Mais l'image se déplace considérablement plus vite que l'objet; en effet, pendant que l'objet parcourt une fois la distance focale, savoir depuis le double de cette distance jusqu'au foyer, l'image s'éloigne depuis le double de la distance focale jusqu'à l'infini. Si, au contraire, l'objet, placé à deux fois la distance focale, s'écarte de la lentille, l'image s'approche de la lentille et devient plus petite que l'objet. Mais alors l'image se déplace considérablement moins

vite que l'objet; en effet, pendant que l'objet s'éloigne depuis le double de la distance focale jusqu'à l'infini, l'image ne parcourt qu'une fois la distance focale, savoir depuis le double de cette distance jusqu'au foyer.

Nous pouvons maintenant nous expliquer ce que nous avons observé dans l'Exercice 181. Les différents objets du paysage sont à des distances différentes de la lentille, par suite, les images de chacun d'eux se forment à des distances différentes derrière la lentille: elles ne peuvent donc pas se projeter toutes à la fois sur un même plan.

La propriété que possèdent les lentilles de produire des images trouve son application dans divers appareils. La chambre noire, décrite aux nos 126 et 127, peut être notablement perfectionnée si l'on remplace la petite ouverture par une lentille. Il est vrai qu'alors l'image ne se produit plus qu'à une distance déterminée de la lentille et qu'il faut placer l'écran à cette distance, mais l'image est, en revanche, bien plus nette et mieux éclairée que les images produites d'après les Exercices 126 et 127.

La chambre noire (camera obscura) doit donc être construite exactement d'après la distance focale de la lentille qu'on doit y adapter.

202. Placez une bougie allumée et l'écran à une distance l'un de l'autre supérieure à quatre fois la distance focale et la lentille entre les deux; trouvez alors deux positions de la lentille telles qu'il se produise sur l'écran soit une image plus grande soit une image plus petite que l'objet.

On placera l'écran à 50^{cm} de la bougie. Lorsque la lentille est plus près de l'objet que de l'écran, il se produit une image plus grande que l'objet; l'image est plus petite dans le cas contraire. On trouvera que les deux positions de la lentille divisent dans le même rapport la ligne qui joint la flamme à l'écran, soit 50^{cm}.

203. Tenez à 10^{cm} devant une bougie allumée un écran muni d'une fente (la fente à la hauteur de la flamme), et projetez avec la lentille, sur un écran blanc, une image de la fente à 50^{cm} de celle-ci.

L'écran blanc se trouvera donc à 50^{cm} de l'écran à fente. On remarquera qu'il se produit d'abord une image de la bougie; l'image de la fente se produit seulement lorsqu'on écarte davantage la lentille de la fente. Ces images sont plus grandes que les objets correspondants. Si l'on continue à écarter la lentille de la fente, il se produit une image de la fente, mais plus petite, et enfin une image, plus petite aussi, de la bougie.

204. Dirigez, au moyen du miroir, les rayons du soleil sur un écran à fente, et projetez avec la lentille sur un écran blanc une image de la fente à 50^{cm} de celle-ci.

On obtient une image de la fente, plus grande ou plus petite, d'après la position de la lentille. Si la distance de celle-ci à l'écran blanc est égale à la distance focale, il se produit sur l'écran une image du soleil.

205. Déterminez la distance focale de la lentille de cette Collection, en appliquant le principe fondamental des lentilles convergentes.

On conservera la disposition de l'Exercice 204. D'après les explications données aux nos 201 et 202, la distance de l'image à la fente est égale à quatre fois la distance focale lorsque l'image et la fente ont exactement la même grandeur. On cherchera donc par tâtonnements où il faut placer l'écran blanc pour que la lentille, située entre l'écran et la fente, projette une image égale à l'objet. On mesure alors la distance entre l'écran et la fente: le quart de cette distance est la distance focale cherchée.

L'œil et la vision.

206. Représentez le phénomène physique de la vision au moyen de la lentille et d'un écran blanc.

Les parties principales de l'œil sont le cristallin et la rétine. Notre lentille fera l'office de cristallin, un écran blanc celui de rétine.

L'œil fonctionne comme une chambre noire (Exercice 201); en effet, le cristallin projette sur la rétine de petites images renversées des objets situés devant l'œil. L'œil normal, ou

mieux *l'œil emmétrope*, est conformé de telle manière que, dans l'état de repos et sans aucun effort, les images d'objets très éloignés se forment exactement sur la rétine, sorte de réseau formé par les ramifications du nerf optique et qui tapisse le fond de l'œil. Les vibrations lumineuses produisent sur ces filaments nerveux une impression qui se transmet par le nerf optique jusqu'au cerveau et détermine ainsi la sensation de la lumière.

Projetez sur un écran blanc, au moyen de la lentille, l'image d'un objet très éloigné: vous aurez représenté exactement tout le phénomène physique qui se passe à l'intérieur de l'œil quand il voit un objet vers lequel il est dirigé. L'expérience montre que l'écran est alors à 9^{cm} de la lentille. L'œil ne présente pas de distances aussi considérables; la rétine n'est qu'à 15^{mm} environ du centre optique du cristallin. Il faut donc que la courbure du cristallin soit différente de celle de notre lentille. Doit-elle être plus grande ou plus petite?

En appliquant les lois de la réfraction développées au n° 153 et traçant une figure analogue à celle de l'Exercice 182, mais donnant à la lentille une courbure plus forte, nous trouvons immédiatement la réponse: La lentille a une courbure d'autant plus forte que l'image d'un objet éloigné se forme plus près de la lentille. — On peut aussi résoudre la même question par la simple expérience qui suit.

207. Tenez horizontalement la lentille portant une goutte d'eau suspendue à sa face inférieure; dirigez, au moyen du miroir, les rayons du soleil sur la lentille, et cherchez en dessous de celle-ci l'image du soleil.

Pour faire adhérer la goutte d'eau à la lentille, on touchera avec celle-ci la surface du liquide, et on la relèvera verticalement; il y restera suspendue une goutte d'eau qui, par sa tension superficielle, produira le même effet que si le verre lui-même de la lentille avait une courbure plus forte. (La goutte d'eau ne doit pas être trop grosse.) — Nous obtenons deux images du soleil, formées, l'une par les rayons qui ont traversé le verre et l'eau, l'autre par les rayons qui n'ont traversé que le verre, autour de la goutte d'eau. La première se forme beaucoup plus près de la lentille que la seconde qui se trouve au foyer.

208. A 50^{cm} environ de l'œil placez une feuille d'impression ordinaire, et approchez-la de l'œil aussi près que vous le pouvez sans devoir faire d'effort pour voir distinctement les caractères.

Il existe pour chaque œil une distance déterminée en deçà de laquelle on ne peut approcher l'écriture si l'on veut la distinguer nettement sans le moindre effort. Cette distance se nomme *distance de la vision distincte*. Elle est de 25^{cm} environ pour l'œil emmétrope. Un tel œil peut donc voir nettement tous les objets placés devant lui à une distance comprise entre 25^{cm} et l'infini.

En nous en tenant uniquement au phénomène physique de la vision, ce fait signifierait que l'œil emmétrope est conformé de manière à produire sur la rétine l'image de tous les objets dont la distance au cristallin est comprise entre 25^{cm} et l'infini. Mais cela est absolument impossible à moins de modifications ultérieures. Pour l'œil emmétrope à l'état de repos, l'image d'un objet très éloigné se forme, nous le savons, exactement sur la rétine. Si l'œil n'éprouvait aucune modification, l'objet s'approchant de la lentille, l'image s'en éloignerait : elle tomberait donc derrière la rétine, et l'œil n'aurait que des impressions lumineuses confuses. Pour que l'image se forme sur la rétine, il faut que la courbure du cristallin devienne plus forte ou qu'il s'éloigne de la rétine. Ces deux modifications ont lieu à la fois. On s'en est assuré en observant les images qu'une bougie placée à côté de l'œil produit par réflexion sur la face antérieure et sur la face postérieure du cristallin. Ainsi, quand l'œil s'adapte pour voir distinctement un objet rapproché, un muscle augmente la courbure du cristallin qui est en même temps poussé en avant. Cette importante propriété de l'œil se nomme *pouvoir d'accommodation*; on dit que l'œil *s'accommode* à différentes distances.

209. Entre l'œil et l'objet placez la lentille dans une position telle qu'on voie nettement une image renversée de l'objet. Interposez alors entre l'œil et la lentille un écran transparent à la place voulue pour qu'on y voie une image nette de l'objet. A quelle distance l'écran est-il alors de l'œil?

L'écran se trouve à la distance de la vision distincte. On fera trois expériences. On placera d'abord l'objet (de préférence

une bougie allumée) au double de la distance focale, puis à un mètre de la lentille. Enfin on considérera un des objets du paysage. On placera l'œil aussi près que possible de la lentille, pourvu que l'objet paraisse encore renversé sans qu'on ait à faire aucun effort. Comme écran transparent, on peut employer du papier huilé, du papier de soie ou du verre mat. Evidemment, la distance de l'œil à la lentille ne doit pas changer pendant qu'on place l'écran entre les deux.

210. Tenez le doigt à 25^{cm} devant l'œil, et observez d'abord comment paraît le doigt lorsque l'œil voit distinctement un objet éloigné, puis comment paraît cet objet quand l'œil voit distinctement le doigt.

Quand on voit distinctement l'objet éloigné, le doigt paraît confus; inversement, l'objet paraît confus quand on voit distinctement le doigt. Cela s'explique très simplement. Quand l'œil voit distinctement l'objet éloigné, la courbure du cristallin et sa distance à la rétine sont telles qu'il projette l'image de l'objet exactement sur la rétine. L'image du doigt, qui est plus rapproché, doit donc tomber derrière la rétine. Au contraire, quand l'œil est accommodé pour voir nettement le doigt, qui est tout près, l'image de l'objet éloigné tombe devant la rétine.

211. Comment paraît le cadre d'un miroir quand l'œil y voit distinctement l'image d'un objet éloigné?

Le cadre paraît confus et indécis, car son image dans l'œil tombe derrière la rétine. On placera l'œil à 30^{cm} environ du miroir.

212. Quand l'œil voit distinctement à travers la lentille un objet éloigné, il le voit renversé et plus petit. Pour quelle distance est-il alors accommodé?

L'œil est accommodé pour la distance de la vision distincte; ainsi, l'image d'un objet placé devant l'œil à cette distance se formerait alors exactement sur la rétine. On prendra pour objet un arbre éloigné ou une colline.

On voit aisément tout d'abord que le cristallin n'est pas accommodé pour la distance de l'objet éloigné. En effet, quand l'œil voit, à travers la lentille, une image distincte de l'objet, il voit ce même objet confusément s'il le regarde en même temps

directement, à côté de la lentille. Inversement, quand l'œil s'accommode de manière à voir directement l'objet éloigné d'une manière nette et distincte, il ne le voit que confusément à travers la lentille, placée, bien entendu, comme auparavant. — Il reste encore à rechercher pour quelle distance l'œil s'est accommodé. Dans ce but, tout en continuant à regarder à travers la lentille l'objet éloigné, on tiendra devant l'œil une bande de papier écrite ou une règle divisée, et l'on cherchera à quelle distance de l'œil il faut placer le papier ou la règle pour que l'œil voie à la fois nettement l'écriture par vision directe et l'objet éloigné à travers la lentille. On trouvera qu'alors le papier est à la distance de la vision distincte. On peut répéter l'expérience, comme dans l'Exercice 209, avec un écran transparent, portant au bord des caractères d'écriture pour qu'on puisse le placer avec plus de précision. — Ainsi, quand l'œil voit, à travers la lentille, un objet renversé, ce n'est pas en réalité l'objet lui-même qu'il voit, mais son image produite par la lentille.

213. A quelle distance de la lentille doivent se trouver l'œil et l'objet pour que l'œil voie à travers la lentille l'objet renversé et plus grand.

L'image est renversée quand la distance de l'objet à la lentille est plus grande que la distance focale. L'image est plus grande que l'objet quand la distance de l'objet à la lentille est comprise entre la distance focale et le double de cette distance (Exercice 201). La distance de l'œil à l'image doit être égale à la distance de la vision distincte (Exercice 212).

214. Observez à travers la lentille la flamme d'une bougie placée à 75^{cm} de l'œil, et cherchez deux positions de la lentille telles que la bougie paraisse d'abord renversée et plus grandé, puis renversée et plus petite.

Cette expérience est une suite de l'Exercice 202. Comme terme de comparaison, on placera devant l'œil un écran transparent à la distance de la vision distincte.

Quand l'œil voit sur l'écran l'une des deux images renversées, il verra, en enlevant l'écran, la même image, mais plus intense.

215. Tout étant disposé comme dans l'Exercice précédent, si l'on écarte encore davantage de l'œil la lentille, la

flamme paraît droite et plus grande. Quelle est alors la distance de la flamme à la lentille?

La flamme se trouve alors entre le foyer et la lentille; sa distance à la lentille est moindre que la distance focale.

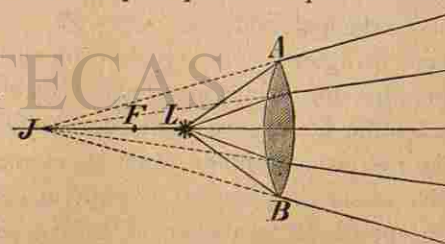
216*. Dans la disposition de l'Exercice précédent, l'œil est à plus de 60^{cm} de la lentille. En approchant l'œil de la lentille, l'observateur verra évidemment d'une manière plus distincte l'image droite et agrandie de la flamme. Pour quelle distance l'œil s'est-il accommodé lorsqu'il voit cette image le plus nettement possible, mais sans devoir faire aucun effort?

L'œil s'est accommodé pour la distance de la vision distincte, quoique sa distance à l'objet (la flamme) soit bien moindre que la distance de la vision distincte. En opérant comme dans l'Exercice 212, on observe que la règle divisée vue directement se trouve placée à la distance de la vision distincte. Elle est alors derrière la bougie, l'œil est donc accommodé pour un point situé derrière la flamme. Néanmoins nous ne parviendrons pas à recevoir une image sur un écran placé en cet endroit. Comment expliquer ce phénomène?

217. Placez devant une bougie allumée un écran noir percé d'une fine ouverture, et recevez l'image renversée de la flamme sur un écran transparent dressé derrière l'ouverture, comme dans l'Exercice 127. Observez comment varie la grandeur de cette image lorsqu'on tient, entre l'ouverture et l'écran transparent, la lentille à une distance de l'ouverture moindre que sa distance focale. (V. la fig.)

L'image de la flamme devient plus petite et plus intense.®

Dans notre expérience, l'écran avec l'ouverture se trouvait à 9^{cm}, la lentille à 17 ou 18^{cm} et l'écran transparent à 28^{cm} de la flamme. L'observation réussit d'autant mieux qu'on écarte plus complètement de l'écran



217.

toute lumière étrangère. C'est pourquoi il vaut mieux faire cette expérience le soir.

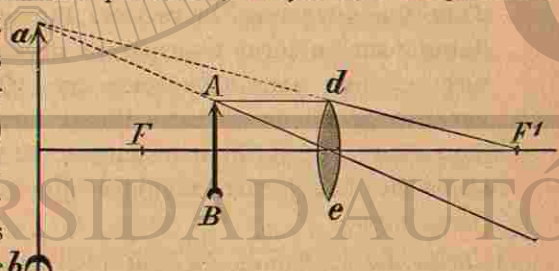
Explication. Dans la figure, L est un point lumineux sur l'axe principal de la lentille. Les rayons qu'il envoie sur la lentille éprouvent, en la traversant, une déviation de leur direction primitive, et leur direction en sortant de la lentille est la même que s'ils partaient d'un point F plus éloigné de la lentille que l'objet L . — Si donc L représente l'image de la flamme produite par la fine ouverture de l'écran noir (O dans la fig. 127), les rayons venant de L se rapprochent les uns des autres en traversant la lentille: ils produisent donc sur l'écran transparent une image plus petite, mais plus intense, que si l'on n'employait pas la lentille.

- 218. Placez devant une bougie allumée un écran noir percé d'une fine ouverture, et recevez l'image renversée de la flamme sur un écran transparent, comme dans l'Exercice 127. Observez comment varie la grandeur de cette image lorsqu'on tient, entre l'ouverture et l'écran transparent, la lentille à une distance de la bougie moindre que sa distance focale. (V. la fig.)

L'image de la flamme devient plus grande, mais plus faible. — Dans l'Exercice précédent, l'objet était un point sur l'axe principal de la lentille; ici, nous devons considérer l'objet (la flamme) comme une surface.

Il y a donc à considérer des points situés en dehors de l'axe principal. Soit,

dans la figure, AB l'objet, situé à une distance de la lentille moindre que la distance focale. Quel chemin prendront derrière la lentille les rayons partis de l'objet? Suivons d'abord le trajet des rayons partant du point A , et parmi tous ceux que ce point envoie sur la lentille, considérons-en deux en particulier, l'un partant de A parallèlement à l'axe principal, l'autre dirigé de A vers le centre optique de la lentille. Nous connaissons pour



218.

chacun de ces rayons le chemin qu'il suit au sortir de la lentille. (Exercices 182, 184 et 200.) Le rayon Ad passe par le second foyer F' , l'autre est un axe secondaire et conserve sa direction sans être dévié. Ces deux rayons prennent donc une direction telle qu'ils semblent venir de a . Si nous voulions calculer le trajet d'autres rayons que le point A envoie aussi sur la lentille, nous trouverions que tous prennent encore la même direction que s'ils venaient du point a . Semblablement, les rayons que le point B envoie sur la lentille prennent, à leur sortie de la lentille, la même direction que s'ils venaient du point b . Le même raisonnement s'applique à tous les points situés entre A et B .

Représentons-nous maintenant la lentille entourée d'un écran noir, ou enchâssée dans une ouverture faite dans un semblable écran. Il passera par l'ouverture à peu près les mêmes rayons et dans la même direction si l'objet AB envoie ses rayons à travers la lentille ou si un objet ab (qui doit être une reproduction agrandie de AB) envoie ses rayons à travers l'ouverture vide de l'écran. — Maintenant ces rayons rencontrent l'écran noir à fine ouverture dont parle l'énoncé du présent Exercice. Ils produiront donc, dans les deux cas, sensiblement la même image sur un écran transparent placé derrière la fine ouverture. Il faut actuellement rechercher si la grandeur de l'image de l'objet AB varie lorsqu'on enlève la lentille. Une figure très simple, analogue à la fig. 127, montre que l'image devient plus petite. La question posée dans cet Exercice a donc pour réponse que l'image de la bougie allumée devient plus grande quand on interpose la lentille.

En faisant l'Exercice 215, nous avons vu que l'image de la flamme se forme droite et agrandie. L'Exercice que nous traitons actuellement a pour but de nous représenter le phénomène physique qui se passe alors dans l'œil. La fine ouverture de l'écran remplace le cristallin (Exercice 201), l'écran transparent remplace la rétine de l'œil.

Comme nous le savons par l'Exercice 216, l'œil voit un objet agrandi lorsqu'il se trouve entre le foyer et la lentille, et il le voit le plus nettement possible lorsque l'image virtuelle de l'objet (ab dans la fig. 218) se forme à la distance de vision distincte. L'objet se trouve en deçà de cette distance, aussi l'œil le voit plus grand qu'à l'ordinaire, mais il ne le voit plus

nettement. Le principal effet de la lentille consiste à donner aux rayons partis de l'objet la même direction que s'ils venaient d'un objet proportionnellement plus grand, mais situé à la distance de vision distincte. Par la lentille l'objet ne nous paraît guère plus grand qu'auparavant, mais, avant tout, nous le voyons de nouveau nettement. Ce fait est surtout sensible lorsqu'on emploie une lentille à très court foyer. — La lentille convergente s'appelle *loupe* ou microscope simple lorsqu'elle sert à agrandir un objet placé près de l'œil.

Lorsque l'objet se trouve entre le foyer et la lentille, les rayons émis par lui sortent de la lentille avec la même direction que s'ils venaient d'un objet plus grand et plus éloigné. Ce dernier objet est seulement vu par l'œil sans exister en réalité. Ce n'est qu'une image, et une image qui ne peut pas être reçue sur un écran blanc; on l'appelle, à cause de cela, image apparente ou *virtuelle*. Telle est *ab* dans la figure. — On appelle au contraire *image réelle* celle qui peut être reçue sur un écran.

219. Observez un paysage à travers le verre coloré, et observez comment le paysage paraît moins éclairé lorsqu'on écarte davantage le verre de l'œil.

Quand le verre bleu est tout près de l'œil, celui-ci ne reçoit que des rayons bleus. Mais plus la plaque est éloignée de l'œil, moins il y a de rayons bleus sur le nombre des rayons qui arrivent à l'œil. Il arrive sur la rétine toujours plus de rayons clairs et toujours moins de rayons bleus ou obscurs. La forte impression faite sur le nerf optique par les rayons clairs le rend donc moins sensible à l'impression plus faible produite par les rayons bleus.

220. Fermez un œil, tenez devant l'autre œil ouvert une aiguille à coudre, et essayez de l'enfiler.

Le doigt fait passer le fil devant ou derrière l'aiguille, parce qu'un seul œil ne peut pas estimer la distance d'un objet à l'œil aussi exactement que le peuvent les deux yeux, à la suite d'un long exercice.

Appareils d'optique.

La *chambre obscure* (Camera obscura) est principalement employée en photographie. Les rayons émis par un objet éloigné sont concentrés par la lentille et forment une image, plus petite que l'objet et renversée, que l'on reçoit sur une plaque de verre. Sur cette plaque est étendue une couche d'une matière sensible à la lumière et qui se décompose aux endroits où tombent les rayons lumineux. On peut ensuite fixer et conserver la petite image ainsi produite.

La *lanterne magique* est l'inverse de la chambre obscure. Ce qui sert d'objet dans l'une devient l'image dans l'autre. On projette donc, au moyen d'une lentille convergente, une image agrandie d'un petit objet. Cette lentille s'appelle l'objectif. D'après les explications données précédemment, c'est près du foyer de l'objectif qu'il faut placer l'objet. Celui-ci est ordinairement un dessin peint sur verre. N'étant pas lumineux par lui-même, il doit être fortement éclairé.

Le *microscope solaire* ne se distingue de la lanterne magique que par la nature de la source lumineuse qui sert à éclairer l'objet et qui est ici le soleil au lieu d'être une lumière artificielle (lampe, lumière électrique, etc).

221. Pour étudier le fonctionnement d'un microscope solaire très simple, prenez pour objet un morceau de tulle fin, et projetez-en l'image sur une feuille de papier blanc étendue sur le plancher.

L'objet, la lentille et le papier doivent se trouver sur la direction des rayons solaires. Le tulle fortement éclairé par le soleil sert d'objet; la lentille en projette l'image sur la feuille de papier. Cette image est d'autant plus grande que le papier est plus éloigné de la lentille. De cet éloignement dépend aussi la distance à laquelle l'objet doit être de la lentille. L'objet étant fortement éclairé, on peut obtenir un grossissement assez considérable.

Le tulle convient bien pour servir d'objet parce que l'on peut facilement mettre son image bien *au point*, c'est-à-dire l'obtenir avec la plus grande netteté. On ne manquera pas de remarquer que l'image n'est jamais également nette partout. Si,

par exemple, le milieu est nettement au point, les bords paraîtront moins distincts; si, au contraire, les bords sont nets, le milieu paraîtra confus. Cela tient à la forme sphérique des faces de la lentille. L'image formée par la partie centrale de celle-ci se produit plus loin que l'image formée par les bords. Il se produit donc toute une série d'images placées l'une derrière l'autre. La distance entre la première et la dernière de ces images se nomme *aberration de sphéricité*.

Pour corriger cette aberration, on peut procéder de deux manières. On pourrait d'abord donner aux surfaces de la lentille une forme différente de la forme sphérique. Mais, cela étant très difficile, on préfère conserver la forme sphérique et employer une combinaison convenablement choisie d'au moins deux lentilles différentes. On nomme *aplanétique* un semblable système de lentilles. Un objectif aplanétique produit donc des images ayant partout la même netteté.

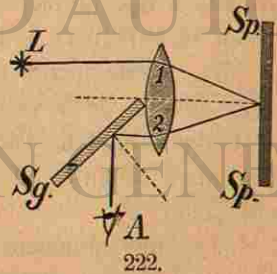
Le *microscope composé*, sous sa forme la plus simple, contient deux lentilles. On nomme *objectif* celle qui est du côté de l'objet, et *oculaire* celle qui est du côté de l'œil. L'objectif produit une image réelle de l'objet, et l'on observe cette image avec l'oculaire comme avec une loupe.

La *lunette astronomique* repose sur les mêmes principes que le microscope composé.

222*. Montez une lunette astronomique au moyen de la lentille et du miroir argenté. (V. la fig.)

Cet Exercice montrera comment, avec un peu de réflexion, on parvient à réaliser des choses qu'on croirait impossibles au premier aspect. D'après ce que nous venons de dire, il faut

pour une lunette au moins deux lentilles; mais rien n'empêche d'utiliser comme oculaire une moitié de notre lentille, et comme objectif l'autre moitié. Soit donc, dans la figure, *L* un objet éloigné envoyant des rayons à travers la moitié 1 (objectif); ces rayons se réfléchissent sur le miroir, et traversent l'autre moitié 2 (oculaire). Avec un peu d'adresse, on peut voir directement l'image en dirigeant l'œil vers cette moitié. L'observation est pourtant plus facile quand on emploie la



222.

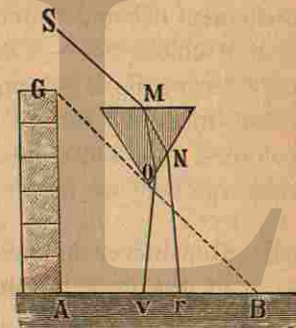
glace sans enduit pour renvoyer les rayons à la manière d'un miroir, comme le montre la figure. On trouvera par l'expérience la position à donner au miroir argenté. L'image de *L*, produite par l'objectif (moitié 1) de notre lunette, tombe entre le miroir et l'oculaire (moitié 2).

Dispersion de la lumière.

223. Le soleil donnant dans la chambre à travers la fenêtre ouverte, recevez les rayons sur le prisme, et placez celui-ci de manière à diriger les rayons vers la partie du plancher qui se trouve dans l'ombre. Placez à cet endroit une feuille de papier blanc, et observez le phénomène lumineux qui s'y produit. (V. la fig.)

Avant de faire cette expérience, on relira les explications données aux nos 170—173. Lorsque le prisme est convenablement placé, on voit sur la feuille de papier, une série de bandes colo-

rées: c'est le *spectre* solaire. Dans la figure, *G* est le seuil de la fenêtre, *GA* le mur, *AB* la partie du plancher qui se trouve dans l'ombre. — Des faisceaux de lumière solaire tombent sur le prisme dans la direction *SM*, ils sont réfractés et rencontrent le plancher entre *A* et *B*. Si l'action du prisme se bornait à dévier les rayons solaires, tous ceux qui traversent le prisme formeraient sur le plancher une surface blanche vivement éclairée. D'après l'Exercice 128, et vu la petite distance du prisme au plancher, cette surface aurait à peu près la forme d'un rectangle à contours un peu bombés. (La face que le prisme présente au soleil agit comme une ouverture rectangulaire.) Mais au lieu de voir une surface blanche et claire, nous observons une surface plus large comprenant des bandes de diverses couleurs. La cause de ce phénomène réside dans une propriété particulière des rayons du soleil et dans un mode d'action spécial des corps réfringents.



223.

1. Les rayons solaires sont un mélange d'une infinité de rayons de couleurs différentes. Entre les rayons des 7 couleurs principales: violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge, il y

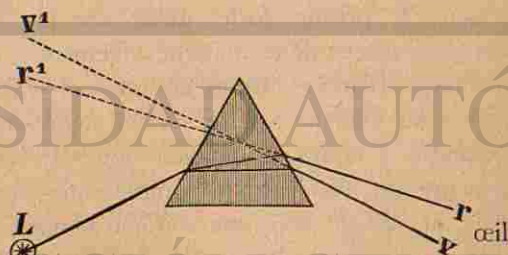
en a une infinité d'autres formant une transition insensible entre une couleur principale et une autre couleur voisine.

2. Quand un rayon de lumière passe d'un milieu dans un autre, il est réfracté ou dévié. La grandeur de la déviation dépend de la couleur du rayon. Ce sont les rayons rouges qui sont le moins déviés et les rayons violets qui le sont le plus.

Dans la figure, ces deux principes sont appliqués au rayon SM . Représentons-nous bien d'abord ce que c'est que ce rayon. Il se compose d'une infinité de rayons de nuances différentes. En pénétrant dans le prisme, ces rayons se séparent les uns des autres ou se *dispersent*. Le rayon extrême rouge se dirige vers N , l'extrême violet vers O . En sortant du prisme, les rayons sont encore déviés, et de nouveau les violets le sont plus que tous les autres; seulement aucun rayon ne subit de nouvelle décomposition. Si cette décomposition du rayon solaire SM en ses rayons élémentaires ne s'était pas produite dans le prisme, on apercevrait sur le plancher un point blanc; mais le rayon a été réellement décomposé, et c'est pour cela qu'on voit sur le plancher le trait coloré rv . — C'est pour la même raison que, dans notre expérience, il ne se produit pas sur le plancher un rectangle blanc, mais une surface plus large, striée de bandes diversement colorées. Ce sont une foule de petits rectangles colorés différents qui sont en partie superposés, en partie juxtaposés.

224. Considérez à travers le prisme la flamme d'une bougie, et observez la succession des couleurs. (V. la fig.)

On placera la bougie à un mètre et demi environ de l'œil; le fond derrière la flamme doit être aussi obscur que possible. On voit la flamme élargie et presque toutes les couleurs du spectre solaire. Si les rayons rencontrent l'œil à droite, on voit le rouge du côté gauche. — La flamme de la bougie contient à peu près les mêmes rayons colorés que la lumière solaire. On peut donc se représenter la flamme blanche comme la réunion de diverses flammes, rouge, jaune, verte, etc. La flamme rouge



224.

n'émet que des rayons rouges, la flamme violette, que des rayons violets.

Les rayons rouges étant moins déviés que les rayons violets, l'œil ne voit pas la flamme rouge à la même place que la flamme violette. Il en est de même pour toutes les flammes intermédiaires. Dans la figure, L est la flamme de la bougie. L'œil rapporte l'objet dans la direction suivant laquelle lui parviennent les rayons partis de cet objet. Il voit donc la flamme violette en v' et la flamme rouge en r' .

L'œil ne voit pas séparément les diverses flammes colorées, parce que l'image d'une flamme tombe en partie sur l'image voisine. Nous verrons, mais plus tard seulement, qu'il y a un moyen très simple d'arrêter les rayons diversement colorés et d'obtenir ainsi des images isolées des diverses flammes.

225. Collez sur une feuille de papier noir un disque de papier blanc de 2^{cm} de diamètre, et considérez ce disque à travers le prisme à des distances différentes.

On obtient un spectre allongé, terminé aux deux bouts par deux demi-cercles, en haut et en bas par des lignes droites. Cela suppose nécessairement qu'il y a une infinité de surfaces circulaires qui se superposent presque totalement.

Quand on considère le disque à petite distance, son milieu paraît blanc. La raison de ce fait est très simple. Le disque de papier blanc, qui doit être fortement éclairé, renvoie par réflexion les rayons solaires sur le prisme. Nous devons donc voir un disque rouge, un autre orangé, jaune, vert, etc. Ces disques tombent en partie les uns sur les autres. Si le disque est assez grand, une partie du dernier disque violet se superposera à une partie du premier disque rouge. Par suite, tous les disques de teintes différentes se superposent partiellement et doivent produire du blanc. Aussi, on ne voit à droite qu'une moitié des couleurs du spectre, l'autre moitié apparaît à gauche.

226. Découpez dans du papier noir une fente de 5^{mm} de large sur 5 à 10^{cm} de long; placez le papier devant la fenêtre de manière que l'on puisse voir le ciel clair à travers la fente, et observez cette fente à travers le prisme.

En se plaçant à la distance convenable, on voit un très beau spectre solaire.

227. Découpez une bande de papier blanc ayant 5^{cm} de long sur 5^{mm} de large, collez-la sur une feuille de papier noir, et observez-la à travers le prisme.

La bande de papier doit être vivement éclairé. En se plaçant à la distance convenable, on voit un spectre solaire. Cette expérience est importante pour les observations ultérieures.

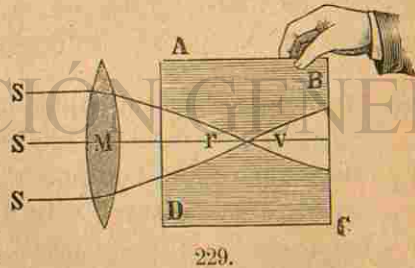
228. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, derrière la lentille placez un écran blanc, et observez le cercle lumineux qui s'y produit quand l'écran est placé soit en deça soit au delà du foyer.

Quand l'écran est entre la lentille et le foyer, le cercle lumineux est bordé de jaune ou de rouge; il est bordé de bleu quand l'écran est au delà du foyer. L'explication de ce phénomène réside dans la différence de réfrangibilité entre les divers rayons colorés. Nous devons bien remarquer que notre lentille a un foyer différent pour chaque espèce de rayons. Les rayons violets sont les plus déviés, leur foyer est donc plus voisin de la lentille que celui des rayons rouges. La distance entre ces deux foyers s'appelle *aberration chromatique* ou *aberration de réfrangibilité*. C'est pour cela que nous avons observé sur les bords du cercle d'abord des rayons rouges, puis des rayons violets.

Les appareils d'optique bien soignés ont, au lieu d'une lentille convergente ordinaire, une combinaison de lentilles qui corrige l'aberration chromatique. Cet ensemble de lentilles est appelé *lentille achromatique*.

229. Recevez sur la lentille les rayons du soleil; derrière la lentille et parallèlement à l'axe principal, tenez un écran blanc, et observez-y les bandes colorées. (V. la fig.)

La figure montre la disposition de l'expérience. *ABCD* est l'écran blanc. Les couleurs se montrent très vives. Dans l'expérience précédente, le jaune et le rouge se voient difficilement parce que l'œil est ébloui par l'éclat du disque éclairé.



229.

230*. Pour bien observer l'aberration chromatique, recevez sur la lentille les rayons du soleil, et au foyer placez un miroir renvoyant les rayons sur la lentille. En tenant, à grande distance, devant une moitié de la lentille, une feuille de papier blanc (non transparent), on y voit un demi-cercle coloré.

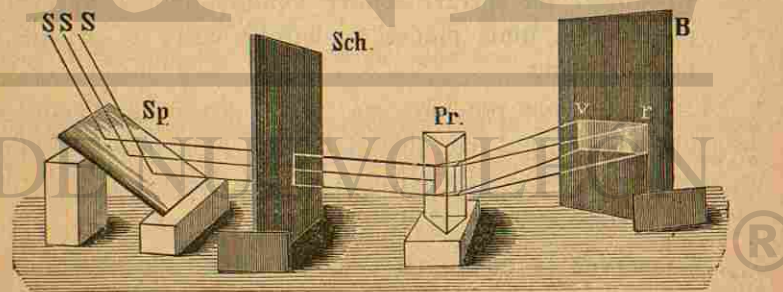
En plaçant bien le miroir, on obtient sur le papier un demi-cercle présentant un spectre complet depuis le rouge jusqu'au violet. Comparez l'Exercice 197.

231. Dirigez au moyen du miroir les rayons du soleil sur le prisme placé verticalement, et recevez sur un écran blanc le spectre qui se produit.

Ce n'est qu'une autre forme de l'Exercice 223. On s'arrangera de manière à faire tomber le spectre dans la partie la plus sombre de la chambre. Il n'est pourtant pas nécessaire d'y faire l'obscurité complète.

232. Conservez la disposition de l'expérience précédente, mais placez entre le prisme et le miroir un écran noir percé d'une ouverture en fente. (V. la fig.)

La fente aura 5^{cm} de long sur 5^{mm} de large. On peut prendre à volonté la distance de la fente au prisme; les détails se trouveront en disposant l'expérience. Naturellement on préservera



232.

autant que possible l'écran blanc de toute lumière étrangère, sans qu'il soit toutefois nécessaire de faire obscurité complète. — Au commencement, on laissera le prisme de côté, de sorte que les rayons du soleil tombent directement de la fente sur l'écran blanc. L'image qu'ils y forment n'est sensiblement un rectangle

que pour une faible distance entre l'écran et la fente (Exercice 128). Dans la figure, on a, pour plus de clarté, négligé les apparences lumineuses expliquées dans l'Exercice 128. En réalité, le spectre paraît arrondi à droite et à gauche. — Il est bon de diminuer la largeur de la fente pendant le cours de l'expérience.

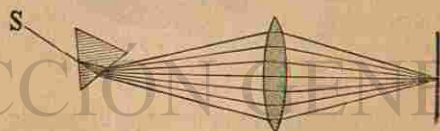
233. Conservez la disposition de l'expérience précédente, mais placez la lentille entre le prisme et la fente.

La fente doit se trouver entre le foyer et le double de la distance focale. Il se produit alors sur l'écran blanc une image faiblement agrandie de la fente; il faudra la trouver d'abord. On placera ensuite le prisme dans la position de déviation minimum (Exercice 173). L'écran sera à peu près perpendiculaire à la direction des rayons qu'il reçoit; sa distance au prisme doit être telle que les rayons parcourent pour arriver à l'écran un trajet aussi long qu'auparavant. Nous devons considérer qu'il part de la fente des rayons ayant les teintes les plus diverses. La fente forme donc sur l'écran une image rouge, une autre orangée, une jaune, etc. Plus ces images de la fente deviennent nettes sur l'écran, plus le spectre se voit distinctement, puisqu'il n'est que la réunion de toutes ces images colorées de la fente, images qui sont en partie superposées et en partie juxtaposées. L'Exercice 233 fournit la meilleure disposition pour produire un spectre solaire bien pur.

234. Produisez un spectre solaire comme dans l'expérience précédente, mais placez la lentille entre le prisme et l'écran blanc.

La lentille doit produire sur l'écran des images nettes et distinctes de la fente; elle doit donc être à la même distance de la fente que dans l'Exercice 233; c'est donc le prisme qu'il faut déplacer et non pas la lentille.

235. Conservez la disposition des expériences précédentes, mais donnez à la lentille et à l'écran blanc une position telle que les divers rayons colorés se réunissent juste sur l'écran en y formant une bande blanche. (V. la fig.)



235.

Si la lumière blanche est composée de rayons diversement colorés, la réunion de ces rayons colorés doit donner de nouveau du blanc. C'est cette conséquence qu'il s'agit d'établir par l'expérience. Ce n'est donc pas une image de la fente qu'il faut produire sur l'écran, mais une image de l'endroit où commence la décomposition de la lumière solaire. (V. l'Exercice 226.) Cet endroit se trouve sur la face du prisme qui est tournée du côté de la fente. On placera donc la lentille à une distance de cette face égale à deux fois la distance focale, et l'écran se placera à la même distance derrière la lentille. La fente ne doit pas être large, afin que la lentille embrasse tous les rayons colorés. Si l'on tient l'écran non au point de concours des rayons mais plus loin de la lentille, le spectre reparaît, mais renversé, parce que les rayons colorés se sont croisés à leur point de concours avant de tomber sur l'écran. — Comparez encore ceci avec l'Exercice 225.

236. Dirigez au moyen du miroir les rayons solaires sur le prisme tenu verticalement, et, avec la lentille, réunissez les rayons qui sortent du prisme de manière à recomposer la lumière blanche.

La disposition de l'expérience se déduit des explications données aux nos 231 et 235. On obtient, au point de concours des rayons, une image de la face du prisme où commence la dispersion des rayons colorés. On peut coller sur cette face (celle tournée vers le soleil) un corps servant de point de repère, par exemple une bande étroite de tulle fin.

237. Placez une bougie allumée devant la lentille, au double environ de la distance focale, et recevez l'image de la flamme sur un écran blanc. Placez alors le prisme entre la lentille et l'écran, et observez l'image que donne maintenant la flamme.

L'image de la flamme paraît colorée sur les bords, tout comme si l'œil la voyait directement à travers le prisme. (V. l'Exercice 224, succession des couleurs.)

238. Dirigez au moyen du miroir les rayons du soleil sur la lentille placée de telle sorte que son axe principal soit perpendiculaire à l'une des faces du prisme tenu

verticalement; faites varier la distance du prisme à la lentille, et observez sur un écran blanc les phénomènes qui se produisent.

Quand le prisme se trouve entre le foyer et la lentille, il se forme sur l'écran, pourvu qu'il soit à la place voulue, une série d'images colorées du soleil ou un spectre solaire. — Cet Exercice prête à des observations variées.

239. Produisez le spectre de la flamme d'une bougie en opérant comme au n° 233.

Dans l'Exercice 233 la source lumineuse était le soleil, ici ce sera la flamme de la bougie. On placera donc la bougie derrière l'écran à fente, en opérant comme précédemment pour tout le reste. — En comparant le spectre obtenu avec celui du soleil, on remarque aussitôt que, dans le spectre de la flamme de la bougie, la fente produit moins d'images bleues et violettes que dans le spectre solaire, c'est-à-dire que la lumière de la bougie contient moins de rayons bleus et violets que la lumière solaire.

De même que nous venons d'obtenir le spectre de la flamme de la bougie, nous pourrions produire celui d'autres corps lumineux. Nous trouverions ainsi que les spectres de tous les corps solides incandescents sont à peu de chose près semblables entre eux. Ils contiennent toutes les couleurs dans le même ordre, du rouge au violet, et ne se distinguent que par la largeur plus ou moins grande occupée par chaque teinte. (Nous savons par l'Exercice 101 que les flammes des bougies, des lampes à l'huile et du gaz doivent leur pouvoir éclairant à la présence de nombreuses particules de carbone incandescent. C'est pourquoi toutes ces flammes ont à peu près le même spectre.) — Il en est tout autrement du spectre d'un gaz ou d'une vapeur incandescente. De nombreuses recherches ont montré que chaque vapeur incandescente a un spectre bien déterminé et qui lui est exclusivement propre. Ainsi, par exemple, le spectre de la vapeur du sodium montre toujours, à une place déterminée, une ligne jaune brillante; celui de la vapeur du lithium, à une autre place également déterminée, deux lignes rouges brillantes, etc. Donc, si nous soumettons un corps contenant du sodium à une chaleur telle qu'il se vaporise et que cette vapeur devienne incandescente et par suite lumineuse, le spectre de cette vapeur doit montrer la

raie jaune brillante du sodium, en même temps que les spectres des vapeurs des autres éléments du corps. Ainsi, du spectre d'un corps nous pouvons déduire avec certitude la nature des éléments de ce corps. Ce procédé est connu sous le nom d'*Analyse spectrale*. — L'Exercice suivant en donnera une idée très élémentaire.

240. Recherchez par l'analyse spectrale si le sel de cuisine contient du sodium.

Nous devons transformer par la chaleur le sel en vapeur incandescente et produire un spectre de la lumière ainsi obtenue. Pour cela, le mieux serait de saupoudrer de sel la mèche d'une lampe à alcool. Mais la flamme d'une bougie peut suffire. Mettons donc un peu de sel sur la mèche, plaçons la bougie derrière l'écran à fente, et considérons la fente à travers le prisme. Nous voyons un spectre composé de deux autres spectres superposés, savoir le spectre de la flamme de la bougie et celui du sel. (Le premier étant très intense, nous ne pouvons voir le second à moins de prendre des précautions spéciales. On se placera de côté par rapport à la fente; quelques essais feront trouver le reste.) Nous connaissons le premier spectre; dans le second, nous sommes immédiatement frappés par la raie jaune brillante du sodium. Nous savons donc maintenant que le sel de cuisine contient réellement du sodium. Ce résultat concorde avec celui de l'analyse chimique: celle-ci montre en effet que le sel de cuisine est une combinaison de chlore et de sodium.

Les couleurs spectrales.

241. Disposez l'expérience comme au n° 232, et placez alors la lentille entre le prisme et l'écran blanc dans une position telle qu'il se produise sur l'écran une image de la fente d'abord rouge, puis jaune, puis verte, etc.

La distance de la lentille à la fente doit être environ le double de la distance focale. Il ne doit d'abord tomber sur la lentille que des rayons rouges. Si cela est trop difficile à réaliser, couvrez plutôt la lentille d'une feuille de papier noir portant une ouverture en fente. Laissez alors entrer successivement par la fente sur la lentille les rayons rouges, jaunes,

verts, etc. Il ne faut pas oublier que la distance entre la fente et l'écran blanc doit être au moins égale à quatre fois la distance focale.

242. Disposez l'expérience comme au n° 241, interceptez les rayons rouges et orangés, et réunissez, en une image de la fente, les autres rayons colorés.

Il faut placer la lentille dans une position telle que tous les rayons tombent sur elle, à l'exception des rayons rouges et orangés. On interceptera ces derniers en tenant sur leur trajet une bande de papier noir. On recevra sur l'écran l'image de la fente. Cette image paraîtra verte.

243*. La disposition étant la même que dans les expériences précédentes, interceptez les rayons verts, et réunissez, en une image de la fente, les autres rayons colorés.

Il faut placer la lentille dans une position telle que tous les rayons tombent sur elle. On interceptera les rayons verts en tenant sur leur trajet une bande de papier noir de largeur convenable. L'image de la fente paraît rouge.

244*. La disposition étant la même que dans les expériences précédentes, interceptez les rayons depuis le violet jusqu'au bleu, et réunissez, en une image de la fente, les autres rayons colorés.

L'image de la fente paraît jaune. Si l'on interceptait les rayons jaunes, l'ensemble des autres couleurs donnerait une image bleue.

Deux couleurs qui, par leur réunion, forment du blanc s'appellent *couleurs complémentaires*. Tels sont le rouge et le vert, le jaune et le bleu.

245. Dirigez, au moyen du miroir, les rayons du soleil sur le prisme en les faisant passer par la fente de l'écran noir, et recevez sur un écran blanc le spectre qui se produit. Alors, au moyen de la glace sans enduit, dirigez sur les autres couleurs du spectre d'abord les rayons rouges, puis les rayons violets.

On obtient ainsi différents mélanges de deux couleurs. Rouge et violet donnent du pourpre; rouge et bleu, du rose;

rouge et vert, du jaune-pâle; rouge et jaune, de l'orangé; violet et jaune donnent du rose; violet et vert, du bleu-pâle; violet et bleu, de l'indigo. — Il s'agit ici des couleurs du spectre, qui sont des couleurs simples. Les matières colorantes ordinaires ne donnent par leur mélange que des teintes plus ou moins voisines de celles indiquées ci-dessus.

Absorption. Couleurs des corps.

246. Pratiquez dans une feuille de papier noir une fente rectiligne de 5^{cm} de long, et, à travers cette fente, faites passer une bande de papier coloré, large de 5^{cm}. Vous aurez ainsi, sur un fond noir, une bande colorée de 5^{cm} de haut, dont vous pouvez modifier la largeur à volonté. Observez cette bande à travers le prisme.

On donnera d'abord à la bande colorée une largeur de 5^{mm}, et on l'observera en se plaçant aux distances les plus diverses; la bande doit être bien éclairée. On voit un spectre dans lequel manquent, suivant la couleur du papier, certaines couleurs isolées, de sorte que leur place paraît noire. Si l'on observe, par exemple, une bande de papier indigo, ce sont principalement l'indigo et le violet qui apparaissent dans le spectre; on voit en outre quelques bandes rouges et vertes séparées par des bandes noires. Explication: La bande indigo n'est pas lumineuse par elle-même, puisqu'on ne peut la voir dans une chambre obscure. Nous ne la voyons que lorsqu'elle est éclairée par une source lumineuse quelconque. D'après les explications données au n° 133, la surface d'aucun corps ne renvoie complètement au dehors toute la lumière qui l'éclaire. C'est même uniquement par suite de ce fait que nous pouvons voir les corps qui ne sont pas lumineux par eux-mêmes. Une surface qui renvoie toute la lumière qui tombe sur elle, c'est-à-dire un miroir parfait, est invisible en elle-même. Quand nous croyons voir la surface d'un miroir, nous nous faisons illusion; nous ne voyons en réalité que le cadre du miroir et peut-être quelques corpuscules adhérents à sa surface, poussière, vapeur d'eau, etc. — Les rayons du soleil tombent donc sur la bande de papier indigo qui est ainsi éclairée par toutes les couleurs du spectre solaire. Or, la lumière réfléchie ne se compose, d'après notre examen au

moyen du prisme, que des rayons bleus et violets avec quelques rayons rouges et verts; la matière colorante dont le papier est enduit doit donc avoir retenu les rayons jaunes et la plupart des rayons rouges et verts. On dit qu'elle les a *absorbés*, et cette propriété des corps s'appelle *pouvoir d'absorption*. En regardant à travers le prisme la bande colorée, nous voyons un *spectre d'absorption*.

Que deviennent les radiations absorbées, quel effet produisent-elles? Pour répondre à cette question, nous devons nous rappeler la nature de la lumière. Elle consiste en mouvements vibratoires de l'éther (v. l'Exercice 127); l'impression des diverses couleurs correspond à des différences de vitesse dans ces mouvements vibratoires. Ainsi, dans l'extrême rouge, chaque molécule d'éther vibre 395 billions de fois par seconde; dans un rayon de la lumière jaune du sodium (Exercices 239 et 240), 509 billions; dans l'extrême violet, 763 billions de fois. Dans la lumière absorbée, ces mouvements vibratoires des molécules de l'éther peuvent mettre en vibration les plus petites parcelles de la matière colorante. Ces nouvelles vibrations se propagent à leur tour, et nous pouvons ou bien 1^o les percevoir de nouveau comme lumière, ou bien 2^o les sentir sous forme de chaleur, ou enfin 3^o les observer dans certains effets chimiques. La lumière produite par la transformation de radiations absorbées quelconques s'observe dans les phénomènes de *fluorescence* et de *phosphorescence*. La chaleur due aux radiations lumineuses absorbées se constate à la surface de tous les corps exposés aux rayons du soleil. Les actions chimiques des radiations lumineuses sont employées dans la production des images photographiques. C'est encore à ces actions que sont dus, dans les parties vertes des plantes, la plupart des phénomènes de la végétation.

Avec le papier bleu, nous observons le 2^e et le 3^e effet de l'absorption, en ce que le papier s'échauffe et qu'avec le temps il change de couleur (il blanchit).

247. Recevez sur la lentille les rayons du soleil, et derrière la lentille tenez, près du foyer, un morceau de papier coloré. Examinez alors quel est le papier qui commence le premier à prendre feu.

C'est le papier le plus foncé, c'est-à-dire le papier indigo, violet ou noir, qui commence le premier à se carboniser;

l'inflammation du papier est un phénomène d'absorption. Le papier rouge, jaune ou vert réfléchit principalement les rayons rouges, jaunes ou verts; or ce sont précisément ceux dont l'action calorifique est la plus forte.

Un corps exposé aux radiations lumineuses s'échauffe évidemment d'autant plus qu'il peut absorber plus de radiations d'espèces différentes. Un corps qui absorbe toute la lumière incidente nous paraît noir. Une surface noire et rugueuse exposée aux rayons lumineux s'échauffera donc plus que toute autre et émettra des rayons de chaleur. Le rayon de chaleur provient, comme le rayon de lumière, de vibrations de l'éther; souvent un même mouvement vibratoire sera à la fois lumineux et calorifique. Ainsi, par exemple, un rayon rouge est perçu par l'œil comme lumière et par le toucher comme chaleur. C'est ainsi, comme nous l'avons vu plus haut, qu'un même mouvement peut provoquer en nous deux sensations différentes suivant qu'il est perçu par l'œil ou par l'oreille.

Les vibrations de l'éther les plus énergiques dans leur action calorifique sont invisibles; nous ne pouvons plus les percevoir par la vue, mais seulement par le toucher. C'est qu'elles ne sont plus assez rapides: leur nombre de vibrations est inférieur à 400 billions par seconde.

248. Placez sur une feuille de papier noir une bande de papier coloré ayant 2^{cm} de haut et 5^{mm} de large; immédiatement au-dessus, dans le prolongement, mettez une bande de papier blanc de mêmes dimensions. Considérez alors à travers le prisme la bande, moitié colorée, moitié blanche, qui a en tout 4^{cm} de haut sur 5^{mm} de large.

On obtient deux spectres superposés, celui du papier blanc et celui du papier coloré. Le papier blanc renvoyant également tous les rayons lumineux, le premier spectre est un spectre solaire, auquel nous pouvons comparer le spectre d'absorption. Les bandes de papier doivent être bien éclairées.

249. Examinez au moyen du prisme les couleurs de différents corps (soie, pétale de fleur, feuille d'étain.).

On découpera dans une feuille de papier noir une fente de 5^{cm} de haut sur 5^{mm} de large, et l'on placera derrière cette fente

la surface à examiner. Pour comparer les spectres de ces surfaces avec le spectre solaire, ou pour voir plus aisément quelles sont les couleurs qui manquent, on peut, comme dans l'Exercice 248, garnir de papier blanc une moitié de la fente. La surface colorée doit être bien éclairée. On ne trouvera aucun corps qui n'ait qu'une seule couleur, ou qui ne réfléchisse qu'une seule espèce de rayons. La feuille d'étain, agissant comme un miroir, donne à peu près le spectre solaire.

250. Examinez au moyen du prisme les couleurs des papiers colorés en les éclairant à la lumière d'une bougie.

D'après l'Exercice 239, la lumière de la bougie n'émet que peu de rayons bleus et moins encore de violets; par suite, les bandes de papier qui doivent principalement leur couleur aux rayons bleus et violets donneront des spectres tout autres qu'à la lumière solaire. A la lumière de la bougie, le papier bleu paraît plus foncé, le violet paraît plus rouge, le rouge et le vert paraissent plus clairs.

251. Projetez, comme dans l'Exercice 179, l'image de la flamme d'une bougie sur du papier de couleur, et observez comment varient, sur les différents papiers, la couleur et l'intensité de l'image.

La distance de la bougie et celle de l'écran coloré à la lentille seront égales au double de la distance focale. C'est sur le papier jaune que l'image paraît la plus claire. Ces essais, faciles à faire, trouvent leur explication au n° 250. Sur le papier noir, on obtient aussi une image de la flamme et cela pour deux raisons. D'abord le papier n'est pas absolument noir, comme on le voit bientôt en regardant très obliquement sa surface; ensuite la surface noire, primitivement rugueuse, s'est polie par places sous l'action de la pression ou du frottement: par suite, elle réfléchit en partie la lumière.

252. Recevez sur une feuille de papier coloré le spectre solaire produit comme dans l'Exercice 231.

On ne voit sur le papier que celles des couleurs spectrales que le papier n'absorbe pas. Ces expériences sont en quelque sorte l'inverse de celles de l'Exercice 246.

253. Recevez sur la lentille les rayons du soleil; derrière la lentille, entre elle et le foyer, tenez une feuille de papier de couleur, et observez lequel de ces papiers est translucide.

Tous les papiers de couleur sont translucides. Le papier noir est opaque. En plaçant du côté opposé au soleil la face blanche du papier coloré, on voit que la lumière qui traverse le papier a sensiblement la même couleur que la lumière réfléchie.

254. Projetez, comme dans l'Exercice 179, l'image de la flamme d'une bougie sur du papier de couleur, et observez la couleur de la lumière qui traverse le papier.

On tournera la face blanche du papier coloré du côté opposé à la bougie et à la lentille. La lumière qui traverse a sensiblement la même couleur que la lumière réfléchie. L'expérience est surtout frappante avec le papier violet.

255. Observez à travers le prisme la flamme d'une bougie, et interposez le verre de couleur d'abord entre l'œil et le prisme, puis entre le prisme et la bougie.

Cette expérience très simple est extrêmement instructive et attrayante. On voit dans le spectre de la flamme d'abord une seule image rouge et verte de la flamme, image qui est nette et distincte, et de plus une série d'images bleues, mais partiellement superposées. Il est à peu près indifférent, pour cette expérience, que le verre coloré se trouve entre l'œil et le prisme ou entre le prisme et la bougie. La bougie sera à un mètre environ de l'œil. — L'explication de ce qu'on vient d'observer se trouvera dans l'Exercice suivant.

256. Découpez, dans une feuille de papier noir, une fente de 12^{cm} de long sur 5^{mm} de large, et placez le papier devant la fenêtre de telle sorte qu'on voie, à travers la fente, le ciel bien clair. Observez alors à travers le prisme cette ouverture lumineuse, en tenant le verre bleu devant l'œil. (V. l'Exercice 226.)

On ne voit plus le spectre complet; il est interrompu par des bandes noires. Ainsi il y en a une dans le rouge quand on interpose le verre bleu. Le spectre d'absorption nous dit donc que la plaque de verre bleu absorbe des rayons rouges.

(Elle absorbe aussi quelques autres rayons, par exemple des rayons jaunes, etc.) Ainsi s'explique l'apparition des images isolées rouge et verte de la flamme dans l'Exercice précédent.

On tient la plaque de verre de telle sorte que l'œil voie une moitié de la fente à travers le prisme et le verre bleu, et l'autre moitié à travers le prisme seulement. On peut ainsi comparer aisément le spectre d'absorption avec le spectre solaire complet. On placera l'œil à 2^m environ de la fente.

Il n'existe aucun corps transparent qui n'absorbe une partie de la lumière qui le traverse et qui, par suite, ne soit opaque quant à cette partie. Il est important de remarquer que l'absorption porte, non sur une seule espèce des rayons, mais sur plusieurs, comme le montre clairement le spectre d'absorption. Nous savons, par l'Exercice 247, que les vibrations de l'éther dont le nombre est inférieur à 400 billions par seconde ne sont plus perçues que sous forme de chaleur. C'est ce que nous avons appelé les rayons de chaleur obscure. Or, un corps peut être opaque pour ces rayons de même que pour les vibrations nommées rayons de lumière. On nomme *diathermanes* les corps qui laissent passer facilement les radiations calorifiques et *adiathermanes* (ou *athermanes*) ceux qui les arrêtent.

Voici un exemple pour expliquer ce qui précède. Considérons une grande caisse à moitié pleine de terre et fermée hermétiquement du haut par un châssis vitré — comme les couches des jardiniers. En exposant le châssis en plein soleil et plaçant un thermomètre dans la caisse, nous remarquerons que la température est toujours plus élevée dans la caisse qu'au dehors. Comment s'explique ce phénomène? C'est que presque tous les rayons solaires peuvent librement traverser le verre transparent et atteindre la terre de la couche. La surface noire et rugueuse de cette terre absorbe presque tous les rayons lumineux et renvoie, à leur place, des rayons de chaleur obscure. Si elle reçoit par exemple des rayons lumineux faisant 600 billions de vibrations par seconde, elle les transforme, par son pouvoir d'absorption, en rayons de chaleur obscure qui ne font plus peut-être que 300 billions de vibrations par seconde. Or le verre ordinaire est *adiathermane* pour ces vibrations; par suite, les rayons de chaleur sont en partie réfléchis par la fenêtre vers l'intérieur de la couche, où, par conséquent, la température s'élève notablement.

257. Observez à travers le verre coloré un spectre solaire produit comme dans l'Exercice 233.

On ne voit pas dans le spectre les espèces de rayons que le verre coloré absorbe.

258. Considérez à travers le verre coloré les feuilles de papier de couleur.

Les couleurs du papier paraissent d'autant plus modifiées que le verre coloré absorbe une plus grande quantité des rayons émis par elles. Ainsi les papiers jaune, rouge ou vert paraissent, à travers le verre bleu, d'une tout autre couleur, tandis que le papier bleu conserve sensiblement la sienne. — On observera en même temps le papier coloré directement, c'est-à-dire en regardant à côté de la plaque bleue.

259. Recevez sur la lentille les rayons du soleil; devant la lentille tenez le verre coloré, et placez une feuille de papier coloré derrière la lentille entre celle-ci et le foyer. Observez alors la teinte du cercle lumineux qui se produit.

La couleur du cercle lumineux s'explique par les développements exposés ci-dessus. Tous les papiers colorés réfléchissent de la lumière bleue.

A la fin, on tiendra les différents papiers au foyer, et l'on observera quel est celui qui commence le premier à prendre feu.

260. Les choses étant disposées comme dans l'Exercice 233, interposez le verre bleu entre le prisme et l'écran blanc, et observez le spectre d'absorption qui se produit.

Cette expérience demande du soin. On voit sur l'écran le même spectre que dans l'Exercice 257.

Electricité statique.

Certaines expériences d'électricité statique sont aussi impossibles à exécuter quand l'air est humide qu'il est impossible de produire un spectre solaire au milieu de la nuit. Or, il y a habituellement plus de jours où l'air est sec en hiver qu'en été. C'est donc l'hiver qu'il est bon de choisir pour s'occuper des Exercices suivants. On trouvera, au n° 303, un procédé simple pour reconnaître le degré de sécheresse ou d'humidité de l'air.

Au sujet des explications jointes à nos expériences, nous ferons remarquer que, selon toute probabilité, les phénomènes électriques sont dus au même corps, l'éther, qui produit les phénomènes de chaleur et de lumière. Dans ces deux derniers genres de phénomènes, l'éther agit par ses mouvements vibratoires; dans les phénomènes électriques, il agit vraisemblablement par sa masse ou par des mouvements de translation. Toutefois, cette théorie n'est encore ni assez complète ni assez vulgarisée dans le langage pour être employée ici. Nous garderons donc la manière de parler adoptée autrefois, alors qu'on attribuait les phénomènes électriques à deux fluides distincts. Nous n'attachons d'ailleurs à ces manières de nous exprimer aucune idée théorique; nous les employons simplement comme un moyen commode de traduire et de relier entre eux les faits que nous observons.

Attractions électriques.

- 261. Placez sur la table de petits corps légers, et approchez-en le bâton d'ébonite après l'avoir frotté. (V. la fig.)

On peut prendre comme corps légers des morceaux d'un fétu de paille, des brins de fil, des fragments de liège, etc. On tiendra le bâton d'ébonite par un bout, et on le frotera avec le morceau de flanelle. Ce qui donne



261.

le meilleur effet, c'est d'entourer le bâton avec la flanelle tout près de la main qui le tient et de le tirer alors vivement à travers la flanelle à plusieurs reprises. — Le bâton ainsi frotté attire les corps légers.

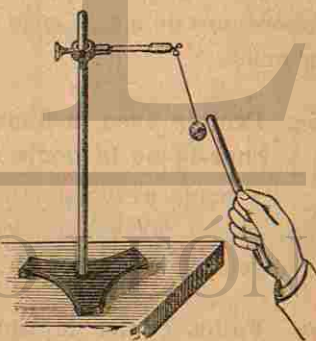
- 262. Repliez un doigt, et approchez de l'articulation qui fait saillie le bâton d'ébonite fortement frotté, en observant les phénomènes de son et de lumière qui se produisent.

On entend une crépitation, et, dans l'obscurité, on voit jaillir une étincelle entre le bâton et l'articulation. La flanelle agit mieux quand on l'échauffe d'abord près du poêle, parce qu'elle est alors plus sèche. Quant au bâton, il ne faut jamais le tenir par le milieu, mais toujours par l'un des bouts.

- 263. Frottez fortement le bâton d'ébonite, et promenez-le, en allant et en revenant, tout près du dos de la main en observant l'impression qu'on ressent.

On a la même impression que si l'on passait la main dans une toile d'araignée. Cette sensation vient du mouvement que prennent, à la surface de la main, les poils attirés par l'ébonite (Exercice 261).

- 264. Suspendez au support l'une des boules du pendule électrique, et approchez-en le bâton d'ébonite fortement frotté. (V. la fig.)



264.

La boule est attirée comme les corps légers de l'Exercice 261. Le frottement communique à l'ébonite la force d'attirer les corps. Cette force a reçu le nom d'électricité, dérivé du mot grec *electron* qui veut dire ambre, parce que c'est sur l'ambre que les anciens ont d'abord observé cette action. Maintenant se pose la question: Tous les corps s'électrisent-ils par le frottement?

265. Approchez de la boule du pendule le bâton de verre fortement frotté.

La boule est attirée. Le verre s'électrise donc par le frottement. — Le bâton de verre doit être sec, il est donc bon de l'échauffer d'abord près du poêle.

266. Frottez le plateau de l'électrophore, et approchez-le de la boule du pendule.

La boule n'est pas attirée. Pendant qu'on frotte l'électrophore, on le tiendra par le tube où s'adapte le manche.

267. Frottez un bâton de cire à cacheter, et approchez-le de la boule du pendule.

La boule est attirée. La cire à cacheter s'électrise donc par le frottement.

268. Tirez vivement et à plusieurs reprises à travers les doigts une bande de papier bien sèche, et approchez-la ensuite de la boule du pendule.

La boule est attirée. Le papier sec peut donc s'électriser par le frottement. — Le papier qui convient le mieux est le papier de soie ou le papier gris; on en prendra une bande de 3^{cm} de large et ayant plus de 20^{cm} de long. Le papier devant être bien sec pour que l'expérience réussisse, on le chauffera d'abord près du feu. On le tirera ensuite entre l'index et le doigt du milieu.

269. Frottez avec la flanelle une baguette de bois, et approchez-la de la boule du pendule.

La boule n'est pas attirée. — D'après les résultats des Exercices 266 et 269, nous devrions donc provisoirement répondre négativement à la question posée au n° 264.

270. Faites couler le siphon, et approchez du filet d'eau le bâton d'ébonite après l'avoir frotté.

Le filet d'eau est attiré par l'ébonite et subit par suite une déviation. — On remplira d'eau la grande éprouvette, et l'on en fera couler l'eau par le siphon (Exercice 49).

271. Approchez du filet d'eau qui coule du siphon d'autres corps frottés, par exemple le bâton de verre, le bâton de cire à cacheter, le plateau de l'électrophore, etc.

Le filet d'eau n'est attiré que par ceux des corps qui ont attiré la boule du pendule dans les Exercices précédents.

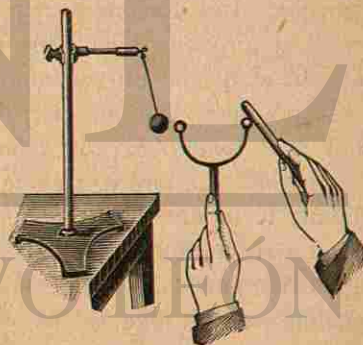
272. Suspendez horizontalement à un fil le bâton d'ébonite fortement frotté, et approchez-en divers autres corps non frottés, par exemple le bâton de verre, la baguette de bois, le bâton de cire à cacheter, la main, le plateau de l'électrophore, etc.

La baguette de bois, la main, le plateau de l'électrophore sont attirés par l'ébonite, mais, ces corps étant maintenus fixes, c'est l'ébonite qui s'approche d'eux. Au contraire, la cire à cacheter et le bâton de verre ne produisent aucun mouvement du bâton d'ébonite. Un corps électrisé ne peut donc pas attirer tous les corps!

Pour suspendre le bâton d'ébonite, on prendra une bande de papier de 10^{cm} de long sur 5^{cm} de large dont on réunira les deux bouts par un fil qu'on suspendra au pommeau d'un tiroir ou à quelque autre objet.

Bons et mauvais conducteurs de l'électricité.

273. Tenez contre le bâton d'ébonite fortement électrisé l'un des bouts de l'excitateur, et approchez l'autre bout de la boule du pendule. (V. la fig.)



La boule est attirée. — On ne tiendra l'excitateur que par son manche d'ébonite. — Cette expérience montre que l'électricité du bâton d'ébonite s'est propagée dans le fil métallique de l'excitateur.

274. Tenez contre le bâton d'ébonite fortement électrisé la plaque d'ébonite non électrisée, et approchez de la boule du pendule l'un des côtés de la plaque.

La boule n'est pas attirée. L'électricité semble donc ne pas se propager dans l'ébonite.

275. Tenez contre le bâton d'ébonite fortement électrisé l'un des bouts d'un bâton de cire à cacheter, et approchez du pendule électrique l'autre bout de ce bâton.

La boule n'est pas attirée. L'électricité semble donc ne pas se propager dans la cire à cacheter.

276. Prenez un fil métallique long de 30^{cm} environ; repliez-en les bouts en forme d'anneaux (comme ceux de l'excitateur), tenez l'un des anneaux contre le bâton d'ébonite électrisé, et approchez du pendule électrique l'autre anneau.

La boule n'est pas attirée. D'après cette expérience, l'électricité semble ne pas se propager dans le fil métallique. Cependant l'Exercice 273 a montré le contraire. Il doit donc y avoir une différence dans la disposition de ces deux Exercices. Quelle est cette différence? C'est que dans l'Exercice 273 nous avons tenu le fil métallique au moyen du manche d'ébonite et qu'ici nous le tenons à la main sans intermédiaire. Si, dans l'Exercice 273, nous tenons le fil métallique de l'excitateur avec la main, nous n'observerons aucune attraction du pendule électrique. En faisant l'essai, nous verrons cette déduction confirmée par l'expérience. Les Exercices 273 et 276 prouvent donc que l'électricité se propage bien dans le fil métallique et dans le corps humain et qu'elle est au contraire comme arrêtée par l'ébonite. C'est pourquoi l'on dit: Le fil métallique et le corps humain sont *bons conducteurs* de l'électricité, l'ébonite est un *mauvais conducteur*. La cire à cacheter est aussi un mauvais conducteur, comme le montre l'Exercice 275.

La suspension des pendules est séparée du support par une tige d'ébonite, qui empêche l'électricité de se propager du pendule vers la tige de fer; c'est ce qu'on exprime en disant que les pendules sont *isolés* par l'ébonite.

277. L'une des deux boules étant suspendue au support, frottez le bâton d'ébonite, touchez-en le crochet vide, et approchez le doigt de la boule.

La boule se meut vers le doigt. Le contact du bâton d'ébonite l'a donc électrisée. Au lieu du bâton d'ébonite, on peut aussi prendre le bâton de verre ou de cire à cacheter. L'électricité se propage par le fil depuis la suspension jusqu'à la boule.

278. L'une des deux boules étant accrochée à sa suspension, reliez par un fil métallique le crochet vide à la tige de fer du support; touchez la suspension avec le bâton d'ébonite électrisé, et approchez le doigt de la boule.

La boule ne se met pas en mouvement; elle n'est donc pas électrisée. — La boule n'est plus isolée, parce que la suspension est reliée à la tige de fer par un corps bon conducteur. L'électricité va du bâton d'ébonite, par le fil de communication, à la tige de fer et de là dans la terre.

279. L'une des boules du pendule étant suspendue au support et isolée, touchez la suspension avec le bâton d'ébonite électrisé, éloignez le bâton, et approchez le doigt de la boule.

La boule se meut vers le doigt; elle est donc restée électrisée. L'électricité qui a passé sur la boule par le contact du bâton d'ébonite doit rester sur cette boule, même après qu'on a éloigné le bâton; elle ne peut en effet traverser la tige d'ébonite qui soutient la suspension pour passer à la tige du support et de là dans le sol.

Cependant la boule du pendule pourrait communiquer son électricité à un autre corps, savoir l'air qui l'environne. Puisqu'elle reste électrisée, c'est que l'air doit être un mauvais conducteur de l'électricité.

280. Suspendez la boule du pendule à un fil de soie, électrisez-la en la touchant avec le bâton d'ébonite préalablement frotté, et approchez le doigt de la boule.

La boule se meut vers le doigt; elle est donc restée électrisée. Par suite, le fil de soie doit être un mauvais conducteur de l'électricité. ®

281. Suspendez la boule du pendule à un fil de coton, électrisez-la en la touchant avec le bâton d'ébonite, et approchez le doigt de la boule.

La boule ne se meut pas vers le doigt; elle n'est donc pas restée électrisée. Le fil de coton est bon conducteur de l'électricité.

282. L'une des boules du pendule étant suspendue au support et isolée, électrisez-la au moyen du bâton d'ébonite (Exercice 279); touchez alors du doigt la suspension du pendule, puis approchez le doigt de la boule.

La boule ne donne plus de signe d'électricité. Quand le doigt touche la suspension, l'électricité se propage par le corps humain jusque dans la terre. On dit que la boule a été *déchargée* par le contact du doigt.

283. Électrisez une boule du pendule suspendue au support, touchez-la avec le bâton de verre non électrisé, puis approchez le doigt de la boule.

La boule se meut vers le doigt; elle est donc restée électrisée. Le bâton de verre est un mauvais conducteur de l'électricité. Le pouvoir conducteur du verre dépend de sa composition. Il y a du verre qui est bon conducteur, il y en a d'autre qui ne l'est pas.

284*. Examinez si le verre d'un carreau de vitre conduit bien l'électricité.

Le carreau étant bien desséché, frottez-le en son milieu avec la flanelle, et approchez-en la boule du pendule suspendue à un fil de coton. Si la boule est attirée, le verre est mauvais conducteur.

285. Électrisez une boule du pendule suspendue au support, touchez-la avec un bâton de cire à cacheter électrisé, puis approchez le doigt de la boule.

La boule est électrisée. La cire à cacheter est un mauvais conducteur de l'électricité. (V. l'Exercice 275.)

286. La boule du pendule ayant été électrisée par contact, d'après l'Exercice 279, approchez-en, sans les frotter, le bâton de cire à cacheter, le bâton de verre, la baguette de bois, le plateau de l'électrophore, etc.

La boule se mettra en mouvement vers tous ceux de ces corps qui, dans l'Exercice 272, ont fait tourner le bâton d'ébonite. En considérant ces corps au point de vue de leur conductibilité électrique, nous remarquerons qu'il n'y a que les bons conducteurs qui attirent la boule.

287. Touchez du doigt le bâton d'ébonite après l'avoir frotté, puis approchez-le de la boule du pendule mise en communication avec le sol, d'après l'Exercice 278.

La boule est attirée par le bâton. Nous observerions le même effet si nous avions agi de même avec le bâton de verre ou de cire à cacheter. D'après l'Exercice 282, nous ne pouvions pas prévoir ce résultat. Si le bâton d'ébonite reste électrisé après qu'il a été touché du doigt, c'est uniquement parce qu'il est mauvais conducteur de l'électricité: le doigt ne le décharge qu'à l'endroit qu'il a touché. Il s'ensuit encore que la boule du pendule, portée par sa suspension isolante, se charge plus fortement lorsqu'on promène le bâton électrisé, verre ou ébonite, sur la partie métallique de la suspension; alors, en effet, il y a un grand nombre de points du bâton qui viennent en contact avec le métal.

Enfin, d'après tout ceci, nous devons considérer d'une autre manière les résultats des Exercices 266 et 269. Il ne serait pas impossible que le plateau de l'électrophore ne se fût électrisé par le frottement; seulement, en le tenant à la main, nous aurions conduit immédiatement l'électricité dans le sol. Nous recommencerons donc l'Exercice 266 d'une manière différente.

288. Tenez le couvercle de l'électrophore par son manche d'ébonite, fouettez-le avec la pièce de flanelle, et approchez-le de la boule du pendule mise en communication avec le sol, d'après l'Exercice 278.

La boule est attirée par le plateau. Celui-ci s'est donc effectivement électrisé. — Il faut fouetter fort et rapidement. L'expérience réussit à coup sûr quand l'air est sec. — En frottant, avec les mêmes précautions, la baguette de bois, nous pourrions mettre également en évidence sa charge électrique.

Voici donc ce que nous avons appris jusqu'à présent:

1. Tous les corps s'électrisent par le frottement.
2. L'électricité ne se propage pas également bien dans tous les corps. On distingue par suite les corps en bons et en mauvais conducteurs de l'électricité. Les métaux, le bois, le corps humain, le fil de coton sont bons conducteurs; l'ébonite, le verre, la cire à cacheter, la soie sont mauvais conducteurs.

- 3. Un corps électrisé attire les corps bons conducteurs de l'électricité.

Les deux espèces d'électricité.

289. Touchez la boule isolée du pendule avec le bâton d'ébonite électrisé, éloignez ce bâton, et approchez de la boule électrisée le bâton de verre après l'avoir frotté.

La boule est attirée. — Si le bâton de verre n'était pas électrisé, on n'observerait aucun mouvement de la boule (Exercice 286). Le bâton de verre doit être bien sec.

290. Touchez la boule isolée du pendule avec le bâton d'ébonite électrisé, éloignez ce bâton, et approchez de la boule le bâton de cire à cacheter après l'avoir frotté.

La boule est repoussée. — Si le bâton de cire à cacheter n'était pas électrisé, on n'observerait aucun mouvement de la boule (Exercice 286). Dans les Exercices 289 et 290, la boule du pendule a été chargée avec l'électricité de l'ébonite. L'Exercice 289 montre donc que l'électricité de l'ébonite et celle du verre s'attirent réciproquement; l'Exercice 290 montre que, au contraire, l'électricité de l'ébonite et celle de la cire à cacheter se repoussent. L'électricité du verre n'est donc pas la même que celle de la cire à cacheter. — L'électricité du verre a reçu le nom d'*électricité positive* et se désigne par le signe +; celle de la cire à cacheter a reçu le nom d'*électricité négative* et se désigne par le signe —.

291. Touchez la boule isolée du pendule avec le bâton de verre électrisé, éloignez ce bâton, et approchez de la boule électrisée d'abord le bâton d'ébonite électrisé, puis celui de cire à cacheter électrisé aussi.

La boule électrisée est attirée par les deux bâtons. L'ébonite frottée s'électrise donc négativement comme la cire à cacheter, puisque les électricités de ces deux corps exercent la même action sur la boule électrisée du pendule.

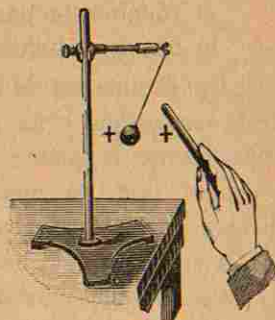
292. Touchez la boule isolée du pendule avec le bâton de cire à cacheter électrisé, éloignez ce bâton, et approchez

de la boule électrisée d'abord le bâton d'ébonite électrisé, puis le bâton de verre électrisé aussi.

L'expérience montre que l'électricité du verre est différente de celle de l'ébonite, et que par conséquent l'ébonite frottée s'électrise négativement.

293. Touchez avec le bâton d'ébonite électrisé la partie métallique de la suspension du pendule, éloignez ce bâton, puis approchez-le de la boule électrisée. (V. la fig.)

La boule est repoussée.



293.

294. Répétez l'Exercice précédent avec le bâton de verre ou celui de cire à cacheter.

On observe que toujours la boule électrisée est repoussée par le bâton électrisé. La boule ayant la même électricité que le bâton, nous pouvons traduire notre observation par cet énoncé: Les électricités de même nom se repoussent.

295. Tenez le plateau de l'électrophore par son manche, chargez-le d'électricité avec le verre ou la cire à cacheter électrisés, puis approchez-le de la boule isolée du pendule.

La boule est d'abord attirée puis vivement repoussée. Voici pourquoi. Le plateau électrisé attire d'abord la boule à l'état neutre. Si cette boule n'était pas isolée, l'électricité du plateau métallique passerait dans le sol par la boule, le fil et le support. Mais la boule étant isolée, elle garde après le contact la même électricité que le plateau: or, les électricités de même nom se repoussent.

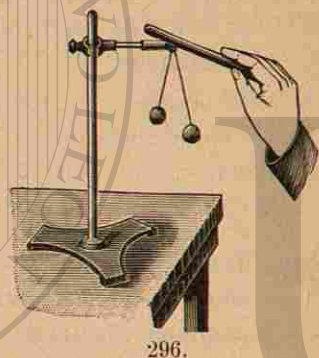
Si l'on approche de la boule le bâton de verre électrisé, la boule est attirée. Venant alors à toucher le verre, elle devrait régulièrement être repoussée, mais ceci n'arrive pas toujours. En effet, d'après les explications du n° 287, la boule reçoit bien du bâton une charge électrique, mais cette charge est si faible, en comparaison de la charge totale du bâton, que la boule est attirée comme un corps à l'état neutre. On pourrait dire aussi: la boule est, il est vrai, repoussée par l'électricité qui se trouve

au point de contact, mais elle est attirée beaucoup plus fortement par l'électricité qui se trouve sur le reste de la surface du bâton de verre.

296. Accrochez les deux boules à la suspension des pendules, et touchez la partie métallique de cette suspension avec le bâton d'ébonite ou le verre électrisés.

En promenant le bâton électrisé sur la partie métallique de la suspension, cette partie métallique, les fils et les boules se chargent de la même espèce d'électricité. Les deux boules prennent donc le même signe, et elles se repoussent. Elles divergent plus fortement à mesure qu'on promène plus souvent sur la suspension le bâton récemment frotté.

Ce double pendule électrique s'appelle *électroscope*. Les boules divergent évidemment pour chacune des deux espèces d'électricité. L'électroscope accuse donc l'existence d'une charge électrique sans fournir directement aucune indication sur le signe de cette charge. L'appareil est d'autant plus sensible que les boules sont plus légères. Ainsi, un électroscope composé de deux feuilles étroites d'or battu ou d'aluminium accuse des charges électriques extrêmement faibles.



296.

297. Fendez en deux sur presque toute sa longueur une bande de papier bien sec, longue de 20^{cm} et large de 6^{cm}, et tirez-la vivement à travers les doigts. Observez alors comment divergent les deux moitiés.

Le papier s'électrise par le frottement (Exercice 268). Les deux moitiés sont de même signe et par suite se repoussent.

En résumé, d'après les observations des nos 289—297 :

1. Il y a deux espèces d'électricité, l'une positive ou électricité du verre (vitrée), l'autre négative ou électricité de la résine (résineuse).
2. Les électricités de noms contraires s'attirent, celles de même nom se repoussent.

Expériences avec l'électroscope.

298. Touchez de la main l'électroscope chargé, et observez les boules.

Les boules retombent aussitôt. — On chargera l'électroscope comme dans l'Exercice 296. Pourquoi les boules retombent-elles? Par le contact du doigt, l'électricité se répand dans le sol à travers la main et le corps: l'électroscope est déchargé. L'électroscope se prête donc très bien aux essais sur la conductibilité électrique des corps.

299. Touchez avec un fil métallique l'électroscope chargé; — employez de même une aiguille à tricoter ou un morceau de métal quelconque, et observez les boules.

Les boules retombent aussitôt. — Les métaux sont les meilleurs conducteurs de l'électricité.

300. Essayez, au moyen de l'électroscope, la conductibilité des tubes de verre, des deux plaques de glace (argentée ou non), de l'ébonite, du bois, etc.

On applique sur la suspension des pendules les corps à essayer, et l'on observe si les boules retombent plus ou moins vite. Pour le verre, il faut avant tout bien l'essuyer, car une couche de poussière adhérente à sa surface conduit toujours l'électricité. Pour le bois, sa conductibilité dépend entièrement de son degré de sécheresse. Le bois très sec est mauvais conducteur.

301. Essayez, au moyen de l'électroscope, la conductibilité de la bouteille de Leyde. [®]

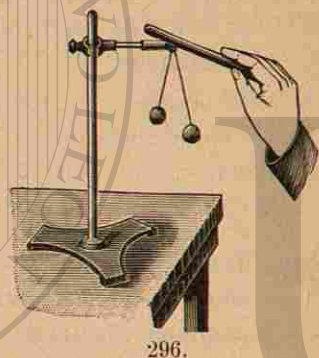
Pour que la bouteille fonctionne bien, le verre dont elle est faite doit être bien isolant. On chauffera un peu la bouteille avec précaution, et l'on essuyera avec soin la surface du verre. On prendra alors la bouteille en main de manière à ne toucher que la feuille d'étain appliquée à l'extérieur, et l'on appliquera le goulot sur l'électroscope chargé. Les pendules ne doivent se rapprocher que lentement.

au point de contact, mais elle est attirée beaucoup plus fortement par l'électricité qui se trouve sur le reste de la surface du bâton de verre.

296. Accrochez les deux boules à la suspension des pendules, et touchez la partie métallique de cette suspension avec le bâton d'ébonite ou le verre électrisés.

En promenant le bâton électrisé sur la partie métallique de la suspension, cette partie métallique, les fils et les boules se chargent de la même espèce d'électricité. Les deux boules prennent donc le même signe, et elles se repoussent. Elles divergent plus fortement à mesure qu'on promène plus souvent sur la suspension le bâton récemment frotté.

Ce double pendule électrique s'appelle *électroscope*. Les boules divergent évidemment pour chacune des deux espèces d'électricité. L'électroscope accuse donc l'existence d'une charge électrique sans fournir directement aucune indication sur le signe de cette charge. L'appareil est d'autant plus sensible que les boules sont plus légères. Ainsi, un électroscope composé de deux feuilles étroites d'or battu ou d'aluminium accuse des charges électriques extrêmement faibles.



297. Fendez en deux sur presque toute sa longueur une bande de papier bien sec, longue de 20^{cm} et large de 6^{cm}, et tirez-la vivement à travers les doigts. Observez alors comment divergent les deux moitiés.

Le papier s'électrise par le frottement (Exercice 268). Les deux moitiés sont de même signe et par suite se repoussent.

En résumé, d'après les observations des nos 289—297 :

1. Il y a deux espèces d'électricité, l'une positive ou électricité du verre (vitrée), l'autre négative ou électricité de la résine (résineuse).
2. Les électricités de noms contraires s'attirent, celles de même nom se repoussent.

Expériences avec l'électroscope.

298. Touchez de la main l'électroscope chargé, et observez les boules.

Les boules retombent aussitôt. — On chargera l'électroscope comme dans l'Exercice 296. Pourquoi les boules retombent-elles? Par le contact du doigt, l'électricité se répand dans le sol à travers la main et le corps: l'électroscope est déchargé. L'électroscope se prête donc très bien aux essais sur la conductibilité électrique des corps.

299. Touchez avec un fil métallique l'électroscope chargé; — employez de même une aiguille à tricoter ou un morceau de métal quelconque, et observez les boules.

Les boules retombent aussitôt. — Les métaux sont les meilleurs conducteurs de l'électricité.

300. Essayez, au moyen de l'électroscope, la conductibilité des tubes de verre, des deux plaques de glace (argentée ou non), de l'ébonite, du bois, etc.

On applique sur la suspension des pendules les corps à essayer, et l'on observe si les boules retombent plus ou moins vite. Pour le verre, il faut avant tout bien l'essuyer, car une couche de poussière adhérente à sa surface conduit toujours l'électricité. Pour le bois, sa conductibilité dépend entièrement de son degré de sécheresse. Le bois très sec est mauvais conducteur.

301. Essayez, au moyen de l'électroscope, la conductibilité de la bouteille de Leyde. [®]

Pour que la bouteille fonctionne bien, le verre dont elle est faite doit être bien isolant. On chauffera un peu la bouteille avec précaution, et l'on essuyera avec soin la surface du verre. On prendra alors la bouteille en main de manière à ne toucher que la feuille d'étain appliquée à l'extérieur, et l'on appliquera le goulot sur l'électroscope chargé. Les pendules ne doivent se rapprocher que lentement.

302. Essayez la conductibilité de la soie.

On prendre dans chaque main l'un des bouts du fil à essayer, on le tendra bien, et on l'appliquera, d'abord par le milieu, sur l'électroscope chargé. La soie sèche est un mauvais conducteur. On recherchera ensuite à quelle longueur on peut réduire le fil sans qu'il cesse d'isoler.

303. Essayez la conductibilité d'un fil de soie humecté d'eau.

On opérera comme dans l'Exercice 302. Les deux pendules retombent aussitôt. L'eau est donc un bon conducteur. (Comparez les Exercices 270 et 271.)

L'air sec est un mauvais conducteur, l'eau, un bon conducteur de l'électricité. Or, l'air contient toujours de la vapeur d'eau (Exercice 104). La conductibilité de l'air dépend donc de la quantité de vapeur d'eau qu'il contient. Cette quantité est grande par les temps humides ou pluvieux; par suite, l'air est alors assez bon conducteur. Alors les boules de l'électroscope chargé cèdent facilement leur électricité à l'air et retombent rapidement. L'électroscope chargé indique donc assez exactement le degré d'humidité de l'air: si les boules se rapprochent rapidement, l'air contient beaucoup de vapeur d'eau; si elles restent écartées pendant des heures, l'air doit être très sec. C'est par des jours semblables que réussissent les expériences les plus difficiles de l'électricité statique.

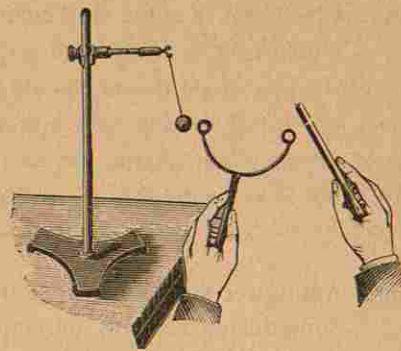
304. Touchez à plusieurs reprises, avec l'excitateur, l'électroscope chargé.

Quand l'excitateur, tenu par son manche d'ébonite, touche l'électroscope, les boules retombent un peu. L'électricité se communique à l'excitateur, et les boules se déchargent partiellement. A un nouveau contact, les boules restent sensiblement immobiles. L'effet serait tout autre si, avant chaque nouveau contact, on déchargeait l'excitateur avec la main. Alors les boules se rapprocheraient à chaque fois et retomberaient enfin entièrement.

Electrisation par influence.

305. Une boule du pendule étant isolée sur sa suspension, approchez-en l'une des extrémités de l'excitateur, et approchez de l'autre extrémité le bâton d'ébonite fortement électrisé. Observez alors le pendule. (V. la fig.)

La boule est attirée par l'excitateur. Si l'on éloigne l'excitateur sans déplacer le bâton d'ébonite, la boule reprend à peu près sa position d'équilibre. (Elle est faiblement attirée par l'ébonite.) Si l'on éloigne le bâton sans déplacer l'excitateur, la boule reprend exactement sa position d'équilibre. En l'absence de l'excitateur, le bâton d'ébonite exerce en tous sens une égale attraction. Mais quand on place à proximité l'excitateur, dont le métal est beaucoup meilleur conducteur que l'air environnant, c'est sur lui que le bâton exerce principalement son action électrique.



305.

Il doit donc s'être produit dans l'excitateur un état électrique particulier qui se manifeste par l'attraction du pendule. C'est ce qu'on exprime en disant: Un corps électrisé *électrise par influence* un conducteur placé à proximité. — Ce phénomène sera étudié dans les Exercices suivants.

306. Appliquez sur la suspension de l'électroscope non chargé l'une des extrémités de l'excitateur, approchez de l'autre extrémité le bâton d'ébonite fortement électrisé, puis éloignez-le, en observant comment divergent les pendules.

Les boules divergent quand le bâton s'approche; elles retombent quand il s'éloigne. L'excitateur et l'électroscope ne forment qu'un tout. On obtient le même mouvement des boules en n'employant pas l'excitateur et en approchant et éloignant ensuite de la suspension le bâton électrisé.

307. Appliquez sur la suspension de l'électroscope non chargé l'une des extrémités de l'excitateur, approchez de l'autre extrémité le bâton d'ébonite fortement électrisé, puis éloignez l'excitateur, en observant comment divergent les pendules.

Les boules divergent quand le bâton s'approche, et elles restent divergentes quand on éloigne l'excitateur.

L'électroscope a reçu une charge électrique. Comme il

n'était pas chargé auparavant, cette charge doit s'être produite par l'approche du bâton d'ébonite.

Il reste à rechercher si cette charge est de même nom que celle de l'ébonite ou de nom contraire.

308. Cherchez le signe de l'électricité dont l'électroscope s'est chargé dans l'Exercice 307.

En approchant des boules de l'électroscope le bâton d'ébonite électrisé, nous voyons que leur divergence augmente. L'électroscope est donc chargé de la même électricité que le bâton d'ébonite (Exercice 297). — Avant d'aller plus loin, recommencez avec le bâton de verre électrisé les Exercices 307 et 308.

309. Appliquez sur la suspension de l'électroscope non chargé l'une des extrémités de l'excitateur, approchez de l'autre extrémité le bâton de verre fortement électrisé, éloignez alors l'excitateur, puis le bâton de verre, et cherchez le signe de l'électricité dont l'électroscope s'est chargé.

D'après ce qui a été indiqué aux n^{os} 307 et 308, on trouve que l'électroscope est chargé de l'électricité du verre ou positive. — Si, au lieu du bâton de verre, on employait un bâton de cire à cacheter, l'électroscope accuserait la présence de l'électricité résineuse ou négative.

Nous avons jusqu'ici négligé entièrement l'excitateur. Il tient cependant une place importante dans la disposition de nos expériences; il faut donc, pour opérer avec méthode, l'examiner aussi de près.

310. Examinez si, dans le cours des expériences précédentes, l'excitateur, après avoir été écarté, a une charge électrique et quel est le signe de cette charge.

Il ne faut tenir l'excitateur que par son manche d'ébonite. Après qu'on l'a éloigné, l'électroscope est, nous le savons, chargé d'électricité vitrée ou positive. Or, en présentant l'excitateur à l'une des boules de l'électroscope, nous voyons cette boule vivement attirée. Cela suffit-il pour conclure que l'excitateur a une charge électrique de nom ou de signe contraire, comme dans l'Exercice 297? Non: la boule serait également attirée quand même l'excitateur serait à l'état neutre, le fil métallique étant attiré également dans les deux cas, parce qu'il est bon conducteur.

Il faut donc donner à l'électroscope une charge de signe contraire, c'est-à-dire résineuse ou négative, et en approcher de nouveau l'excitateur. Nous voyons alors que la boule est repoussée, et ceci nous autorise à conclure que l'excitateur est chargé d'électricité résineuse ou négative. — Ces expériences doivent se succéder rapidement, l'excitateur perdant peu à peu son électricité qu'il cède à la vapeur d'eau suspendue dans l'air.

En considérant comme un seul tout l'électroscope et l'excitateur qui le touche, nous pouvons traduire les résultats des Exercices 305 à 310 de la manière suivante. Lorsqu'on approche d'un corps bon conducteur un corps électrisé positivement, il se manifeste, sur le conducteur, de l'électricité positive et de l'électricité négative. L'électricité négative se manifeste sur la partie du conducteur la plus voisine du corps électrisé, l'électricité positive sur l'extrémité la plus éloignée. Ce phénomène porte le nom d'*influence* ou d'*induction*. Lorsqu'on éloigne le corps électrisé, tout signe d'électricité disparaît sur le conducteur (Exercices 305 et 306). Si l'on sépare les deux parties du conducteur en laissant en place le corps électrisé (ou inducteur), chaque partie garde sa charge électrique, quand même on éloignerait ensuite le corps inducteur. — On aurait une suite de phénomènes toute semblable si le corps inducteur était électrisé négativement.

Voici donc la loi fondamentale de l'électricité. *Lorsqu'on approche un corps électrisé d'un corps conducteur (à l'état neutre), il ne se développe jamais sur le conducteur une seule espèce d'électricité, mais toujours les deux à la fois, positive et négative.* De ce principe et de celui qui a été énoncé plus haut: *les électricités de même nom se repoussent, les électricités de noms contraires s'attirent*, découle toute la théorie de l'électrisation par influence. Voici, par exemple, une déduction immédiate de ces deux principes. Lorsqu'on approche d'un conducteur un corps électrisé, le conducteur s'électrise et prend le même signe que la source à celle de ses extrémités qui en est la plus éloignée et le signe contraire à l'extrémité la plus voisine. En effet, le corps électrisé attire le plus près possible l'électricité de nom contraire et repousse le plus loin possible l'électricité de même nom.

Pour maintenir séparées, même après l'éloignement du corps inducteur, les électricités qui se manifestent ainsi sur les deux parties du conducteur, il faut nécessairement séparer ces deux

parties. C'est ce que nous avons fait en éloignant l'excitateur. Nous aurions pu éloigner de même l'électroscope. Nous verrons, dans l'Exercice suivant 311, qu'on peut encore réaliser autrement cette séparation.

Revenons encore un instant sur la loi fondamentale de l'électrisation par influence. Le bâton d'ébonite frotté avec l'étoffe de laine devient, nous le savons, négatif. Où faut-il chercher l'électricité positive correspondante? Dans l'étoffe de laine. On peut concevoir la production de l'électricité par le frottement comme une induction ou influence réciproque des plus petites particules des corps frottés l'un contre l'autre. La laine se charge positivement dans la même mesure que l'ébonite se charge négativement. Nous pouvons dire indifféremment: quand on frotte l'ébonite avec de la laine, il se produit sur l'ébonite de l'électricité négative, ou: quand on frotte de la laine avec de l'ébonite, il se produit sur la laine de l'électricité positive. Ordinairement, nous ne pouvons pas observer la charge électrique de la laine, parce que, tenant la laine à la main, nous conduisons dans le sol l'électricité produite. Mais en attachant la laine à un manche isolant, par exemple au bâton de verre ou de cire à cacheter, ou bien en l'enveloppant d'une pièce de soie, nous pouvons constater, en la présentant à l'électroscope chargé positivement, que la laine s'est électrisée positivement par le frottement contre l'ébonite. Cette vérification demande pourtant une adresse assez grande, mais elle réussit à coup sûr quand le temps est bien sec. — Ces considérations font concevoir aussi pourquoi la nature de l'électricité développée sur l'ébonite par le frottement dépend de la nature du corps frottant. Nous savons que l'ébonite s'électrise négativement quand on la frotte avec de la laine. Mais elle se montre positive lorsqu'on la frotte doucement avec l'amalgame de Kienmayer dont on enduit les coussins des machines électriques à frottement (1 partie en poids d'étain, 1 de zinc et 2 de mercure). Cet amalgame s'étend sur un morceau de cuir légèrement graissé. — Il arrive de même assez facilement que le verre frotté avec de la laine devienne négatif et non pas positif. Cela dépend de l'état de la surface du verre. Pour électriser le verre positivement en le frottant avec de la laine, il faut bien le dessécher et pour cela le chauffer un peu, si possible.

A la suite d'essais faits sur différents corps, on a pu les

ranger en une série dans laquelle un corps quelconque s'électrise positivement quand on le frotte avec un de ceux qui le suivent et négativement quand on le frotte avec un de ceux qui le précèdent. Voici les principaux corps de cette série: les poils (peau de chat, queue de renard), le verre poli, la laine, le papier, la soie, le verre mat, l'ébonite, la résine, l'ambre, le soufre, les métaux, le collodion (coton-poudre). Ainsi le papier sec frotté avec de la soie devient positif, et le plateau métallique de l'électrophore frotté avec de la soie devient négatif.

311. Touchez du doigt la suspension de l'électroscope non chargé, approchez par en haut le bâton d'ébonite électrisé, éloignez le doigt, puis le bâton, et observez les boules de l'électroscope.

Les boules se repoussent et divergent; l'électroscope a donc une charge électrique. — A l'approche de l'ébonite électrisée négativement, les pendules de l'électroscope et le doigt s'électrisent par influence; l'électricité positive est attirée et retenue par l'ébonite, l'électricité négative développée en même temps se propage dans le sol à travers le corps. Quand on écarte le doigt, le bâton d'ébonite ne peut plus y retenir l'électricité positive, celle-ci s'écoule dans le sol. Mais l'ébonite continue à retenir comme auparavant l'électricité dans les boules de l'électroscope. Lorsqu'enfin on éloigne le bâton, cette électricité positive tend à se propager, mais, l'électroscope étant isolé, elle ne peut que se répandre sur les boules des pendules. Par suite, celles-ci se repoussent.

312. Approchez par en haut le bâton d'ébonite électrisé de l'électroscope non chargé, touchez du doigt la suspension des pendules, écartez le doigt, puis le bâton, et observez les boules de l'électroscope.

A l'approche de l'ébonite électrisée négativement, les pendules s'électrisent par influence; l'électricité positive se porte sur la suspension et l'électricité négative sur les boules; donc, celles-ci se repoussent. Mais, en touchant du doigt la suspension, on permet à l'électricité des boules de se propager dans le sol: c'est ce qui a lieu, et par suite les boules retombent. Quand alors on enlève le doigt, il se reproduit la série de phénomènes décrite dans l'Exercice précédent.

313*. Approchez l'excitateur du bâton d'ébonite électrisé, touchez du doigt l'excitateur, éloignez-le ensuite, et examinez, au moyen de l'électroscope chargé, si l'excitateur s'est électrisé et de quel signe est sa charge électrique.

L'excitateur s'est électrisé positivement, c'est-à-dire a pris le signe contraire à celui de l'ébonite. — A l'approche du bâton d'ébonite, l'excitateur s'est électrisé par influence. L'électricité positive a été retenue par l'ébonite, la négative s'est propagée dans le sol par le doigt lors du contact.

314. Chargez l'électroscope en le touchant avec le bâton d'ébonite électrisé; touchez-le ensuite avec le bâton de verre électrisé, et observez l'effet produit sur les boules.

Si la charge positive du bâton de verre est aussi forte que la charge négative de l'ébonite et qu'on touche à la fois avec les deux bâtons, les deux électricités se réunissent, et les boules restent l'une contre l'autre. Mais si, comme le veut l'énoncé, on touche successivement avec les deux bâtons, l'effet est tout différent. — Par le contact de l'ébonite électrisée, l'électroscope s'est chargé négativement. L'écartement des deux boules dépend de leur poids, de la conductibilité des pendules et de l'isolement plus ou moins parfait de l'électroscope. Cet écart ne dépasse pas une certaine limite, quelque souvent que nous promenions l'ébonite sur la suspension métallique. Mais, si nous déchargeons l'électroscope avec le doigt et que nous promenions de nouveau le bâton dessus, nous observerons un nouvel écartement.

L'électroscope, chargé d'abord négativement, se décharge d'abord au contact du verre positif (les deux électricités se réunissent); il se charge ensuite positivement quand on continue à promener dessus le bâton de verre.

315. Approchez d'une boule isolée du pendule le bâton d'ébonite électrisé, touchez alors du doigt la suspension du pendule, et observez comment augmente la déviation éprouvée d'abord par la boule.

A l'approche de l'ébonite électrisée, la boule s'est électrisée par influence. Cette action se manifestera d'autant mieux qu'elle pourra s'accomplir plus facilement. Or cette action est contrariée par la tendance qu'ont toujours à se réunir les deux électricités

séparées par l'influence du corps inducteur. Si donc l'on décharge l'une des deux électricités, l'influence pourra s'exercer plus énergiquement. Par suite, la boule du pendule, une fois déchargée, subit, par l'action de l'ébonite, une déviation plus grande en dehors de sa position d'équilibre.

Ceci nous fait mieux saisir le mécanisme des attractions électriques. L'ébonite électrisée n'attire pas le corps comme tel, elle l'attire seulement comme porteur de l'électricité de nom contraire. Aussi ne peut-elle attirer un corps que si elle peut l'électriser par influence. Ainsi s'expliquent enfin les résultats des Exercices 272 et 286: Un corps électrisé peut attirer d'autant plus énergiquement un autre corps que celui-ci est meilleur conducteur; c'est alors en effet qu'il l'électrisera le plus fortement par influence.

Electricité libre et électricité dissimulée.

316. Approchez par en haut la main de l'électroscope chargé, et observez la divergence des pendules.

A l'approche de la main les boules retombent presque au contact; elles divergent de nouveau quand la main s'éloigne. — Ici c'est l'électroscope chargé qui joue le rôle de corps électrisé et agit par influence sur les conducteurs qui s'approchent de lui. Supposons-le chargé négativement au moyen de l'ébonite. Il agit par influence sur la main, corps bon conducteur, qui s'approche de lui. L'électricité positive de la main est attirée par l'électroscope, l'électricité négative développée en même temps se propage par le corps dans le sol. Il y a donc une partie de l'électricité dont est chargé l'électroscope, occupée, pour ainsi dire, à maintenir sur la main l'électricité positive. Cette partie ne peut produire en même temps aucun autre effet, elle ne peut donc contribuer à faire diverger les boules: par suite, celles-ci retombent. On dit que cette partie de l'électricité est *dissimulée*.

La main s'écartant, l'électricité dissimulée ne peut plus attirer d'électricité positive, elle exerce son action d'une autre manière en écartant de nouveau les boules de l'électroscope. On dit que l'électricité est redevenue *libre*.

317. Approchez par en haut de l'électroscope chargé la plaque d'ébonite non électrisée, et observez la divergence des pendules.

La divergence ne varie pas, soit qu'on approche la plaque, soit qu'on l'éloigne. — L'ébonite étant un mauvais conducteur, l'électroscope ne peut pas agir sur elle par influence; son électricité reste donc libre.

318. Approchez de l'électroscope chargé un corps électrisé de signe contraire, et observez la divergence des pendules.

A l'approche du corps électrisé les boules retombent; elles divergent de nouveau quand le corps s'éloigne. — Supposons l'électroscope chargé positivement au moyen du bâton de verre. A l'approche d'un corps électrisé négativement, du bâton d'ébonite par exemple, il s'exerce une attraction entre l'électricité positive de l'électroscope et l'électricité négative du corps: elles se dissimulent l'une l'autre. Elles redeviennent libres quand on éloigne le bâton. Il peut arriver qu'en approchant davantage le bâton d'ébonite, on voie diverger de nouveau les boules. Voici pourquoi. Le bâton d'ébonite a généralement une charge plus forte que l'électroscope. Par suite, quand toute l'électricité de l'électroscope est dissimulée à l'approche du bâton, celui-ci garde encore de l'électricité libre. Quand on approche le bâton encore davantage, cette électricité restée libre agit sur l'électroscope comme s'il n'était pas chargé; elle l'électrise donc par influence comme tout autre conducteur. (Si, pendant qu'on continue ainsi à approcher le bâton d'ébonite, on touche du doigt l'électroscope, celui-ci se montrera plus fortement chargé, quand on éloignera le bâton, qu'il ne l'était au commencement de l'expérience.)

319. L'électroscope étant chargé positivement, approchez-en un corps électrisé positivement, et observez la divergence des pendules.

La divergence augmente à l'approche du corps électrisé. La charge positive de l'électroscope était d'abord répartie uniformément sur les pendules. A l'approche d'un corps positif, du bâton de verre par exemple, l'électricité positive de l'électroscope est repoussée; elle passe dans les boules, qui divergent davantage, si le bâton de verre est présenté par

en haut. De plus, le corps électrisé agit par influence sur les pendules; il attire de son côté l'électricité négative et repousse l'électricité positive dans les boules, ce qui augmente leur divergence. L'électroscope tend aussi à agir par influence sur le corps qu'on en approche, mais celui-ci étant mauvais conducteur (verre), cette influence est presque nulle.

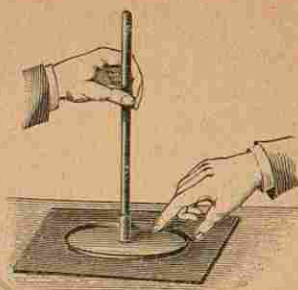
Naturellement, l'expérience donne exactement les mêmes résultats quand l'électroscope et le corps qu'on en approche sont électrisés négativement tous les deux. — Ceci nous fournit un excellent moyen de déterminer le signe de la charge électrique d'un corps. Si, par exemple, nous savons que l'électroscope est chargé positivement et que nous voyons la divergence des boules augmenter à l'approche d'un corps, nous pouvons en conclure avec certitude que ce corps est électrisé positivement. Si les boules se rapprochent, le corps peut être ou bien électrisé négativement (Exercice 318), ou aussi un conducteur à l'état neutre (Exercice 316). C'est donc la divergence plus grande des boules qui seule peut donner sur ce point une indication certaine. — Dans ce qui va suivre, on supposera toujours que l'état électrique d'un corps a été examiné d'après l'Exercice 319.

L'électrophore.

320. Fouettez la plaque d'ébonite avec la pièce de flanelle, et placez dessus le plateau à manche d'ébonite, touchez alors ce plateau avec l'excitateur, et examinez si celui-ci s'est chargé d'électricité et quel est le signe de cette charge.

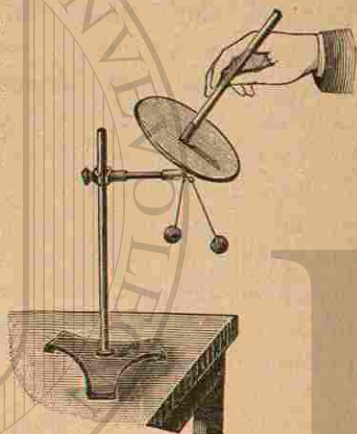
L'excitateur se trouve chargé de l'électricité de l'ébonite ou négative. — Si l'on prend le plateau par le manche d'ébonite, qu'on le place sur la plaque d'ébonite après l'avoir frottée, qu'on le soulève ensuite et qu'on le présente à l'électroscope, on n'y constatera aucune charge électrique. — La plaque d'ébonite a agi ici par influence. Il s'est ainsi développé sur le plateau métallique de l'électricité positive qui est dissimulée et de l'électricité négative qui est restée libre. C'est celle-ci qui se communique à l'excitateur lorsqu'on touche le plateau avec cet instrument. Si, au contraire, on enlève le plateau isolé, l'électricité négative libre se réunit avec l'électricité positive mise en liberté.

321. Fouettez la plaque d'ébonite, placez dessus le plateau métallique, faites-le communiquer avec le sol en le touchant du doigt, soulevez-le, et mettez-le en contact avec l'électroscope. (V. les fig.)



321a.

L'électroscope montre que le plateau est fortement chargé. — Les figures indiquent le maniement de l'appareil. Par le contact du doigt, l'électricité négative libre du plateau se décharge; quand on soulève le plateau (de 10 à 20^{cm} de hauteur), l'électricité positive qui s'y trouvait dissimulée redevient libre. — En répétant l'expérience, on peut charger fortement l'électroscope. — L'appareil composé de la plaque d'ébonite avec son plateau métallique isolé a reçu le nom d'*électrophore* ou porteur d'électricité, parce qu'il garde assez longtemps sa charge. Il faut un certain exercice pour le manier bien et rapidement. On évitera surtout de toucher du doigt le plateau une fois séparé de la plaque d'ébonite.



321b.

322. Examinez le signe de la charge communiquée à l'électroscope dans l'Exercice précédent.

L'électroscope est chargé positivement; le plateau écarté de l'ébonite était donc positif. Cela s'explique par les considérations développées dans les solutions des Exercices précédents. — Pour déterminer le signe de la charge de l'électroscope, le moyen le plus simple est d'approcher le bâton d'ébonite électrisé négativement (Exercices 317 et 318).

323. Approchez d'une boule isolée du pendule le plateau de l'électrophore chargé comme dans l'Exercice 321.

La boule est attirée, puis vivement repoussée après qu'elle a touché le plateau. L'attraction de la boule résulte, nous le

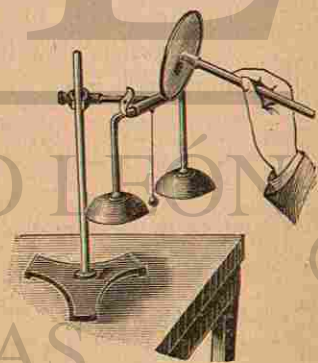
savons, d'un phénomène d'influence. Quand la boule touche le plateau, l'électricité négative de la boule se réunit à une égale quantité de l'électricité positive du plateau. Dès lors, la boule et le plateau sont tous deux positifs et se repoussent (Exercice 295).

Lorsqu'on approche de la boule isolée du pendule le bâton d'ébonite électrisé, on devrait régulièrement s'attendre à voir la boule repoussée après le contact. C'est pourtant ce qui n'arrive ordinairement pas. Cela provient de la mauvaise conductibilité de l'ébonite (Exercice 287). Au contact, il ne se produit qu'une réunion partielle des deux électricités qui s'attirent (c'est l'ébonite qui en cède le moins); par suite, la boule devient moins chargée négativement que l'ébonite, et celle-ci peut encore agir par influence sur la boule, d'où une attraction.

Le phénomène de l'attraction électrique et de la répulsion qui lui succède a quelques applications amusantes. Les plus connues sont la danse des pantins et le carillon électrique.

324. Faites marcher le carillon au moyen de l'électrophore. (V. la fig.)

La figure montre la manière de disposer l'expérience. Le timbre de gauche est en communication avec le support par le tourniquet; il peut ainsi se décharger dans le sol. On charge le plateau de l'électrophore, et on l'applique contre le timbre de droite qui est isolé. Quand l'air est sec et que le carillon est bien réglé, notamment la boule attachée au fil de soie, l'appareil marche pendant une minute entière pour une seule charge du plateau. — La boule est attirée par le timbre de droite, prend, en le touchant, le même signe que lui et en est repoussée. Elle va alors frapper le timbre de gauche qui communique avec le sol, lui cède sa charge, retombe et est de nouveau attirée par le timbre de droite.



324.

325. Faites marcher au moyen de l'électrophore le carillon sans le relier avec le sol.

L'appareil ne marche qu'un temps très court. Par suite des transports partiels faits successivement par la boule, les deux timbres prennent des charges de même signe, et tous deux repoussent la boule. — Pour que les deux timbres soient isolés, on enlèvera le tourniquet, placé sur le timbre de gauche dans l'Exercice précédent.

326. Chargez le plateau de l'électrophore, approchez-le de l'électroscope non chargé, touchez du doigt la suspension des pendules pour la faire communiquer avec le sol, éloignez le doigt, puis le plateau, et observez les pendules.

A l'approche du plateau, les boules divergent. Elles retombent au contact du doigt qui les décharge, mais divergent de nouveau quand on éloigne le plateau (Exercices 311 et 312).

327. Déterminez le signe de la charge reçue par l'électroscope dans l'Exercice précédent.

L'électroscope est électrisé négativement, le plateau l'était donc positivement. (On approchera de l'électroscope chargé le bâton d'ébonite électrisé).

328. Déposez de petits corps légers sur le plateau de l'électrophore, placez-le sur la plaque d'ébonite que vous aurez fouettée avec la flanelle, faites-le communiquer avec le sol en le touchant du doigt, puis enlevez-le en observant les corps placés dessus.

On peut prendre comme corps légers des fragments de liège, de la limaille de fer, des morceaux de feuille d'étain, etc. Ils sont projetés quand on soulève le plateau parce qu'ils sont positifs comme lui.

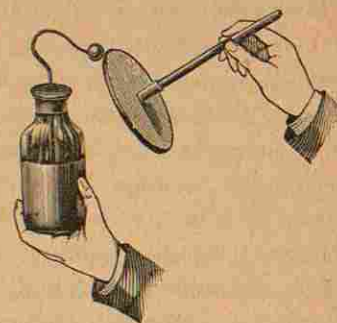
DIRECCIÓN GENERAL DE La bouteille de Leyde.

329. Chargez avec l'électrophore la bouteille de Leyde, et déchargez-la avec le doigt. (V. la fig.)

Il faut chauffer légèrement la bouteille avant l'expérience, et en tout cas essayer soigneusement la partie du verre non

couverte d'étain. — Le dehors et le dedans de la bouteille sont en contact avec des parties métalliques, qu'on appelle les *armatures* extérieure et intérieure.

Dans notre bouteille, l'armature intérieure se compose de feuilles d'or battu. La bouteille de Leyde a pour but d'accumuler dans un petit espace de grandes quantités d'électricité. Pour expliquer son mode d'action, rappelons-nous ce qui a été développé aux nos 310, 315 et 316. Tout corps électrisé exerce une influence sur les corps



329.

qui l'entourent, c'est-à-dire qu'il tend à attirer vers lui, dans ces corps, l'électricité de nom contraire à la sienne pour la réunir à celle-ci. Il y réussit d'autant mieux que son entourage est meilleur conducteur, comme lorsque les corps voisins sont de bons conducteurs en communication avec le sol. Mais si, entre le corps électrisé et le corps voisin conducteur, il se trouve une couche de séparation non conductrice, elle empêchera la réunion des électricités de noms contraires et les laissera seulement s'accumuler sur ses deux faces. La quantité d'électricité ainsi accumulée dépend de la grandeur de la charge électrique du corps inducteur. L'énergie électrique des deux électricités de noms contraires accumulées se dépense presque tout entière dans leur attraction réciproque, de sorte que le corps inducteur semble presque à l'état neutre aussi bien que le conducteur voisin, séparé de lui par la couche isolante. Les deux électricités, comme nous l'avons dit, se dissimulent l'une l'autre. Par suite, si nous communiquons au corps inducteur une nouvelle charge, celle-ci agira de nouveau par influence sur le conducteur voisin et produira ainsi une nouvelle accumulation d'électricité sur les deux faces de la couche isolante. Cette accumulation prend le nom de *condensation*, et l'appareil celui de *condensateur*. Or, nous le savons aussi (Exercice 315), c'est quand on permet à l'électricité libre de se dégager que l'influence s'exerce le plus énergiquement; il faudra donc relier avec le sol le conducteur influencé.

La construction de la bouteille de Leyde répond à toutes ces données. La couche isolante, c'est le verre de la bouteille.

Le corps électrisé et le conducteur voisin, ce sont les deux armatures. Si nous électrisons l'armature intérieure, il faut relier l'extérieure avec le sol et réciproquement.

Du mode d'action de la bouteille de Leyde se déduit la manière de s'en servir. On applique le plateau de l'électrophore, chargé positivement, sur le bouton communiquant avec l'armature intérieure en ne tenant la bouteille que par l'armature extérieure, comme le montre la figure. En chargeant de nouveau le plateau, on peut donner à la bouteille une nouvelle charge et ainsi de suite. — Pour décharger la bouteille, il faut donc déterminer la réunion des deux électricités qui s'attirent à travers la paroi de verre et, pour cela, faire communiquer les deux armatures. D'après l'énoncé, c'est avec le doigt qu'il faut établir cette communication. Tenant donc d'une main la bouteille par l'armature extérieure, nous toucherons le bouton avec un doigt de l'autre main. Les électricités de noms contraires se réunissent à travers le corps. Si la bouteille a été fortement chargée, la décharge nous fait éprouver une secousse violente. C'est pourquoi il est prudent de ne toucher d'abord que trois fois le bouton avec le plateau chargé.

Pour communiquer la secousse électrique à plusieurs personnes à la fois, il faut leur faire faire la chaîne en se donnant la main; la première entoure alors de sa main libre l'armature extérieure de la bouteille, et la dernière, de sa main libre, touche le bouton. Toutes ne ressentent pas également la secousse, c'est celle du milieu qui la reçoit le moins fort. Cela vient de la manière dont se produit la décharge, par laquelle les électricités des armatures s'écoulent dans le sol sans se réunir dans le circuit. (La bouteille se déchargerait quand même la personne du milieu sortirait de la chaîne.)

330. Placez d'abord sur la table, puis sur la plaque d'ébonite, la bouteille faiblement chargée, et touchez du doigt le bouton dans les deux positions.

Quand la bouteille repose sur la table, on éprouve une secousse en touchant le bouton: l'électricité de l'armature extérieure peut se décharger dans le sol par le bois de la table qui est conducteur, et celle de l'armature intérieure peut se décharger de même par le corps humain. — Mais si la bouteille repose sur la plaque d'ébonite, on n'éprouve pas de

secousse en touchant le bouton, car l'électricité de l'armature extérieure est isolée par l'ébonite.

Le premier de ces deux essais montre comment on peut recevoir de la bouteille une secousse sans toucher les deux armatures. Il faut donc toujours de la prudence quand on opère avec une bouteille fortement chargée. Un commençant fera donc bien de ne s'exercer qu'avec une bouteille faiblement chargée.

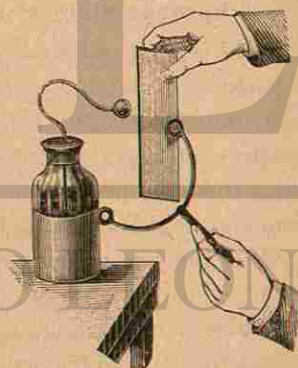
331. Déchargez la bouteille de Leyde avec l'excitateur.

On chargera la bouteille avec l'électrophore, en portant 30 à 50 fois le plateau contre le bouton. Pour décharger la bouteille, on tiendra d'abord contre l'armature extérieure l'un des bouts de l'excitateur, et l'on approchera du bouton l'autre bout. On observe une forte étincelle électrique. Il faut toujours toucher d'abord avec l'excitateur l'armature extérieure, surtout si l'on tient la bouteille en main par cette armature, sans quoi cette main reçoit facilement la décharge.

332*. Faites éclater à travers du papier la décharge de la bouteille de Leyde. (V. la fig.)

On prendra du papier noir, et l'on disposera les choses comme l'indique suffisamment la figure. On tiendra prudemment la feuille à un bout, pour que l'étincelle n'atteigne pas la main. Après l'expérience, on voit dans le papier un petit trou. — La bouteille doit être chargée aussi fortement que possible.

Pour charger fortement la bouteille, il faut une cinquantaine de fois placer le plateau de l'électrophore sur la plaque d'ébonite, le toucher, le soulever et le porter contre le bouton de la bouteille. On simplifie l'opération en reliant, par une mince bande d'étain en feuille, la face supérieure de la plaque d'ébonite avec la face inférieure. Cette disposition dispense de toucher le plateau, car au moment où on l'applique sur l'ébonite, il touche la bande d'étain par laquelle il peut faire écouler son électricité libre dans la table et de là dans le sol. La bande d'étain ne doit s'avancer que très peu sur la face supérieure de la plaque. —



332.

Toutefois, en employant cette bande d'étain, on ne peut plus charger le plateau aussi fortement, car, au moment où on le soulève, une partie de son électricité positive, devenue libre, jaillit sur la bande métallique.

333. Après avoir déchargé la bouteille de Leyde, entourez d'une main l'armature extérieure, et approchez du bouton l'autre main.

On reçoit une deuxième secousse. En voici la raison. Les électricités des deux armatures s'attirent à travers le verre et passent peu à peu sur celui-ci. En effet, le verre conduit mal, il est vrai, mais il conduit pourtant un peu. (Il n'existe aucun corps absolument mauvais conducteur). A la première décharge, les électricités qui adhèrent au verre, mauvais conducteur, ne peuvent pas s'écouler complètement. Il y a dans la bouteille un *résidu*, ou ce qu'on pourrait appeler, s'il s'agissait d'un liquide, un fond de bouteille.

334*. Chargez la bouteille, et placez-la sur la plaque d'ébonite, touchez d'abord l'armature extérieure, puis l'armature intérieure, puis de nouveau l'extérieure, et ainsi de suite. Essayez alors si la bouteille est encore chargée.

Si l'on a suffisamment répété ces contacts alternatifs, on trouve la bouteille déchargée. C'est une conséquence de ce fait que l'électricité d'une armature ne peut pas dissimuler sur l'autre une égale quantité d'électricité. Ceci n'arriverait que si les armatures étaient parfaitement conductrices et si la couche isolante était infiniment mince.

1. Supposons une sphère métallique isolée dans l'espace et chargée d'électricité positive. Si l'on approche de cette sphère un bâton métallique communiquant avec le sol, ce bâton s'électrise par influence et cela d'autant plus énergiquement qu'il est plus voisin de la sphère. Supposons-le finalement à 10^{mm} de la sphère. Si l'on approche alors de celle-ci, mais par le côté opposé, un second bâton métallique de même grandeur et communiquant avec le sol, l'électricité positive de la boule tendra à agir aussi par influence sur ce second bâton: elle doit donc partager entre les deux son action inductrice. La manière dont se fait ce partage dépend du pouvoir conducteur

des deux bâtons et de leur distance à la sphère. Supposons, pour plus de simplicité, la même conductibilité pour les deux bâtons. Alors l'action de la sphère sur les deux bâtons sera la même quand le second sera à 10^{mm} comme le premier. Alors donc, l'action sur le premier ne pourra plus être aussi forte qu'au commencement: une partie de l'électricité négative qui était dissimulée sur ce bâton deviendra donc libre et s'écoulera dans le sol, puisque le bâton y est relié.

2. Supposons une sphère métallique isolée dans l'espace et chargée d'électricité positive. Si l'on en approche jusqu'à 10^{mm} de distance une seconde sphère métallique isolée et qu'on fasse communiquer celle-ci avec le sol en la touchant un instant, elle restera chargée négativement, mais son électricité négative et l'électricité positive de la première se dissimuleront réciproquement. Si alors on approche de la première sphère un bâton métallique relié au sol, l'électricité positive de cette sphère tend à agir par influence sur ce bâton: elle doit donc partager entre la deuxième sphère et le bâton son action inductrice. Par suite, sur la deuxième sphère, l'électricité négative ne sera plus dissimulée tout entière; une partie redeviendra libre et restera comme telle sur la boule, puisque celle-ci est isolée. (Nous négligeons, pour un instant, l'influence de la seconde boule sur la première et sur le bâton métallique.) Supposons enfin que le bâton métallique vienne à toucher la première boule positive. A l'instant, tout se modifie. Quoique le bâton soit relié au sol, l'électricité positive de la boule pourra-t-elle entièrement se décharger? Non. Il faut en effet considérer maintenant l'action inductrice de l'électricité négative de la seconde boule. Elle maintiendra ou dissimulera, sur la première, une partie de l'électricité positive. — Maintenant, à la place de la première sphère chargée positivement, mettons l'armature intérieure de la bouteille, et à la place du bâton métallique relié au sol, le doigt qui touche le bouton de la bouteille; nous aurons l'explication du résultat de notre expérience.

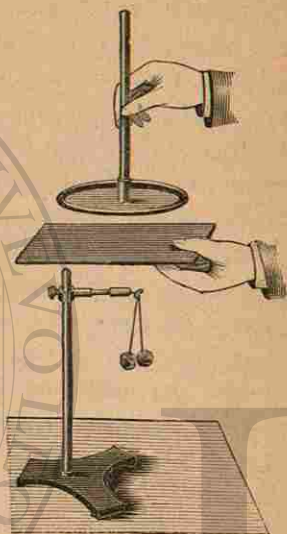
L'exécution attentive de l'Exercice 334 provoquera d'utiles réflexions sur la nature des électricités libre et dissimulée. L'électricité dissimulée devient toujours libre en partie quand on approche du corps inducteur un bon conducteur. L'électricité dissimulée peut donc parfois agir comme de l'électricité libre. C'est une sorte de contradiction, mais elle n'est qu'apparente.

C'est ainsi que nous avons vu parfois des corps s'attirer quoique chargés de la même électricité (Exercices 318 et 323).

D'après les explications précédentes, il est clair qu'on déchargera aussi la bouteille en touchant alternativement les deux armatures, non plus avec le doigt, mais avec l'excitateur.

335*. Chargez le plateau de l'électrophore, approchez-le de l'électroscope non chargé, et observez la divergence des pendules lorsqu'on interpose, entre le plateau et l'électroscope, un conducteur relié avec le sol. (V. la fig.)

On interposera, comme conducteur, une feuille d'étain, étendue sur une planchette pour plus de facilité. — Les pendules retombent aussitôt. — L'électricité du plateau est presque totalement dissipée par l'influence qu'elle exerce sur le conducteur interposé (Exercice 334).



335.

336*. Chargez le plateau de l'électrophore, approchez-le de l'électroscope non chargé, et observez la divergence des pendules quand on interpose, entre le plateau et l'électroscope, la plaque d'ébonite non électrisée.

La divergence des pendules reste sans changement. En effet, l'électricité du plateau ne peut électriser par influence la plaque d'ébonite, ce corps étant mauvais conducteur. — D'après les résultats des Exercices 335 et 336, on pourrait comparer les bons conducteurs de l'électricité aux corps opaques pour la lumière ou adithermanes pour la chaleur et les corps mauvais conducteurs avec les corps transparents ou diathermanes.

337. Suspendez la bouteille de Leyde à un fil de soie, touchez à plusieurs reprises le bouton avec le plateau de l'électrophore chargé, mais sans faire communiquer

avec le sol l'armature extérieure, et observez avec quelle force la bouteille est chargée.

La bouteille ne se charge que faiblement, pour les raisons indiquées ci-dessus.

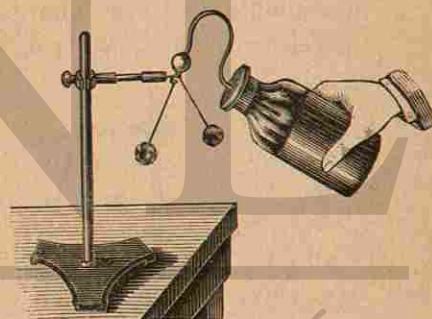
338*. Isolez la bouteille de Leyde, reliez son bouton à l'électroscope par un fil métallique, et chargez la bouteille en observant la divergence des pendules.

La divergence augmente graduellement jusqu'à une certaine limite. Cette limite dépend surtout du pouvoir isolant de la bouteille.

On suspendra la bouteille par le bouton à un fil de soie, on touchera le bouton avec le plateau de l'électrophore chargé, et l'on observera comment la divergence des pendules augmente constamment lorsqu'on fait communiquer l'armature extérieure avec le sol.

339. Touchez l'électroscope avec le bouton de la bouteille de Leyde chargée. (V. la fig.)

On tiendra la bouteille par son armature extérieure, comme le montre la figure. Les pendules de l'électroscope divergent; en effet, l'armature extérieure communiquant avec le sol, une partie de l'électricité de l'armature intérieure peut se répandre sur l'électroscope.



339.

La bouteille de Leyde est un appareil commode pour conserver ou condenser l'électricité. On s'en servira avantageusement lorsqu'on voudra avoir une quantité un peu grande d'électricité rapidement disponible.

340*. Isolez la bouteille de Leyde, chargez avec l'électrophore l'armature intérieure en déchargeant chaque fois l'armature extérieure; puis chargez l'électroscope avec cette dernière armature.

On suspendra la bouteille par le bouton à un fil de soie. On approchera alors du bouton à plusieurs reprises le plateau

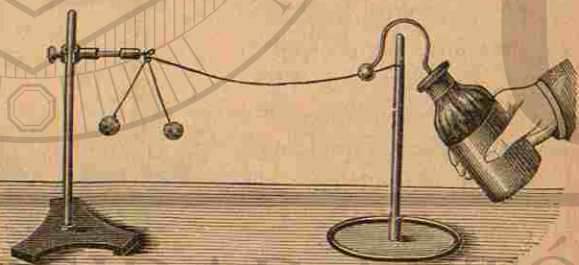
chargé de l'électrophore en touchant chaque fois en même temps l'armature extérieure avec le doigt. Si l'on approche celui-ci juste au moment où le plateau touche le bouton, on observe une étincelle. Quand la bouteille est suffisamment chargée, on la prend en ne la tenant que par le bouton, et l'on présente à l'électroscope l'armature extérieure. En enlevant la bouteille, on prendra quelque précaution pour que la décharge entière ne se fasse pas à travers le corps.

341*. Examinez de quelle espèce d'électricité l'électroscope s'est chargé dans l'Exercice précédent.

L'électroscope se montre chargé négativement. Cela s'explique par ce fait que le plateau a communiqué à l'armature intérieure une charge positive.

342. Tendez une longue ficelle bien sèche entre l'électroscope et le manche d'ébonite du plateau de l'électrophore, appliquez sur la ficelle près de l'ébonite le bouton de la bouteille de Leyde chargée, et observez les pendules de l'électroscope. (V. la fig.)

On prendra une ficelle d'un mètre environ. On verra les boules diverger de plus en plus, mais très lentement, car la ficelle conduit assez mal l'élec-



tricité. Cette expérience montre très bien comment l'électricité se propage.

343. Exécutez l'expérience précédente avec une ficelle mouillée.

Les boules divergent rapidement, car l'eau est un bon conducteur de l'électricité.

344. Faites marcher le carillon au moyen de la bouteille de Leyde.

On reliera au sol l'un des timbres comme le montre la figure 324; il n'y a qu'à remplacer, dans cette figure, le plateau par la bouteille. Dans des circonstances favorables, le carillon peut marcher cinq minutes avec une seule charge de la bouteille. Il faut laisser le bouton en contact avec le timbre qui est isolé. — Pour varier l'expérience, on peut relier ce timbre au bouton par un fil métallique et charger alors seulement la bouteille.

Pouvoir des pointes.

345. Chargez le plateau de l'électrophore, et essayez d'en tirer des étincelles avec la pointe d'une aiguille.

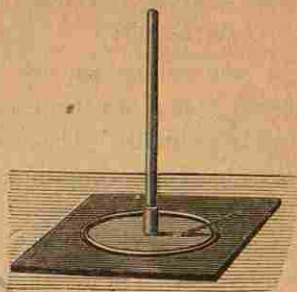
En approchant du plateau l'articulation d'un doigt replié, on voit et l'on entend la production de l'étincelle; on n'observe rien de semblable en approchant la pointe de l'aiguille. Cela tient à la manière dont les pointes agissent dans les phénomènes électriques.

On sait que les électricités de même nom se repoussent. Par suite, quand une sphère métallique est chargée d'électricité, celle-ci doit s'accumuler à la surface. Si cette surface porte une pointe conductrice, c'est sur cette pointe que l'électricité sera surtout repoussée. De plus, nous le savons aussi, tout corps électrisé tend à attirer à lui l'électricité de nom contraire des corps environnants: or, la pointe est environnée d'air, mauvais conducteur, il est vrai, mais contenant de la vapeur d'eau qui en augmente la conductibilité. Les molécules d'air environnant la pointe s'électrisent donc par influence et sont attirées; elles cèdent à la pointe leur électricité de nom contraire, deviennent de même signe que la pointe et sont, dès lors, vivement repoussées (Exercice 323). C'est ce mouvement de l'air qu'on nomme le *vent électrique*. C'est à cause de ce mouvement qu'un corps muni de pointes perd rapidement l'électricité qu'on lui communique. — Ainsi, dans notre expérience, l'électricité négative passe de la pointe sur le plateau.

Un corps destiné à porter ou à garder de l'électricité, comme le plateau de l'électrophore, ne peut donc avoir ni pointes ni angles vifs.

346. Déposez une aiguille sur le bord du plateau de l'électrophore, placez-le sur la plaque d'ébonite électrisée, touchez-le du doigt, soulevez-le, et essayez d'en tirer une étincelle en lui présentant l'articulation du doigt. (V. la fig.)

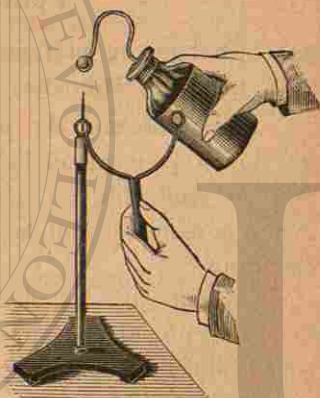
On n'obtient pas d'étincelle. En effet, l'électricité positive du plateau s'est déjà échappée par la pointe avant qu'on n'approche le doigt.



346.

347. Déchargez la bouteille de Leyde au moyen de l'excitateur, mais en terminant par une pointe l'extrémité opposée à celle qui touche l'armature extérieure. (V. la fig.)

La figure montre suffisamment la disposition de l'expérience. — La décharge s'opère peu à peu; il est impossible d'obtenir une étincelle vive et bruyante.



347.

348. Reliez l'électroscope à une pointe par un fil métallique, tenez sur la pointe le bouton de la bouteille de Leyde chargée, et observez les pendules.

Les boules divergent; l'électroscope reçoit donc une charge électrique. — On adaptera la pointe isolée sur la tige du support auquel pend l'électroscope, en ayant soin que le fil de communication ne touche pas le support: l'électroscope avec sa pointe doit rester isolé. On tiendra la bouteille à la main par l'armature extérieure qui sera ainsi reliée au sol.

349. Examinez de quelle espèce d'électricité l'électroscope s'est chargé dans l'expérience précédente.

L'armature intérieure de la bouteille étant positive, on trouve l'électroscope chargé de même positivement. — La pointe

agit donc comme un conducteur, établissant une communication entre l'électroscope et le bouton de la bouteille. L'électricité négative développée par influence sur l'électroscope passe sur le bouton; il reste donc de l'électricité positive sur l'électroscope quand on a éloigné la bouteille.

350. Observez pendant quelque temps l'électroscope, chargé comme au n° 348.

L'électroscope ne reste pas longtemps chargé, son électricité s'échappe par la pointe.

351. Chargez l'électroscope, et tenez à proximité une allumette enflammée.

L'électroscope se décharge aussitôt. — La flamme agit comme un grand nombre de pointes très fines. Le courant d'air produit par la chaleur contribue aussi beaucoup à la déperdition de l'électricité.

352. Tenez près d'une bougie allumée le bouton de la bouteille de Leyde chargée.

La bouteille est bientôt déchargée, par la raison donnée dans l'Exercice précédent. — On tiendra la bouteille à la main par l'armature extérieure seulement.

353. Passez rapidement à travers la flamme d'une bougie le bâton d'ébonite ou celui de verre électrisés.

Le bâton ne donne plus de signe d'électricité. — Nous venons de trouver un excellent moyen pour ramener à l'état neutre des corps mauvais conducteurs électrisés. Il n'y en a aucun autre qui soit aussi sûr. L'ébonite se déformant par la chaleur, il faut opérer rapidement.

354. Placez le tourniquet sur sa pointe isolée, reliez cette pointe par un fil métallique avec le bouton de la bouteille de Leyde, chargez alors la bouteille, et observez le tourniquet. (V. la fig.)



354.

Le vent électrique met le tourniquet en rotation (Exercice 345).

— On portera à plusieurs reprises le plateau chargé de l'électrophore contre le bouton de la bouteille; l'armature extérieure communique avec le sol par la table.

Electricité dynamique.

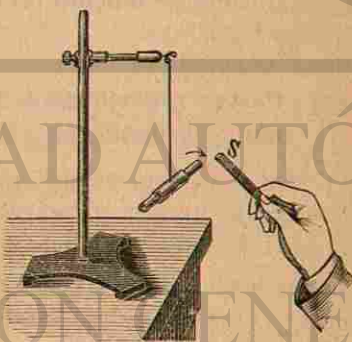
Magnétisme.

355. Suspendez par un fil le barreau de fer doux, et approchez-en le barreau aimanté. (V. la fig.)

L'aimant attire le barreau de fer. Il est indifférent d'approcher l'un ou l'autre bout de l'aimant.

Les anciens connaissaient déjà une pierre, de couleur gris-noir, jouissant de la propriété d'attirer le fer. Cette pierre se trouvant principalement aux environs de Magnésie, ville de l'Asie mineure, les phénomènes qu'elle produit ont reçu le nom de *phénomènes magnétiques* ou de *magnétisme*.

Ce dernier nom désigne encore la cause à laquelle on attribue ces phénomènes. Les aimants attirent non seulement le fer et l'acier, mais encore deux autres métaux, le nickel et le cobalt.



355.

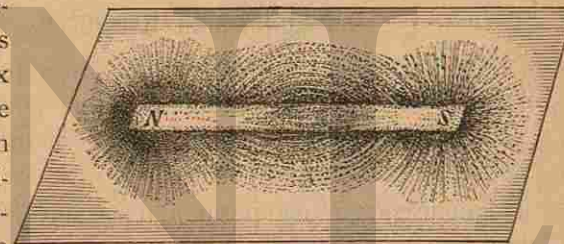
On appelle *aimants artificiels* des barreaux d'acier auxquels on a communiqué les propriétés des aimants naturels. L'aimant de cette Collection est un aimant artificiel.

356. Suspendez l'aimant à un fil, et approchez-en le barreau de fer doux.

Par suite de l'attraction magnétique, le barreau est attiré par le fer. Il est indifférent d'approcher le fer de l'un ou de l'autre bout de l'aimant.

357. Placez au-dessus du barreau aimanté une feuille de papier, semez sur le papier de la limaille de fer, et observez la disposition que prennent les grains de limaille sur le papier. (V. la fig.)

Les grains de limaille se groupent suivant des lignes courbes de forme régulière, qu'on nomme courbes magnétiques ou *lignes de force* magnétiques. Ces lignes relient entre eux les deux points de l'aimant où l'action de celui-ci se manifeste le plus énergiquement: ces points portent le nom de *pôles*.



357.

— On se procurera de la limaille de fer chez un serrurier, mais, avant de s'en servir, on la purifiera au moyen de l'aimant lui-même. Pour cela, on l'approchera de la limaille juste assez pour qu'il puisse en attirer à lui les parcelles, on en détachera ensuite celles-ci en passant le doigt sur le barreau au-dessus d'une feuille de papier. Les lignes de force sont très belles lorsqu'on laisse tomber d'assez haut et peu à peu les grains de limaille sur le papier.

358. Présentez à l'aimant un fil de fer mince et léger, et observez à quel endroit de l'aimant il est le moins attiré.

Le fil de fer ne subit aucune attraction au milieu du barreau; on appelle cette place la *ligne neutre*. On peut faire la même observation en plongeant le barreau aimanté dans la limaille. L'explication en sera donnée plus loin (Exercice 371).

354. Placez le tourniquet sur sa pointe isolée, reliez cette pointe par un fil métallique avec le bouton de la bouteille de Leyde, chargez alors la bouteille, et observez le tourniquet. (V. la fig.)



354.

Le vent électrique met le tourniquet en rotation (Exercice 345).

— On portera à plusieurs reprises le plateau chargé de l'électrophore contre le bouton de la bouteille; l'armature extérieure communique avec le sol par la table.

Electricité dynamique.

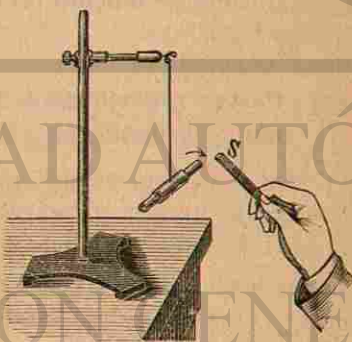
Magnétisme.

355. Suspendez par un fil le barreau de fer doux, et approchez-en le barreau aimanté. (V. la fig.)

L'aimant attire le barreau de fer. Il est indifférent d'approcher l'un ou l'autre bout de l'aimant.

Les anciens connaissaient déjà une pierre, de couleur gris-noir, jouissant de la propriété d'attirer le fer. Cette pierre se trouvant principalement aux environs de Magnésie, ville de l'Asie mineure, les phénomènes qu'elle produit ont reçu le nom de *phénomènes magnétiques* ou de *magnétisme*.

Ce dernier nom désigne encore la cause à laquelle on attribue ces phénomènes. Les aimants attirent non seulement le fer et l'acier, mais encore deux autres métaux, le nickel et le cobalt.



355.

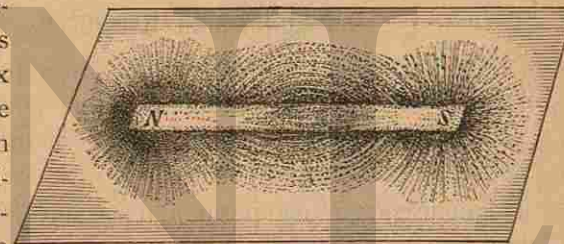
On appelle *aimants artificiels* des barreaux d'acier auxquels on a communiqué les propriétés des aimants naturels. L'aimant de cette Collection est un aimant artificiel.

356. Suspendez l'aimant à un fil, et approchez-en le barreau de fer doux.

Par suite de l'attraction magnétique, le barreau est attiré par le fer. Il est indifférent d'approcher le fer de l'un ou de l'autre bout de l'aimant.

357. Placez au-dessus du barreau aimanté une feuille de papier, semez sur le papier de la limaille de fer, et observez la disposition que prennent les grains de limaille sur le papier. (V. la fig.)

Les grains de limaille se groupent suivant des lignes courbes de forme régulière, qu'on nomme courbes magnétiques ou *lignes de force* magnétiques. Ces lignes relient entre eux les deux points de l'aimant où l'action de celui-ci se manifeste le plus énergiquement: ces points portent le nom de *pôles*.



357.

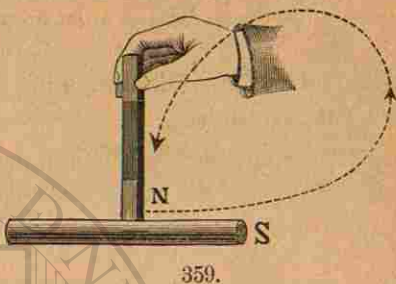
— On se procurera de la limaille de fer chez un serrurier, mais, avant de s'en servir, on la purifiera au moyen de l'aimant lui-même. Pour cela, on l'approchera de la limaille juste assez pour qu'il puisse en attirer à lui les parcelles, on en détachera ensuite celles-ci en passant le doigt sur le barreau au-dessus d'une feuille de papier. Les lignes de force sont très belles lorsqu'on laisse tomber d'assez haut et peu à peu les grains de limaille sur le papier.

358. Présentez à l'aimant un fil de fer mince et léger, et observez à quel endroit de l'aimant il est le moins attiré.

Le fil de fer ne subit aucune attraction au milieu du barreau; on appelle cette place la *ligne neutre*. On peut faire la même observation en plongeant le barreau aimanté dans la limaille. L'explication en sera donnée plus loin (Exercice 371).

359. Aimantez un morceau de fil d'acier par frictions faites avec l'aimant. (V. la fig.)

On peut prendre une aiguille à coudre ou la moitié d'une aiguille à tricoter. On placera l'un des bouts de l'aimant au milieu de l'aiguille, puis, en exerçant une pression uniforme, on frottera l'aimant sur l'aiguille en allant jusqu'à l'extrémité S, on la dépassera, et, décrivant un arc dans l'air, on reviendra au milieu pour recommencer. On fera ce mouvement une vingtaine de fois. On placera alors l'autre bout de l'aimant au milieu de l'aiguille, et l'on répétera les mêmes opérations sur l'autre moitié.



359.

Magnétisme terrestre.

360. Placez l'aiguille aimantée sur la pointe du support, et observez comment elle prend une position déterminée à laquelle elle revient toujours quand elle en a été écartée. (V. la fig.)

L'aiguille prend une position déterminée, dans la direction du nord au sud. Par suite, on nomme *pôle nord* d'un aimant celui qui se tourne vers le nord, et *pôle sud* l'autre pôle de l'aimant.

361. Placez l'aiguille aimantée sur la pointe du support, approchez de l'un de ses pôles le barreau aimanté, et observez quand il se produit une attraction ou une répulsion. (V. la fig.)

Il se produit une attraction quand il y a en présence des pôles de noms contraires, et répulsion quand il y a en présence des pôles de même nom. Ainsi un pôle nord et un pôle sud s'attirent; deux pôles nord ou deux pôles sud se repoussent. — Nous reviendrons là-dessus.



361.

362. Placez l'aiguille aimantée sur la pointe du support; au-dessus et près de l'aiguille, suspendez à un fil le barreau aimanté, et observez la position que prend l'aiguille.

Conformément aux observations faites dans l'Exercice précédent, l'aiguille se place de telle sorte que son pôle nord soit au-dessous du pôle sud de l'aimant.

363. Placez l'aiguille aimantée sur la pointe du support; au-dessus d'elle, suspendez à un fil le barreau aimanté, et placez-le à une distance telle que l'aiguille, écartée de sa direction nord-sud, n'y revienne plus.

D'après cette expérience, la tendance d'un aimant à se placer dans la direction nord-sud peut être contrebalancée par un second aimant. Il s'ensuit que cette tendance doit elle-même être l'effet d'une autre action magnétique. Des recherches ultérieures ont montré que cette action magnétique réside dans la terre.

Cependant un champ de terre, quelque grand qu'il soit, ne manifeste aucune propriété magnétique. Mais, autour de la terre, de l'ouest à l'est, circulent des courants électriques produits par les radiations du soleil et la rotation du globe terrestre. Or, comme nous le verrons plus loin, ces courants produisent le même effet que si la terre était un grand aimant, ayant ses pôles tellement placés que celui qui est dans l'hémisphère nord attire le pôle nord de l'aiguille. C'est ce qu'on nomme *l'aimant terrestre*.

364. Faites flotter sur l'eau une aiguille à coudre aimantée, et observez son mouvement.

L'aiguille se place dans la direction nord-sud, mais sans se mouvoir vers le nord. — On fera flotter l'aiguille de la manière indiquée à l'Exercice 71.

Le pôle nord de l'aiguille est à la fois attiré et poussé vers le nord, attiré par le pôle de l'aimant terrestre de nom contraire au sien, qui se trouve près du pôle nord de la terre, et poussé par le pôle de même nom, qui se trouve près du pôle sud de la terre. De même, le pôle sud de l'aiguille est à la fois attiré et poussé vers le sud. Mais les pôles de la terre sont si éloignés de l'aiguille que les attractions et les répulsions émanées d'un même pôle terrestre sont égales entre elles. Par suite, l'aiguille

ne se meut ni dans un sens ni dans l'autre, seulement elle se place dans une direction déterminée. C'est ce qu'on exprime en disant que l'action de l'aimant terrestre ou de la terre se réduit à une action purement *directrice*.

365*. Reliez ensemble et suspendez à un fil deux barreaux aimantés de même force, de telle sorte que le magnétisme terrestre n'exerce plus sur eux aucune action.

On peut fixer les deux barreaux l'un au-dessus de l'autre ou l'un derrière l'autre. Dans le premier cas, le pôle sud de l'un se trouve au-dessus du pôle nord de l'autre (v. la fig. 400); dans le second cas, les barreaux se touchent par les pôles de même nom, de manière à former en quelque sorte un seul barreau, ayant, par exemple, à ses deux extrémités un pôle nord et au milieu le pôle sud. Un système de deux barreaux ou aiguilles ainsi disposés se nomme *astatique*, c'est-à-dire sans position déterminée.

366. Suspendez à un fil une aiguille à tricoter non aimantée de telle sorte qu'elle soit parfaitement horizontale; aimantez-la alors sans déplacer le fil, et observez si l'aiguille ainsi aimantée est encore horizontale.

L'aiguille s'incline, et son pôle nord s'abaisse vers la terre. Le pôle de l'aimant terrestre situé dans l'hémisphère nord attire plus fortement le pôle nord de l'aiguille que le pôle situé dans l'hémisphère sud n'attire le pôle sud de l'aiguille. En nous transportant avec l'aiguille aimantée dans le voisinage du pôle nord de la terre, nous trouverions un point où l'aiguille se tiendrait parfaitement verticale: c'est le pôle nord magnétique de la terre. Dans le voisinage de l'équateur terrestre se trouve de même une ligne en tous les points de laquelle l'aiguille se tient horizontale: c'est l'équateur magnétique.

On nomme *déclinaison* l'angle que fait avec la direction nord-sud, ou avec le méridien géographique, une aiguille aimantée mobile autour de son centre de gravité ou autour d'un axe vertical. Le plan vertical passant par l'aiguille s'appelle *méridien magnétique*.

On nomme *inclinaison* l'angle que fait avec l'horizon la moitié nord d'une aiguille aimantée mobile autour de son centre

de gravité ou autour d'un axe horizontal perpendiculaire au méridien magnétique.

Ces deux déviations dépendent du lieu de la terre où se trouve l'aiguille et du temps auquel on les observe. Dans un même lieu, elles subissent des variations journalières et d'autres que l'on nomme *séculaires* parce qu'elles se répartissent sur une longue suite d'années.

Influence magnétique.

367. Tenez le barreau de fer doux au-dessus de la limaille de fer, et approchez de son extrémité supérieure l'un des pôles de l'aimant.

L'extrémité inférieure du fer doux attire aussitôt la limaille. — A l'approche de l'aimant, le fer doux s'est aimanté par influence: l'extrémité voisine du pôle de l'aimant est devenue un pôle de nom contraire, l'extrémité opposée, un pôle de même nom.

Voici les deux lois principales de l'aimantation par influence:

1. A l'approche d'un aimant, il ne se produit jamais dans un corps une seule espèce de magnétisme, mais toujours et simultanément deux pôles de noms contraires aux deux extrémités.
2. Les pôles de même nom se repoussent, ceux de noms contraires s'attirent.

Un aimant n'attire un corps que lorsqu'il peut l'aimanter par influence. C'est ce que les aimants ordinaires ne peuvent faire que dans le fer, l'acier, le nickel et le cobalt. Avec des aimants d'une puissance exceptionnelle, on peut constater que tous les corps sont susceptibles de subir leur influence: les uns sont attirés, d'autres sont repoussés.

L'acier seul conserve l'aimantation développée en lui par influence. Dans le fer doux celle-ci se manifeste également, mais elle cesse dès que l'on écarte l'aimant qui la produit. Dans l'acier, les effets de l'influence se produisent plus difficilement, mais ils persistent même lorsqu'on a écarté l'aimant inducteur. Cette propriété de l'acier se nomme *force coercitive*. Cette expression se rapporte à une théorie dans laquelle les phénomènes magnétiques étaient attribués à deux fluides distincts, analogues

aux fluides électriques. Dans cette hypothèse, les deux fluides magnétiques, fluide nord ou boréal et fluide sud ou austral, sont séparés et accumulés vers les pôles dans les aimants, réunis et neutralisés l'un par l'autre dans les autres corps. Dans les phénomènes d'influence, un pôle d'un aimant décompose le fluide neutre du corps influencé, attire de son côté le fluide de nom contraire et repousse au bout opposé le fluide de même nom. Cette séparation se fait aisément dans le fer doux, mais elle cesse dès que la présence de l'aimant ne la maintient plus, les deux fluides séparés s'attirant, et pouvant aisément se réunir. Dans l'acier, la séparation est plus difficile, mais, pour la même raison, la recomposition ou réunion l'est également: l'aimantation persiste. On pourrait dire que l'acier est, pour le fluide magnétique, moins bon conducteur que le fer doux.

368. Tenez verticalement le barreau de fer doux au-dessus de la limaille de fer, et touchez-en l'extrémité supérieure avec un pôle de l'aimant.

L'extrémité inférieure du fer doux attire la limaille encore plus énergiquement que dans l'Exercice 367. — C'est donc maintenant que l'influence produit son plus grand effet. Si c'est un pôle sud qui touche le fer doux, c'est également un pôle sud qui se forme à l'autre bout et attire la limaille.

369. Suspendez à l'un des pôles de l'aimant deux légers fils de fer un peu pointus, et observez leur position respective. (V. la fig.)

Les extrémités inférieures se repoussent, parce qu'elles sont de noms contraires. — On se servira de deux petites pointes de Paris ou de morceaux d'une aiguille à cheveux.

370. Suspendez à l'un des pôles de l'aimant un petit morceau de fil de fer, puis à celui-ci un second, au second un troisième, etc.

Le premier morceau que l'on suspend s'aimante par influence, attire le second en l'aimantant de même, et ainsi de suite.



369.

371. Fabriquez un aimant artificiel, cassez-le par le milieu, et examinez les deux moitiés.

On peut, par exemple, aimanter une aiguille à coudre. Après l'avoir brisée, on trouvera que les deux moitiés sont deux aimants complets ayant chacun ses deux pôles. Il s'est produit deux pôles nouveaux à la place où s'est faite la rupture. On peut casser de nouveau les deux moitiés, autant de fois que l'on voudra, tous les morceaux ainsi obtenus seront toujours des aimants complets avec leurs deux pôles. — D'après cette expérience, un aimant peut être considéré comme une série d'une infinité de très petits aimants orientés tous de la même manière. Deux aimants voisins quelconques s'attirent mutuellement par leurs pôles de noms contraires et ne peuvent, par suite, faire sentir leur action au dehors. Seuls, ceux qui sont voisins des extrémités ont du magnétisme libre qui peut exercer ses effets au dehors. V. l'Exercice 358.

372. Réunissez les deux morceaux de l'aiguille, brisée dans l'expérience précédente, et examinez si le fer est encore attiré à la place où s'est faite la rupture.

Si les deux morceaux sont égaux, il n'y a plus d'attraction. Cela résulte des explications données dans l'Exercice précédent.

373. Suspendez à l'aimant une aiguille à coudre, enlevez-la, et examinez si elle s'est aimantée.

L'aiguille s'est aimantée par influence. Pour s'en assurer, le moyen le plus simple, c'est de la présenter à l'aiguille aimantée placée sur la pointe du support (fig. 361). — Ici, comme pour l'électroscope, une attraction ne prouve rien; une répulsion seule permet de distinguer un aimant d'un corps non aimanté.

374. Vérifiez au moyen de l'aiguille aimantée, placée sur son pivot, si les pôles de l'aiguille à coudre, aimantée dans l'Exercice précédent, se sont formés suivant la loi de l'aimantation par influence.

Il en est ainsi. Si le chas de l'aiguille était suspendu au pôle sud de l'aimant, la pointe est aussi un pôle sud. — Le fer doux lui-même conserve aussi des traces de magnétisme après

l'aimantation par influence. C'est ce qu'on nomme *magnétisme rémanent*.

375. Désaimantez un fil d'acier aimanté.

Le plus sûr moyen pour cela, c'est de chauffer le fil d'acier au rouge. On peut aussi désaimanter l'acier en renversant rapidement les deux pôles.

376. Répétez l'expérience du n° 355 en interposant une feuille de papier entre l'aimant et le fer.

On ne remarque aucun changement dans la force d'attraction. Il était à prévoir que l'aimant agirait à travers certains corps, car, dans l'Exercice 355, il y avait aussi un corps, à savoir l'air, entre l'aimant et le fer. — On placera de même entre l'aimant et le fer une plaque de verre, une planchette mince, etc.

377. Répétez l'expérience du n° 355 en interposant entre l'aimant et le fer une feuille de fer-blanc ou de tôle.

On remarque une notable diminution dans la force d'attraction. — L'aimant agit par influence sur la tôle, l'influence qu'il exerçait auparavant sur le fer diminue donc en proportion. — La tôle est *magnétiquement opaque*. Au lieu de la feuille de tôle, on peut interposer une lame de couteau un peu large.

378. Placez l'aiguille aimantée sur son pivot, imprimez-lui des oscillations horizontales, et observez comment elles se ralentissent quand on approche de l'aiguille le barreau aimanté en mettant en regard des pôles de même nom.

Les oscillations de l'aiguille aimantée se font d'après les mêmes lois que celles du pendule. Celles du pendule sont produites par l'attraction de la terre, celles de l'aiguille par le magnétisme terrestre. Le barreau aimanté, qu'on approche de l'aiguille, contrebalance plus ou moins l'action du magnétisme terrestre; par suite, les oscillations de l'aiguille doivent se ralentir. Si l'action du barreau aimanté fait exactement équilibre à celle du magnétisme terrestre, l'aiguille reste indifféremment dans toute position: sa durée d'oscillation devient infinie.

Une aiguille aimantée oscillant librement dans un plan horizontal oscille d'autant plus vite que son aimantation est plus forte. Cette propriété fournit un moyen facile de comparer le degré d'aimantation de deux aimants. Deux aimants de même poids et de même forme n'ont évidemment la même force que s'ils font, dans un même temps, le même nombre d'oscillations.

379. Placez l'aiguille aimantée sur son pivot, imprimez-lui des oscillations horizontales, et observez comment elles s'accélèrent quand on approche de l'aiguille le barreau aimanté en mettant en regard des pôles de noms contraires.

L'action du barreau renforce l'action du magnétisme terrestre; par suite, l'aiguille oscille plus rapidement.

**Electricité dynamique ou voltaïque.
Sa production. Bons et mauvais conducteurs. Electrolyse.**

La combustion du charbon dans un poêle produit de la chaleur; la combustion du zinc dans une pile produit de l'électricité dynamique. Dans le poêle, l'oxygène nécessaire à la combustion du charbon est emprunté à l'air atmosphérique; dans la pile, l'oxygène nécessaire à la combustion du zinc est emprunté au liquide dont on remplit l'élément.

Si l'électricité voltaïque, une fois produite, ne peut pas se propager, elle se transforme aussitôt en chaleur: le liquide où plonge le zinc s'échauffe. Si nous relions à la terre par un fil métallique le zinc et le liquide, l'électricité produite dans la pile peut suffisamment se propager. (De simples fils ne suffisent pas pour cela, ils doivent être terminés par de larges plaques métalliques enfoncées dans le sol.) Il s'écoule alors dans le sol, d'une manière continue, de l'électricité négative venant du zinc et de l'électricité positive venant du liquide.

Au lieu de relier avec le sol les deux fils métalliques, on peut aussi les relier entre eux de manière que le zinc communique immédiatement avec le liquide par un conducteur métallique. De l'endroit où le zinc est chimiquement attaqué par le liquide

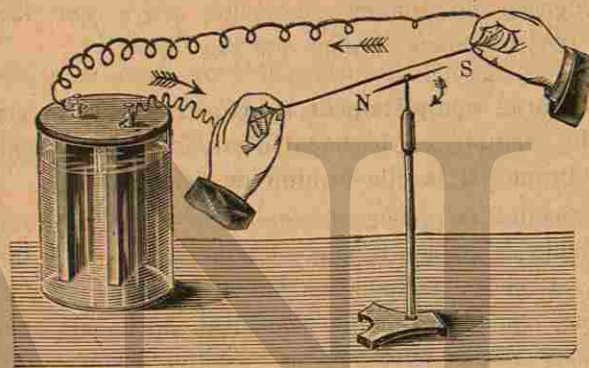
il s'établit dans le fil un double courant, l'un d'électricité positive vers le zinc à travers le liquide et l'autre d'électricité négative vers le liquide à travers le zinc. Les deux électricités opposées se réunissent dans le conducteur; par suite, au milieu de ce dernier, on ne trouve pas de trace d'électricité libre soit négative soit positive.

Pour faciliter le passage de l'électricité positive du liquide sur le fil de communication, on ne plonge pas simplement ce fil dans le liquide, mais bien une plaque à laquelle on relie le bout du fil. Cette plaque doit conduire l'électricité sans cependant être elle-même attaquée par le liquide. Elle ne peut donc pas, comme le zinc, décomposer le liquide pour s'unir à d'autres éléments et former ainsi un corps nouveau, car cette action donnerait lieu à une nouvelle production d'électricité qui travaillerait en sens contraire de la première. Le platine et le charbon remplissent cette condition. Dans notre élément de pile, nous avons employé le charbon de cornue, sorte de charbon très dur et très compacte qui s'attache aux parois des cornues employées à la fabrication du gaz d'éclairage. Le zinc se ronge et disparaît peu à peu comme s'il se dissolvait dans le liquide; c'est pourquoi on l'appelle la plaque *soluble*; le charbon, qui n'est pas attaqué, est appelé la plaque *conductrice*. La plaque soluble est toujours négative, l'autre est positive. On nomme *pôles*, positif ou négatif, les extrémités libres des deux plaques. Les fils qu'on y attache prennent le nom de *rhéophores* (porte-courant). Le fil métallique qui réunit les deux pôles se nomme le *circuit* ou le conducteur intermédiaire; les bouts de ce fil doivent être proprement décapés avant qu'on les visse dans les bornes placées sur le couvercle. Le *circuit* est *ouvert* quand les deux pôles ne sont pas reliés entre eux, il est *fermé* dans le cas contraire. Pour déterminer la direction que suit le courant dans le circuit, on est universellement convenu de ne considérer que le mouvement de l'électricité positive. Ainsi l'on dit: dans le circuit, le courant va du pôle positif au pôle négatif, quoique, dans l'hypothèse des deux fluides cela ne soit rigoureusement vrai que pour l'électricité positive, l'électricité négative cheminant en même temps en sens inverse. La même remarque s'applique à cet autre énoncé: Dans la pile, le courant va de la plaque soluble à la plaque conductrice.

L'électricité dynamique est invisible comme la chaleur ou comme les vibrations lumineuses et sonores. Nous ne pouvons observer que ses effets. Celui qui s'y prête le mieux, c'est l'action du courant voltaïque sur l'aiguille aimantée.

380. Observez l'action du courant de la pile sur l'aiguille aimantée. (V. la fig.)

La figure montre suffisamment la disposition de l'expérience. On remplira le bocal avec de l'eau additionnée d'acide sulfurique, environ un quinzième en volume. On achètera un demi kilogramme d'acide anglais pour quinze centimes environ; cela suffit pour toutes nos expériences. Il faut toujours verser *d'abord* l'eau dans le bocal, puis y ajouter peu à peu l'acide en mêlant avec



380.

la baguette de verre. Le liquide s'échauffe; il est bon de le laisser bien refroidir avant d'y plonger le zinc. Il faut manier avec précaution l'acide et même l'eau acidulée, car ces liquides brûlent et tachent le bois et les habits. (Les taches faites sur les habits disparaissent pourtant facilement si on les humecte à temps avec un peu d'ammoniaque liquide du commerce.)

Dans la figure, les flèches droites indiquent la direction du courant, définie comme il a été dit plus haut. On tiendra le fil formant le circuit aussi près que possible de l'aiguille et dans sa direction, c'est-à-dire du nord au sud. L'aiguille prendra un mouvement de rotation et tendra à se mettre en croix avec le courant. Elle s'approchera d'autant plus de cette position à angle droit que le courant sera plus intense. Nous pouvons donc apprécier l'intensité d'un courant en mesurant la grandeur de la déviation

qu'il imprime à l'aiguille aimantée. Plus l'aiguille sera écartée de sa direction nord-sud, plus le courant sera énergique.

381. Examinez l'intensité du courant de la pile remplie d'eau pure.

On remplira le bocal d'eau pure au lieu de l'eau acidulée employée dans l'Exercice précédent. L'intensité du courant est beaucoup moindre, car l'aiguille n'éprouve qu'une très faible déviation. — (L'eau ordinaire n'est jamais absolument pure.)

382. Observez comment varie l'intensité du courant lorsqu'on jette une cuillerée de sel de cuisine dans l'eau qui remplit le bocal dans l'Exercice précédent.

L'intensité du courant augmente, parce que l'eau salée attaque plus fortement le zinc que l'eau pure.

383. Entourez complètement de papier d'étain le zinc de la pile, remplissez le bocal d'eau faiblement acidulée, et examinez si la pile produit de l'électricité.

On tiendra la plaque de zinc bien sèche droite au milieu d'une feuille de papier d'étain, on redressera cette feuille autour du zinc, et on la liera avec un fil. Il faut en tout cas faire en sorte que, en plongeant le zinc dans le liquide, celui-ci ne touche que l'étain sans pouvoir pénétrer jusqu'au zinc. On remplira le bocal d'eau additionnée de quelques gouttes d'acide sulfurique. — Il se produit un courant qui dévie l'aiguille aimantée. Dans cet élément, la plaque soluble est l'étain. L'électricité positive sort de la pile par le charbon, l'électricité négative se porte de l'étain sur le zinc et de là dans le circuit.

384. Entourez complètement de papier d'étain la plaque de charbon, remplissez le bocal d'eau faiblement acidulée, et examinez si la pile produit un courant.

Quand le charbon enveloppé d'étain plonge dans le liquide, celui-ci ne doit toucher que l'étain sans pouvoir pénétrer jusqu'au charbon. — Dans cet élément sont en présence le zinc et l'étain. S'il y avait une plaque de charbon à la place du zinc, l'étain serait la plaque soluble, comme nous le savons par l'Exercice précédent. Mais le zinc et l'étain étant employés ensemble, on n'observera un courant que si l'un des deux métaux est plus

fortement attaqué par le liquide que l'autre: le métal le plus fortement attaqué jouera alors le rôle de plaque soluble. C'est de fait ce qui a lieu pour le zinc. — L'expérience montre qu'il se produit un courant.

Quand deux plaques de mêmes dimensions sont également attaquées par le liquide, les deux courants se neutralisent mutuellement. Tel serait le cas où les deux plaques, zinc et charbon, seraient enveloppées d'étain. Alors on n'observera aucun courant dans le circuit, seulement le liquide s'échauffera.

Si les deux plaques sont du même métal, le zinc par exemple, il ne peut se produire de courant que si les surfaces des plaques sont différentes. C'est alors la plaque dont la surface est la plus grande qui joue le rôle de plaque soluble ou négative.

385. Reliez les pôles de la pile par une ficelle, et examinez si celle-ci est traversée par un courant.

On ne trouve pas de trace de courant. Nous devons donc admettre que l'électricité voltaïque ne peut pas se propager dans la ficelle. Celle-ci est donc un mauvais conducteur pour l'électricité dynamique. Même en mouillant la ficelle, nous ne réussirons pas à dévier l'aiguille aimantée.

Pour examiner si le bois conduit bien ou mal l'électricité dynamique, il faut attacher à chaque pôle un fil de cuivre assez long dont le bout libre soit bien relié à l'un des bouts d'une baguette. Le bois est ainsi intercalé dans le circuit. Nous trouverons qu'il conduit mal l'électricité dynamique.

Nous savons, par l'expérience 380, que le cuivre est bon conducteur. Des essais très simples nous apprendront qu'il en est de même du fer et en général de tous les métaux. Tous sont bons conducteurs, quoique à des degrés différents.

386. Examinez si l'eau conduit bien l'électricité dynamique. (V. la fig.)

D'après une des expériences de l'Exercice précédent, l'eau semble être un mauvais conducteur. Si nous plongeons dans de l'eau les bouts libres des rhéophores, l'aiguille aimantée n'accusera dans le circuit le passage d'aucun courant. — Il n'en sera plus de même si nous relions bien intimement les bouts des fils avec deux feuilles de papier d'étain et que nous plongeons celles-ci

dans l'eau. On prendra par exemple des feuilles de 8^{cm} de long sur 5^{cm} de large. Alors nous constaterons dans le circuit le passage d'un courant. Celui-ci sera d'autant plus fort que les feuilles d'étain seront plus rapprochées l'une de l'autre.

On prendra d'abord de l'eau pure, puis on y mettra un peu de sel. On versera de même dans de l'eau pure quelques gouttes d'acide sulfurique.

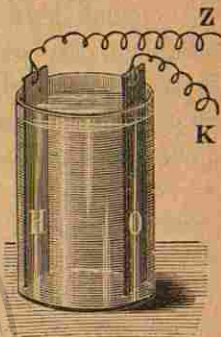
La conductibilité d'un corps dépend 1^o de sa composition chimique, 2^o de sa surface, 3^o de sa longueur. Un corps conduit d'autant mieux que sa section est plus grande et sa longueur moindre.

En comparant la conductibilité de l'eau pour les deux genres d'électricité, statique et dynamique, nous trouvons que l'eau est un bon conducteur pour la première et un conducteur à moitié bon pour la seconde. Tous les autres conducteurs donnent lieu à la même remarque. C'est pour cela qu'on se représente l'électricité statique comme ayant une grande *tension*, l'électricité dynamique comme ayant une faible tension. Grâce à sa forte tension, la première peut se propager dans des corps qui opposent à la seconde une résistance infranchissable.

387. Conservez la disposition de l'expérience précédente, laissez le circuit fermé quelque temps, et observez la surface des feuilles d'étain.

Il s'attache peu à peu aux feuilles d'étain des bulles de gaz. En examinant chimiquement ces gaz, on reconnaît qu'il se porte de l'hydrogène sur la feuille reliée au pôle négatif et de l'oxygène sur la feuille reliée au pôle positif. Le courant électrique a décomposé l'eau en ses éléments.

Des recherches chimiques plus approfondies montrent que la décomposition de l'eau n'est qu'une suite de la décomposition de l'acide sulfurique. Cet acide peut être considéré comme un composé de soufre et d'oxygène, uni à une certaine quantité d'eau. C'est cette eau que décompose le courant. Mais, à mesure qu'elle est décomposée, elle est remplacée par une égale quantité empruntée au liquide environnant; celui-ci finit ainsi par être entièrement décomposé. L'eau ordinaire contient toujours



386.

des traces d'acide sulfurique. La décomposition se fait plus facilement si l'on ajoute une certaine quantité de cet acide.

Au point de vue de la conductibilité pour l'électricité dynamique, il y a une différence essentielle entre les liquides et les solides. Tout liquide composé et pouvant conduire le courant subit, pendant le passage de ce dernier, une décomposition en deux parties dont chacune se porte vers l'un des pôles de la pile. Une semblable décomposition se nomme *électrolyse*.

Le mercure, étant un métal, conduit bien l'électricité, mais, étant un corps simple, il ne peut subir de décomposition. — Si au contraire le courant traverse une solution de sulfate de cuivre, il le décompose en cuivre chimiquement pur, oxygène libre et acide sulfurique. — D'après les expériences faites sur l'eau parfaitement pure, sur l'alcool et sur le pétrole, ces corps ne conduisent généralement pas l'électricité dynamique.

388. Laissez fermé pendant une heure le circuit de l'élément zinc — eau acidulée — charbon, et observez comment varie l'intensité du courant.

On remplira le bocal d'eau et d'acide sulfurique, comme au n^o 380; on réunira les deux pôles par un fil de cuivre. Au commencement, l'aiguille aimantée éprouve une forte déviation; au bout d'une heure, la déviation est presque nulle. — Pourquoi la production d'électricité s'est-elle ainsi affaiblie?

Nous savons, par les explications précédentes, que de l'endroit où le liquide attaque le zinc il s'écoule de l'électricité positive vers le charbon; il s'écoule inversement de l'électricité négative du charbon vers le zinc. Le liquide est donc traversé par un courant, et, par suite, il doit être décomposé (Exercice 387): l'hydrogène se dégage, à la surface du charbon, sous forme de petites bulles de gaz. — Or, cet hydrogène et le liquide forment un nouvel élément dans lequel l'hydrogène joue le rôle de corps soluble ou négatif. Il se produit ainsi dans notre pile principale un second courant de direction contraire à celle du premier et agissant en sens opposé: ces deux courants finissent par se neutraliser mutuellement.

Nous pouvons continuer l'Exercice 387 en détachant des pôles de la pile les fils reliés aux feuilles d'étain et en les réunissant l'un à l'autre. Nous obtenons ainsi une nouvelle pile dans laquelle le pôle positif est la feuille recouverte d'hydrogène.

Le courant ainsi produit est donc de direction contraire à celle du courant primitif. Une pile de ce genre s'appelle *pile secondaire* ou *accumulateur*.

On dit que le charbon recouvert d'hydrogène est *polarisé* ou que la pile elle-même est polarisée; le courant qui prend alors naissance est un *courant de polarisation*. Pour empêcher ce courant de se produire, il faut entourer le charbon d'un corps riche en oxygène, pour que ce gaz puisse se combiner, en formant de l'eau, avec l'hydrogène qui afflue vers le charbon. C'est ce qu'on peut réaliser assez simplement en plaçant le charbon dans un vase poreux rempli d'acide nitrique (eau-forte) et plongeant ce vase poreux dans l'eau acidulée de la pile. L'hydrogène que dégage l'acide sulfurique traverse le vase poreux et emprunte à l'acide nitrique l'oxygène nécessaire pour s'y combiner et former de l'eau. Ainsi la surface du charbon reste libre, la pile ne s'affaiblit pas. — La pile qui vient d'être décrite est la pile de Bunsen. On appelle en général *pile constante* une pile disposée de manière à prévenir la polarisation.

Cet Exercice 388 nous mène à une remarque importante. On ne doit fermer le circuit qu'aussi longtemps que l'exige l'expérience; en dehors de cela, il doit rester ouvert, et il faut, autant que possible, retirer alors le zinc hors du liquide acidulé.

389. Fixez aux deux pôles de la pile deux fils de laiton bien proprement décapés, plongez les bouts libres de ces deux fils dans une solution de sulfate de cuivre, et observez leur surface.

Pour bien assurer le contact, on tournera plusieurs fois les rhéophores autour des fils de laiton, en ayant soin qu'ils se touchent par des surfaces métalliques bien nettes. On peut aussi fixer directement aux bornes les deux fils de laiton. Pour préparer la solution de sulfate de cuivre, on achètera chez un droguiste pour 15 à 20 centimes de ce sel (vitriol bleu), on en mettra quelques cristaux dans un verre, et l'on versera de l'eau dessus. On mêlera de temps en temps jusqu'à ce que le liquide ait pris une belle teinte bleu-foncé: la solution est alors propre à l'usage que nous voulons en faire. — On observe que le fil relié au zinc se trouve, au bout de quelques minutes, recouvert de cuivre rouge: il est *cuivré* par le courant.

En effet, le courant, traversant la solution de sulfate, la décompose. Le sulfate de cuivre est un corps composé de la même manière que l'acide sulfurique, avec cette différence qu'il contient du cuivre à la place de l'hydrogène de l'acide. Or, quand l'acide est décomposé, l'hydrogène se rend au pôle négatif, c'est-à-dire sur le zinc; de même, quand le sulfate est décomposé, le cuivre, qui a remplacé l'hydrogène, se porte, comme lui, au pôle négatif.

Cette expérience nous représente le procédé connu sous le nom de *galvanoplastie*. Grâce à ce procédé, des objets d'une matière peu coûteuse peuvent être aisément recouverts d'une couche d'un métal plus précieux ou plus durable, tel que l'or, l'argent ou le nickel.

390. Montez une pile au bichromate de potasse, reliez le bout de l'un des rhéophores à une lime, en une place où le métal soit bien propre et bien net, promenez sur les dents de la lime le bout de l'autre rhéophore, et observez les étincelles qui se produisent.

On remplit la pile d'une solution de bichromate de potasse dans l'acide sulfurique. Cette solution attaque très vivement le zinc et détermine ainsi une abondante production d'électricité. Pour préparer cette solution on achètera chez un droguiste un peu de ce sel, on le fera dissoudre dans dix fois son poids d'eau en mêlant pour faciliter la dissolution, et l'on y ajoutera peu à peu l'acide sulfurique, environ $\frac{1}{8}$ en volume de l'eau employée.

L'opération doit se faire avec précaution, dans un vase de grès ou de verre; l'émail de la faïence serait rongé par le liquide. Pour remplir une fois la pile, il suffit de 30 à 40 grammes de bichromate, mais il vaut mieux préparer d'avance une certaine quantité du liquide. On peut prendre, par exemple:

bichromate de potasse 140 grammes,
eau un litre,
acide sulfurique . . . 190 grammes ou 110 centimètres cubes.

On versera l'acide sulfurique très lentement en mince filet, en mêlant constamment avec la baguette de verre. Le liquide s'échauffe considérablement, on le laissera bien refroidir avant d'y plonger le zinc, et, surtout ici, on n'y laissera le zinc que le temps strictement nécessaire. On évitera encore plus

soigneusement les taches que peut faire ce liquide, car on ne peut les faire disparaître.

Les étincelles qui se produisent lorsqu'on frotte le fil contre la lime sont des parcelles de fer devenues incandescentes. Elles ne se produisent qu'au moment où le courant est interrompu, c'est-à-dire où le fil se sépare d'une dent de la lime. C'est pourquoi on les appelle *étincelles d'ouverture* ou *de rupture*.

L'arc électrique, qui sert à éclairer les places publiques ou d'autres vastes locaux, est une étincelle du même genre mais prolongée. Lorsqu'on réunit à deux morceaux de charbon de cornue les rhéophores venant d'une puissante source d'électricité et qu'on approche ces charbons jusqu'au contact, les pointes qui se touchent deviennent vivement incandescentes. Si alors on éloigne un peu les charbons l'un de l'autre, il se produit des étincelles de rupture: des parcelles de charbon incandescent se transportent du charbon relié au pôle positif sur l'autre charbon relié au pôle négatif. Ces parcelles se succèdent si rapidement qu'elles peuvent encore conduire le courant. Le passage de celui-ci est d'ailleurs facilité par la chaleur même qui se produit entre les charbons et qui est énorme. Le courant électrique continu entretient également ce transport de particules incandescentes, ce qui produit un arc lumineux persistant. Pour que l'arc s'allume, il faut toujours que les charbons soient en contact; pour que l'arc persiste, il faut que les charbons soient écartés l'un de l'autre, mais pas au delà d'une certaine distance. Moins cette distance varie, plus l'intensité de l'arc lumineux est constante. Comme les charbons se raccourcissent par la combustion successive des parcelles qui s'en détachent, il faut un mécanisme particulier pour les maintenir à la distance voulue. C'est ce qu'on nomme un *régulateur à arc voltaïque*.

391. Étendez sur une plaque de verre une bande aussi étroite que possible de papier d'étain; sur chacun des bouts de cette bande appliquez l'extrémité de l'un des rhéophores de la pile au bichromate, et observez l'effet produit.

La bande d'étain est intercalée dans le circuit et, par suite, traversée par le courant. Mais, étant très mince et très étroite, elle oppose au passage du courant une grande résistance. Il en résulte qu'à cette place, une grande partie de l'électricité se transforme en chaleur: l'étain s'échauffe et fond.

392. Intercalez dans le circuit de la pile au bichromate un fil de fer très fin, et observez l'effet produit.

Le fil de fer rougit. — L'élément doit être fraîchement chargé, car cette expérience demande un courant très intense. On pourrait au besoin ajouter au liquide quelques gouttes d'acide sulfurique. Si l'on ne trouvait pas de fil de fer assez fin, on laisserait quelque temps le fil dans l'acide qui le rongerait et l'amincirait à volonté.

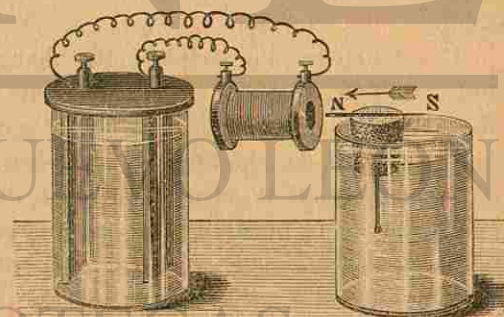
Le phénomène que nous venons d'observer trouve son application dans les *lampes à incandescence*. Dans ces lampes se trouve, au lieu du fil de fer, un mince filament d'un charbon particulier qu'on intercale dans le circuit. A l'air libre, ce charbon serait promptement brûlé ou brisé, car il est très fragile. C'est pourquoi on l'enferme dans une ampoule de verre dans laquelle on fait le vide.

Electro-magnétisme.

393. Reliez la bobine avec la pile, approchez-la de l'aiguille aimantée placée sur son pivot, et observez l'action magnétique de la bobine parcourue par le courant.

La bobine agit comme un aimant. Si l'une de ses extrémités attire le pôle nord de l'aiguille, cette extrémité repoussera le pôle sud lequel sera attiré par l'autre extrémité.

394. Faites passer le courant dans la bobine; approchez celle-ci d'une aiguille aimantée flottant sur l'eau de telle sorte que l'aiguille soit attirée, et observez comment l'aiguille est attirée à l'intérieur de la bobine. (V. la fig.)



394.

L'aiguille ne s'arrêterait que si son milieu parvenait au milieu de la bobine. — Comme aiguille flottante, on prendra

une aiguille à coudre, aimantée de la manière indiquée au n° 359; on la fixera avec un peu de cire molle sur un bouchon de liège qu'on lestera en y enfonçant un clou à la partie inférieure pour l'empêcher de chavirer.

395. Répétez les deux expériences précédentes en remplaçant les aiguilles aimantées par un morceau de fer doux flottant sur un bouchon.

Le fer est attiré également par les deux extrémités de la bobine. Il finit par pénétrer à l'intérieur de la bobine, si cela est possible. Il s'est donc aimanté par influence en présence de la bobine traversée par le courant.

396. Répétez l'expérience précédente en plaçant dans la bobine le noyau de fer doux.

La bobine attirera notablement plus fort le fil de fer. Le noyau s'aimante, comme l'a déjà montré l'Exercice précédent.

397. Examinez si la position des pôles d'un barreau de fer aimanté par le courant dépend de la direction de celui-ci.

On placera le noyau de fer doux dans la bobine, on intercalera celle-ci dans le circuit et l'on approchera de l'aiguille aimantée le barreau qui s'est aimanté. — On verra que les pôles s'invertissent quand on renverse le sens du courant dans la bobine.

Le moyen le plus simple pour changer le sens du courant dans la bobine, c'est d'invertir les bouts des rhéophores. Ainsi, à la borne où était fixé le rhéophore venant du zinc on fixera celui qui vient du charbon et vice-versa. Il existe des dispositions permettant de changer le sens du courant par un seul mouvement de la main. Un tel appareil se nomme *commutateur*. Chacun peut rechercher comment on peut produire cet effet.

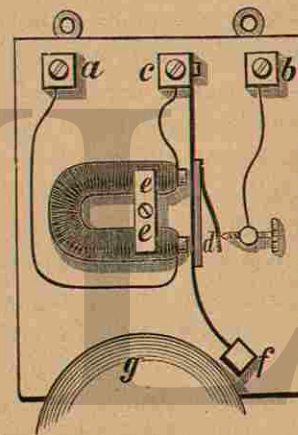
Nous savons que le courant de la pile va du charbon au zinc. En examinant de près comment est enroulé le fil de la bobine, nous trouverons que, lorsque le pôle sud du barreau se trouve du côté de l'observateur, celui-ci voit toujours le courant circuler autour de ce pôle dans le sens des aiguilles d'une montre (V. la fig. 399). L'autre bout du barreau est le pôle nord.

398. Intercalez dans le circuit de la pile au bichromate la bobine avec son noyau de fer doux, faites porter par ce noyau un morceau de fer, et observez comment l'aimantation cesse dès que l'on interrompt le courant.

Le fer doux ne reste aimanté que pendant le temps où le courant circule autour de lui. L'acier resterait aimanté après le passage du courant, comme on peut aisément s'en convaincre en plaçant à l'intérieur de la bobine une aiguille à coudre ou un morceau d'aiguille à tricoter. (V. les Exercices 367 et 374.)

Un barreau de fer aimanté par un courant se nomme *électro-aimant*. L'électro-magnétisme a des applications dans presque tous les appareils électriques. Nous décrirons d'abord la sonnerie électrique dont la figure indique la disposition.

Les points *a* et *b* reçoivent les rhéophores venant d'une pile. Supposons le pôle positif relié au point *a*. Le courant passe de *a* dans l'électro-aimant *ee* et retourne à la pile par *c, d* et *b*. Le noyau de l'électro-aimant s'aimante et attire le morceau de fer doux, nommé *armature*, qui se trouve devant ses pôles. Mais cette attraction de l'armature interrompt le courant, car le ressort *d* porté par l'armature ne presse plus sur la pointe de la vis reliée au point *b*. Le courant étant interrompu, le noyau de fer se désai-



398.

mante et ne peut plus retenir l'armature. Celle-ci fait ressort et revient à sa première position, le ressort *d* appuie alors de nouveau sur la pointe de la vis et ferme le circuit — et ainsi de suite. Chaque fois que l'armature est attirée, le battant *f* frappe sur le timbre *g*. Pour que la sonnerie ne fonctionne pas constamment, le fil qui la relie à l'un des pôles de la pile est interrompu à l'endroit d'où l'on veut pouvoir sonner: on y place un *bouton d'appel* qui permet, par une simple pression, de mettre en contact les deux bouts du fil interrompu.

On remarquera la forme en fer à cheval de l'électro-aimant. Le fil est enroulé autour du noyau de telle manière qu'il se forme un pôle nord au bout de l'une des branches et un pôle

sud au bout de l'autre. Voici l'avantage qu'on y trouve. Le pôle nord aimante l'armature par influence et y forme devant lui un pôle sud; le pôle nord de l'armature se trouvera donc devant l'autre pôle de l'aimant. Celui-ci étant un pôle sud, l'influence est renforcée. Or, nous le savons, un aimant attire d'autant plus fortement le fer qu'il peut y exercer plus énergiquement son influence. Un électro-aimant en fer à cheval attirera donc le fer bien plus fort que ne pourrait le faire un seul pôle.

Si l'enroulement du fil sur l'aimant était tel qu'il se produisît, aux extrémités des deux branches, des pôles de même nom, l'armature ne serait presque pas attirée. En effet, l'influence qu'y exercerait l'un des pôles serait sensiblement neutralisée par celle de l'autre.

Une autre application importante de l'électro-magnétisme, c'est la télégraphie. On lance, à travers un fil de communication, un courant dans un électro-aimant situé à distance et on ferme ou l'on ouvre le circuit de manière que l'aimant attire ou abandonne son armature. Celle-ci porte une pointe qui, à chaque attraction, presse sur une bande de papier se déroulant d'une poulie. Le circuit étant fermé, la pointe imprime sur le papier un trait dont la longueur dépend du temps pendant lequel passe le courant. L'alphabet télégraphique se compose donc de traits et de points (ou traits plus courts) diversement combinés.

On avait primitivement installé deux fils pour chaque appareil, un pour l'aller et un pour le retour. On trouva bientôt que, lorsque la distance est assez grande, ce dernier pouvait être supprimé, à condition de relier intimement avec le sol, d'une part, l'un des pôles de la pile, le pôle négatif par exemple, et, de l'autre, l'extrémité du fil parti du pôle positif, à sa sortie de l'appareil récepteur. On dit qu'alors la terre remplace le fil de retour. Cela ne veut pas dire que le courant parti du pôle positif revient par la terre au pôle négatif, mais la terre, à cause de sa grande conductibilité et de sa masse, ramène à l'état neutre les extrémités des rhéophores en contact avec elle. Outre l'économie de fils réalisée par cette disposition, on épargne encore de l'électricité, car la résistance à vaincre par le courant diminue de moitié. Pour que l'électricité s'écoule aisément dans le sol, il faut que les fils soient terminés par de larges plaques en cuivre, nommées *plaques de terre*, enfoncées dans la terre humide ou, si possible, dans l'eau d'un puits.

399. Répétez l'Exercice 380, en observant le sens de la déviation de l'aiguille aimantée lorsqu'on renverse le sens du courant.

Jusqu'à présent nous n'avons observé que la déviation de l'aiguille, sans faire attention au sens dans lequel se produit cette déviation. Dans l'Exercice 380, le circuit étant tenu au-dessus de l'aiguille dans la direction nord-sud, nous avons observé une déviation de l'aiguille. Nous en avons conclu que le circuit était parcouru par un courant dont l'intensité pouvait être appréciée, dans une certaine mesure, d'après la grandeur de la déviation de l'aiguille. Nous allons voir maintenant que nous pouvons déterminer la direction du courant d'après le sens de la déviation éprouvée par l'aiguille.

Pour cela, maintenons le fil conducteur dans sa première position, mais renversons le sens du courant (Exercice 397). Aussitôt l'aiguille est déviée en sens opposé. Quelle est la loi d'où peut se déduire le sens de cette déviation?

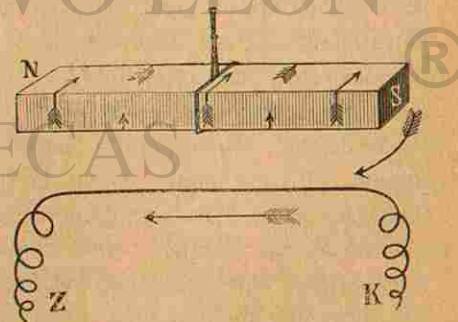
1. Une bobine traversée par un courant agit, nous le savons, comme un aimant. Rien n'empêche donc de considérer un barreau d'acier aimanté quelconque comme un corps entouré à sa surface de courants électriques circulant dans des circuits fermés.

2. Le pôle sud de l'aimant étant tourné de notre côté, nous voyons par la pensée ces courants circuler autour du barreau dans le sens des aiguilles d'une montre — comme l'indiquent les flèches tracées sur le barreau dans la figure.

3. Il résulte de nombreuses expériences que les courants voltaïques tendent à prendre une position telle qu'ils soient parallèles et de même sens, et qu'alors ils s'attirent.

En combinant convenablement ces trois lois, nous réussissons aisément à déterminer dans

quel sens l'aiguille aimantée sera déviée par un courant quelconque. Dans la fig. 399, *NS* est un aimant suspendu à un fil et *K-Z* le circuit d'une pile électrique. Pour vérifier la 3^e loi, il faut évidemment que le pôle sud de l'aimant tourne dans le sens de la flèche courbe, c'est-à-dire



qu'il se meuve en avant du plan de la figure. Alors en effet le courant qui parcourt le circuit aura la même direction que les courants partiels qui entourent le barreau, dans la partie du barreau qui est la plus rapprochée du courant fixe, savoir la partie inférieure. Si le barreau se trouvait orienté de même, mais en dessous du fil, il serait dévié en sens contraire. — Dans la disposition représentée fig. 380, l'aiguille aimantée doit tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, comme l'indique la flèche courbe.

400. Suspendez horizontalement à un fil le barreau aimanté, et tenez en dessous la bobine traversée par le courant. Dans quelle position de la bobine le barreau sera-t-il le plus fortement dévié?

L'aimant subira la plus forte déviation quand la bobine sera aussi près que possible de l'aimant et que l'axe de la bobine sera horizontal et perpendiculaire à la longueur de l'aiguille.

Des courants partiels qui circulent dans la bobine, il n'y a guère que les parties les plus voisines du barreau qui concourent à dévier ce dernier. On trouve aisément, au moyen d'une figure simple à tracer, qu'une bobine déviara le plus fortement possible une aiguille aimantée lorsqu'elle l'entourera de toute part. Alors en effet tous les courants partiels de la bobine agissent sur l'aiguille dans le même sens, et leurs actions s'ajoutent. Donc, lorsqu'il s'agira de constater, par l'action sur l'aiguille aimantée, la présence de faibles courants, il y aura avantage à faire circuler ces courants plusieurs fois autour de l'aiguille. Un appareil ainsi disposé dans ce but s'appelle multiplicateur ou *galvanomètre*.

Dans la fig. 400 se trouve représenté un galvanomètre dont la construction ne peut offrir grande difficulté. Le fil doit être entouré de soie ou de coton pour que le courant soit forcé de parcourir tous les tours du fil. Celui-ci aura une épaisseur d'environ 0,6 de millimètre. On peut l'enrouler sur un cadre de bois ou de carton. On suspendra l'aiguille à un fil de soie fin et sans torsion (fil de cocon). Dans la figure, l'aiguille est astatique (Exercice 365). Une semblable aiguille est déviée plus fortement qu'une aiguille simple. Mais comme elle doit posséder encore une certaine force directrice, il faut que l'une des deux aiguilles soit aimantée un peu plus que l'autre.

Induction.

Pour compléter les notions qui précèdent, nous terminerons par quelques mots sur l'induction.

Le phénomène connu sous le nom d'*induction* consiste en ce que tout changement dans la position ou dans l'intensité d'un courant voltaïque développe, pendant la durée de ce changement, des courants dans un conducteur voisin. Ces courants se nomment *courants induits*. En assimilant, d'après des considérations exposées plus haut, un aimant à une série de courants circulaires, nous devons en conclure que tout changement dans la position ou dans le degré d'aimantation d'un aimant produira aussi des courants induits dans les conducteurs voisins.

Ainsi, il se produit dans un conducteur des courants induits:

1° quand un circuit traversé par un courant s'approche ou s'éloigne du conducteur;

2° quand un aimant s'approche ou s'éloigne du conducteur;

3° quand l'intensité d'un courant varie dans le voisinage du conducteur;

4° quand l'intensité d'un aimant varie dans le voisinage du conducteur.

Dans les deux premiers cas, les courants induits, devant leur origine au mouvement du corps inducteur, dureront seulement aussi longtemps que ce mouvement lui-même; dans les deux derniers cas, les courants induits, devant leur origine aux variations d'intensité de l'inducteur, dureront seulement aussi longtemps que ces mêmes variations.

Evidemment, il peut se produire simultanément plusieurs de ces quatre cas; les courants induits seront alors renforcés ou affaiblis. Si, par exemple, un circuit traversé par un courant s'approche d'un conducteur, mais qu'en même temps l'intensité du courant dans ce circuit diminue, les deux courants induits qui prendront naissance agiront en sens contraire et s'affaibliront l'un l'autre.

Pour obtenir des courants induits aussi intenses que possible, on prend, pour le conducteur dans lequel ils doivent se produire, un fil métallique enroulé sur une bobine. On choisit pour cela du fil de cuivre, parce que les courants induits se développent d'autant plus facilement que le fil est meilleur conducteur.

qu'il se meuve en avant du plan de la figure. Alors en effet le courant qui parcourt le circuit aura la même direction que les courants partiels qui entourent le barreau, dans la partie du barreau qui est la plus rapprochée du courant fixe, savoir la partie inférieure. Si le barreau se trouvait orienté de même, mais en dessous du fil, il serait dévié en sens contraire. — Dans la disposition représentée fig. 380, l'aiguille aimantée doit tourner dans le sens des aiguilles d'une montre, comme l'indique la flèche courbe.

400. Suspendez horizontalement à un fil le barreau aimanté, et tenez en dessous la bobine traversée par le courant. Dans quelle position de la bobine le barreau sera-t-il le plus fortement dévié?

L'aimant subira la plus forte déviation quand la bobine sera aussi près que possible de l'aimant et que l'axe de la bobine sera horizontal et perpendiculaire à la longueur de l'aiguille.

Des courants partiels qui circulent dans la bobine, il n'y a guère que les parties les plus voisines du barreau qui concourent à dévier ce dernier. On trouve aisément, au moyen d'une figure simple à tracer, qu'une bobine déviara le plus fortement possible une aiguille aimantée lorsqu'elle l'entourera de toute part. Alors en effet tous les courants partiels de la bobine agissent sur l'aiguille dans le même sens, et leurs actions s'ajoutent. Donc, lorsqu'il s'agira de constater, par l'action sur l'aiguille aimantée, la présence de faibles courants, il y aura avantage à faire circuler ces courants plusieurs fois autour de l'aiguille. Un appareil ainsi disposé dans ce but s'appelle multiplicateur ou *galvanomètre*.

Dans la fig. 400 se trouve représenté un galvanomètre dont la construction ne peut offrir grande difficulté. Le fil doit être entouré de soie ou de coton pour que le courant soit forcé de parcourir tous les tours du fil. Celui-ci aura une épaisseur d'environ 0,6 de millimètre. On peut l'enrouler sur un cadre de bois ou de carton. On suspendra l'aiguille à un fil de soie fin et sans torsion (fil de cocon). Dans la figure, l'aiguille est astatique (Exercice 365). Une semblable aiguille est déviée plus fortement qu'une aiguille simple. Mais comme elle doit posséder encore une certaine force directrice, il faut que l'une des deux aiguilles soit aimantée un peu plus que l'autre.

Induction.

Pour compléter les notions qui précèdent, nous terminerons par quelques mots sur l'induction.

Le phénomène connu sous le nom d'*induction* consiste en ce que tout changement dans la position ou dans l'intensité d'un courant voltaïque développe, pendant la durée de ce changement, des courants dans un conducteur voisin. Ces courants se nomment *courants induits*. En assimilant, d'après des considérations exposées plus haut, un aimant à une série de courants circulaires, nous devons en conclure que tout changement dans la position ou dans le degré d'aimantation d'un aimant produira aussi des courants induits dans les conducteurs voisins.

Ainsi, il se produit dans un conducteur des courants induits:

1° quand un circuit traversé par un courant s'approche ou s'éloigne du conducteur;

2° quand un aimant s'approche ou s'éloigne du conducteur;

3° quand l'intensité d'un courant varie dans le voisinage du conducteur;

4° quand l'intensité d'un aimant varie dans le voisinage du conducteur.

Dans les deux premiers cas, les courants induits, devant leur origine au mouvement du corps inducteur, dureront seulement aussi longtemps que ce mouvement lui-même; dans les deux derniers cas, les courants induits, devant leur origine aux variations d'intensité de l'inducteur, dureront seulement aussi longtemps que ces mêmes variations.

Evidemment, il peut se produire simultanément plusieurs de ces quatre cas; les courants induits seront alors renforcés ou affaiblis. Si, par exemple, un circuit traversé par un courant s'approche d'un conducteur, mais qu'en même temps l'intensité du courant dans ce circuit diminue, les deux courants induits qui prendront naissance agiront en sens contraire et s'affaibliront l'un l'autre.

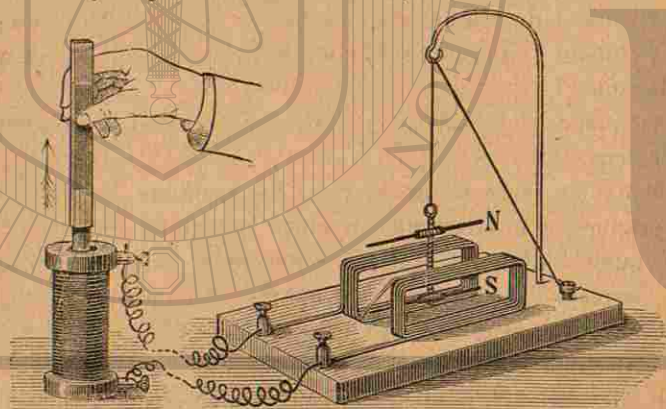
Pour obtenir des courants induits aussi intenses que possible, on prend, pour le conducteur dans lequel ils doivent se produire, un fil métallique enroulé sur une bobine. On choisit pour cela du fil de cuivre, parce que les courants induits se développent d'autant plus facilement que le fil est meilleur conducteur.

1. Dans une bobine, il se produit un courant induit lorsqu'on en approche ou qu'on en éloigne une seconde bobine traversée par un courant.

2. Dans une bobine, il se produit un courant induit lorsqu'on en approche ou qu'on en éloigne un aimant permanent ou un électro-aimant.

3. Si autour d'une bobine traversée par un courant, on enroule une seconde bobine, il se produit dans celle-ci un courant induit lorsque, dans la première, le courant commence, cesse, ou subit dans son intensité une modification quelconque.

4. Si dans la bobine d'induction on place un noyau de fer doux et qu'on aimante ce noyau, soit par un courant soit par l'influence d'un autre aimant, il se produit dans la bobine un courant induit non seulement par le courant d'aimantation ou par le mouvement de l'aimant inducteur, mais encore par l'aimantation du noyau. (Un second courant induit prend naissance quand le noyau perd son aimantation).



La figure 400 représente la disposition à employer pour produire des courants induits d'après les 2^e et 4^e cas spécifiés ci-dessus. Le noyau de fer doux se trouve à l'intérieur de la bobine. Si l'on relie celle-ci avec un galvanomètre, on observe une déviation de l'aiguille chaque fois qu'on approche ou qu'on éloigne de la bobine le barreau aimanté. On peut aussi mouvoir ce dernier non seulement verticalement mais de côté. — En faisant l'expérience, il faut avoir soin d'éloigner le galvanomètre de la bobine, sans quoi l'aiguille oscillerait sous l'action immédiate de l'aimant.

Les premiers appareils d'induction ont été construits d'après la 3^e et la 4^e des lois énoncées plus haut. Autour d'une bobine de fil gros, contenant comme noyau un faisceau de fils de fer doux, on enroule un fil très long et très fin. On peut aussi enrouler le fil fin sur une bobine séparée dans laquelle on peut faire entrer la première. Le courant inducteur passe dans la bobine à gros fil (bobine *primaire*), le courant induit est recueilli dans le fil fin (bobine *secondaire*). Le courant de la pile ou courant inducteur s'ouvre et se ferme à des intervalles très rapprochés par un mécanisme automatique analogue à celui de la sonnerie représentée fig. 398. (C'est surtout la bobine primaire avec son noyau qui joue le rôle de l'électro-aimant *ee*.) Les courants induits ont une tension qui surpasse de loin celle des courants des piles. Ils peuvent se propager dans le corps humain, et on les utilise dans l'art de guérir. Dans les grands appareils d'induction, la tension devient si forte qu'il jaillit entre les extrémités du fil induit des étincelles de plusieurs centimètres de long.

On a construit plus récemment d'autres appareils d'induction basés principalement sur la première et la deuxième des lois énoncées plus haut. On les appelle machines dynamo-électriques, ou plus brièvement *dynamos*. Le rapprochement et l'éloignement des aimants ou, ce qui revient au même, des bobines d'induction, sont produits par un moteur quelconque, par exemple à bras ou à vapeur.

Les courants induits d'une dynamo actionnée par une machine à vapeur sont si intenses et se succèdent si rapidement qu'ils peuvent se transformer en une lumière vive et tranquille dans des régulateurs à arc ou dans des lampes à incandescence. Dans ce cas, la lumière est produite par le charbon brûlé sous la chaudière de la machine. Il est très instructif de suivre la série des transformations que subit, avant de nous apparaître comme lumière, la puissance de travail ou l'énergie contenue dans le charbon.

La combinaison du charbon avec l'oxygène de l'air produit de la chaleur. Le véhicule de cette chaleur, c'est l'eau contenue dans la chaudière. Cette eau se vaporise et sa vapeur acquiert une certaine force d'expansion. Par la disposition des organes de la machine, la chaleur communiquée à l'eau se transforme en travail mécanique extérieur. Ce travail, c'est le mouvement visible imprimé au piston de la machine. Le piston met en

mouvement la dynamo. Par la disposition de celle-ci, le travail de la machine à vapeur est transformé en courants induits: il met en mouvement de l'électricité. Les électricités de noms contraires ont une tendance à se réunir. Le charbon des lampes, placé sur leur passage, leur oppose une résistance et devient incandescent. La disposition des lampes a transformé en lumière le mouvement de l'électricité.

Terminons en décrivant encore un autre appareil d'induction, le *téléphone*. Cette machine, inventée par l'américain Bell, mérite, par sa merveilleuse simplicité, d'être comptée parmi les plus beaux résultats qu'ait atteints le génie de l'homme. — Le téléphone est une machine qui transforme les vibrations sonores de l'air en courants induits. Il est disposé de manière à pouvoir également produire la transformation inverse des courants induits en vibrations sonores. Donc, en reliant entre eux deux téléphones, on peut transmettre un son quelconque, et par suite la parole humaine, à un endroit éloigné et l'y percevoir de nouveau comme son.

Voici les principes sur lesquels se fonde la disposition du téléphone. Supposons deux bobines, placées à distance l'une de l'autre, munies de noyaux de fer et dont les extrémités communiquent ensemble par deux fils de ligne. (Le second fil ne peut pas ici être remplacé par la terre.) Tout près de chaque bobine et perpendiculairement à son axe se trouve une surface ou une plaque magnétique. Si l'on parle devant l'une de ces plaques, elle recevra les impulsions communiquées à l'air et entrera en vibration. Dans ce mouvement vibratoire, elle s'approchera et s'éloignera alternativement de la bobine, et, par suite, développera dans celle-ci des courants induits (2^e cas). Ces courants se transmettent à la seconde bobine, aimantent son noyau et la rendent elle-même capable d'agir comme un aimant (Exercice 393).

Par suite, la plaque magnétique placée devant cette bobine est alternativement attirée et repoussée et prend elle-même un mouvement vibratoire exactement concordant avec celui de la première plaque. Ce qu'il y a de merveilleux dans cette disposition, c'est que les vibrations de la seconde plaque ont encore assez de force pour se communiquer à l'air et de là à l'oreille qui croit entendre la source première du son, c'est-à-dire la personne qui parle. — Il est très difficile de produire la

surface magnétique mentionnée dans cette explication. Pour tourner cette difficulté, on place simplement un barreau aimanté devant un disque mince en tôle de fer. Ce disque s'aimante par influence; il se forme au milieu un pôle de nom contraire au pôle de l'aimant le plus rapproché et sur les bords un pôle circulaire de même nom. L'une des faces du disque doit rester libre pour que l'on puisse en approcher la bouche. Le barreau aimanté doit donc se trouver derrière le noyau de la bobine, en contact avec ce noyau. Un étui en bois renferme le disque de tôle ou la membrane, ainsi que le barreau aimanté et la bobine avec son noyau.

La Cassette à expériences contient 29 numéros, savoir:

	fr. c.
1. Un électrophore, composé d'une plaque d'ébonite, d'un plateau métallique avec manche d'ébonite et d'un frottoir en flanelle	4.40
2. Un bâton de verre (longueur 20 cm, diamètre 8-9 mm)	».35
3. Une bouteille de Leyde	1.25
4. Un excitateur à manche d'ébonite	».65
5. Un support (tige de fer verticale sur pied) avec une presse à vis dans laquelle s'adaptent le carillon, la lentille ainsi que les suspensions pour les pendules électriques et le barreau aimanté	1.15
6. Un tourniquet électrique, sur une pointe isolée qui s'emboîte sur la tige du support	».75
7. Une suspension isolante pour les pendules électriques, s'adaptant à la presse du support	».65
8. Deux pendules électriques dans une boîte (deux balles de moëlle de tournesol fixées à des fils métalliques fins munis d'anneaux s'accrochant à la suspension n° 7)	».50
9. Un carillon électrique, s'adaptant à la presse du support	1.90
10. Un barreau aimanté	».50
11. Une suspension pour le barreau aimanté	».35
11 ^a . Une aiguille aimantée avec échape en agate	1.85
12. Un élément de pile électrique (un bocal, avec couvercle en bois portant des plaques de zinc et de charbon munies de bornes)	2.50
13. Une bobine électro-magnétique avec bornes et noyau de fer doux	1.75
14. Trois mètres de fil à enduit isolant	».20
15. Un prisme de verre	».50
16. Une lentille biconvexe avec monture permettant de l'adapter, dans toute position, à la presse du support	1.25
17. Un miroir argenté à bords rodés (50 mm sur 95 mm)	».25
18. Une glace sans enduit à bords rodés (50 mm sur 95 mm)	».10
19. Une plaque de verre bleu à bords rodés (50 mm sur 95 mm)	».15
20. Huit feuilles de papier de couleur à surface mate (noir, violet, indigo, bleu, vert, jaune, orange, rouge)	».25
21. Une feuille de papier d'étain	».10
22. Une grande éprouvette à pied (hauteur 23 cm, diamètre intérieur 6 cm)	».80
23. Un tube large en verre (longueur 20 cm, diamètre 14 mm)	».45
24. Un ludion, modèle de démonstration, comprenant un tube à essais, bouchon avec disque métallique et tube de verre	».60
25. Un tube de verre étiré en pointe	».10
26. Un tube coudé ou siphon	».15
27. Un tube capillaire	».05
28. Une notice illustrée, contenant 400 expériences avec explications détaillées (environ 200 pages d'impression, 84 figures)	5.»
Une caisse à compartiments, contenant les appareils	1.90

Une autre spécialité de notre maison, ce sont les

Collections

d'Appareils pour l'étude expérimentale de la Physique

avec Exercices pratiques et Solutions:

- I. Electricité dynamique. II. Electricité statique.
III. Acoustique. IV. Optique.

Voici le but que nous avons eu en vue dans cette entreprise:

Fournir aux élèves qui commencent l'étude de la Physique, spécialement dans les établissements d'instruction supérieure, le moyen de se familiariser, par leur travail personnel, avec les faits principaux de la science.

Pour atteindre ce but, nous fabriquons par quantités les appareils nécessaires, de manière à pouvoir les livrer, malgré leur exécution irréprochable, à un prix extrêmement réduit (v. pages suiv.). Nous joignons en même temps à chaque Collection une notice indiquant aux commençants un grand nombre de problèmes à résoudre par l'expérience. Pour être traitées avec fruit, ces questions pré-supposent chez l'élève la connaissance des principales théories de la Physique; elles lui fournissent seulement une direction pour le former à observer par lui-même, sous les formes les plus diverses, les lois exposées dans l'enseignement du professeur. Toutefois, pour ne pas l'abandonner entièrement à lui-même, nous joignons aux problèmes leur solution indiquée brièvement.

L'élève ne s'assimile complètement, ne s'incorpore, si l'on peut le dire, que les choses qu'il a constatées lui-même par voie expérimentale. L'enseignement théorique du maître doit s'unir en un seul tout avec le travail pratique et personnel de l'élève. C'est à cette condition seulement que l'étude des sciences naturelles pourra produire complètement son effet sur la formation de l'esprit.

Nous voudrions voir ces Collections entre les mains de tous les jeunes gens destinés à un genre de vie qui demande une vive connaissance des lois fondamentales de la Physique. Il serait aussi à désirer que les établissements d'instruction supérieure en fissent l'acquisition. Les appareils détachés pourraient alors être prêtés aux élèves pour leurs travaux personnels à domicile.

Les Collections conviennent, aussi bien que des livres, pour

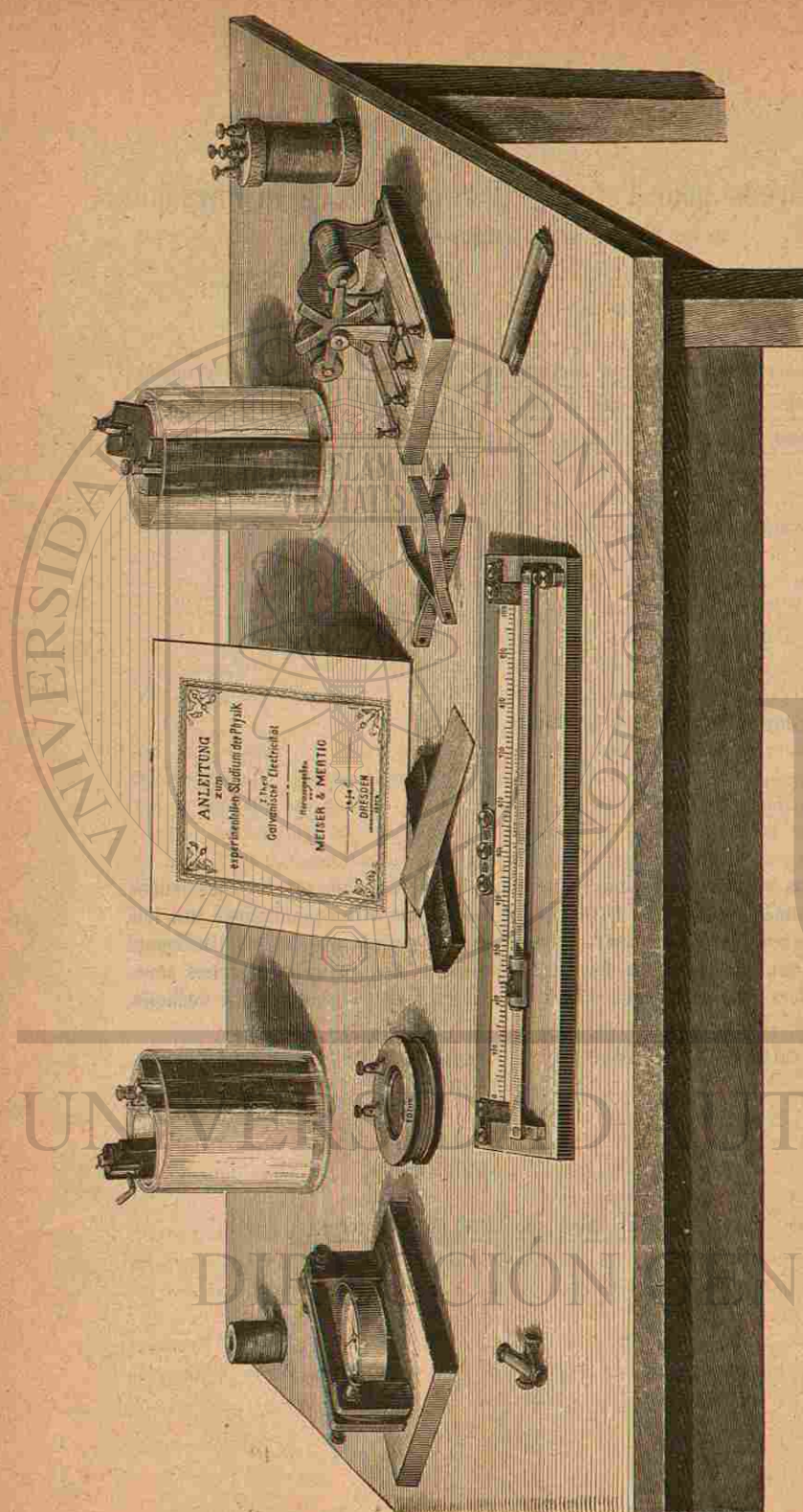
les cadeaux de fête ou d'étrennes, les distributions de prix, etc.

Les appareils sont disposés de manière à pouvoir également servir dans les Cours, là où le nombre d'élèves est peu considérable.

Le texte des problèmes est mis, **gratis et franco**, à la disposition de ceux qui désirent en prendre connaissance.

Comptant surtout, pour faire connaître notre entreprise, sur l'intérêt que peuvent y prendre Messieurs les Professeurs versés dans ces matières, nous envoyons, sans frais, toutes nos Collections à l'examen à tous les établissements qui nous en font la demande.

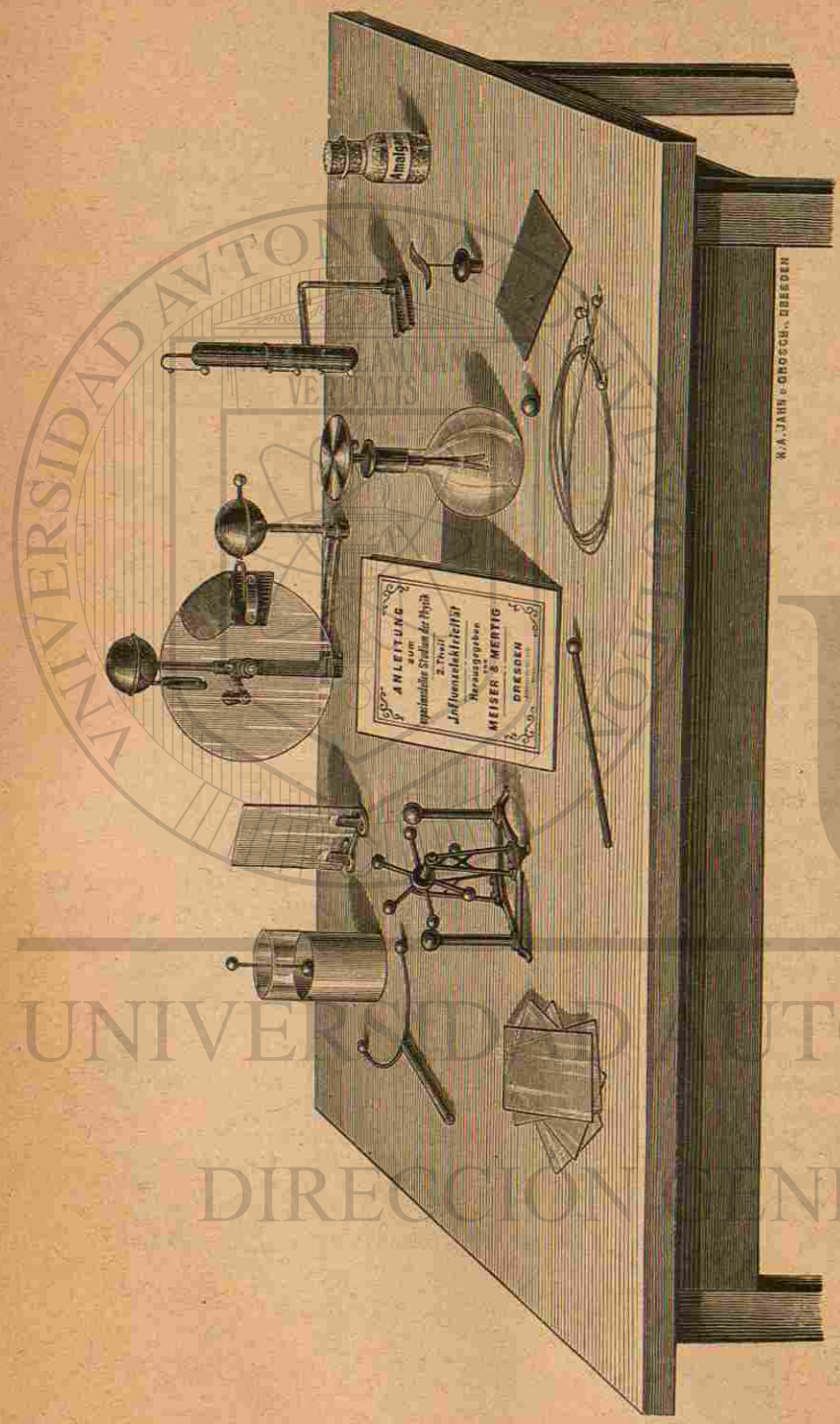
L'usage de nos appareils s'est répandu rapidement. Le livre d'Exercices compte déjà, outre l'édition allemande, une édition en français; des éditions en anglais et en espagnol sont en préparation.



Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de la Physique, avec Notice explicative.
I Partie: Electricité dynamique (120 Exercices pratiques avec solutions). Prix 32 francs, port et emballage compris.
 Appareils scientifiques et techniques Meiser & Mertig, à Dresde (Saxe).

La Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de
l'Électricité dynamique
 est envoyée de suite et franco au prix de 32 francs. Elle contient 11 numéros, savoir:

- | | |
|---|--------|
| | fr. c. |
| 1. et 2. Deux éléments de pile complets, pouvant être montés comme pile Daniell, pile Bunsen ou pile au bichromate. Chaque élément comprend un bocal de verre (fr. »25), un vase poreux (fr. »40), une plaque de zinc (fr. »25), une plaque de cuivre (fr. »25), une plaque de charbon (fr. »25), deux presses avec bornes (fr. »65) | 3.75 |
| 3. Un galvanomètre. L'aiguille repose sur une chape d'agate et est entourée d'une cage vitrée. Les bobines peuvent s'enlever, l'une est de gros fil, l'autre de fil fin; les extrémités de chaque fil aboutissent à des bornes séparées. — Ce galvanomètre accuse très bien les courants induits par l'action des aimants ainsi que les courants thermo-électriques | 8.25 |
| 4. Un pont de Wheatstone pour la mesure des résistances, avec contact à glissement et échelle de 100 divisions pour le fil de mesure. (Ce fil a 25 cm de long.) On peut mesurer avec cet appareil des résistances très variées | 8. » |
| 5. Un moteur électrodynamique. La construction de ce moteur permet d'interrompre à volonté pendant le mouvement la communication entre les noyaux des électro-aimants, — disposition indispensable pour l'intelligence de l'aimantation et des attractions magnétiques. Chacune des deux bobines aboutit à deux bornes séparées, de manière qu'on puisse expérimenter avec chaque noyau de fer séparément | 7. » |
| 6. Une bobine d'induction. Elle porte enroulés deux fils, un gros fil et un fil fin, les extrémités de chaque fil aboutissent à des bornes distinctes. A la bobine est joint un noyau de fer doux permettant de réaliser la plupart des expériences de l'électro-magnétisme. On peut monter un appareil d'induction en réunissant cette bobine avec le moteur n° 5 | 3. » |
| 7. Un barreau aimanté. Les courants induits par ce barreau dans la bobine peuvent être très bien observés au galvanomètre | »60 |
| 8. Une unité de résistance ou 1 ohm, en fil de maillechort | 2.75 |
| 9. Deux éléments thermo-électriques (fer et argent neuf), chacun | »60 |
| 10. Deux serre-fils pour les communications (fr. »50) et 6 mètres de fil recouvert (fr. »45) | »95 |
| 11. Une notice contenant la description des appareils et 120 Exercices à traiter par l'expérience avec leurs solutions. Tous ces Exercices peuvent être faits avec les seuls appareils de cette Collection. | |



Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de la Physique, avec Notice explicative.
II Partie: Electricité statique (120 Exercices pratiques avec solutions). *Prix 32 francs, port et emballage compris.*
 Appareils scientifiques et techniques **Meiser & Mertig**, à Dresde (Saxe).

La Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de
l'Electricité statique
 est envoyée de suite et franco au prix de **32 francs**. Elle con-
 tient 14 numéros, savoir:

- | | |
|--|--------|
| | fr. c. |
| 1. Une machine électrique à plateau. Bâti en fonte avec presse pour visser la machine au bord de la table. Les deux conducteurs (sphères en laiton poli) reposent sur des colonnettes d'ébonite. Diamètre du plateau 20 cm, longueur d'étincelle 2,5 cm. Les coussins sont envoyés non enduits d'amalgame, mais une bouteille d'amalgame est jointe à la machine et comprise dans le prix indiqué. (Un plateau de rechange coûte 1 fr. 25.) | 12.50 |
| 2. Un électroscope. Un tube d'ébonite traverse le bouchon du ballon de verre et isole la tige qui porte les fils métalliques. Sur cette tige peuvent se visser soit un disque de zinc soit une boule de laiton. Ces deux pièces portent des trous coniques destinés à recevoir les extrémités des fils conducteurs. L'appareil est expédié avec des feuilles d'étain, à cause des difficultés du transport, mais on y joint deux paires de feuilles en aluminium | 3.75 |
| 3. Un appareil pour l'électrisation par influence. Il se compose d'un conducteur cylindrique portant trois pendules en moëlle de tournesol et fixé verticalement sur un support isolant. | |
| 4. Une bouteille de Leyde. Le bocal est cylindrique et du meilleur verre. L'armature extérieure est une feuille d'étain collée sur la bouteille; l'intérieur est revêtu d'une feuille de métal qui s'applique exactement contre le verre, mais qu'on peut enlever. Le bouton repose sur une tige dont les fils métalliques font ressort contre l'armature intérieure | 2. » |
| 5. Un excitateur. Les boules terminales portent des trous coniques destinés à recevoir les extrémités des fils conducteurs. Le manche est en ébonite | 1. » |
| 6. Une boule d'épreuve, fixée à une tige d'ébonite longue de 17 cm | »30 |
| 7. Un moteur à électricité statique. La construction de ce moteur est entièrement nouvelle; son fonctionnement est décrit dans la notice jointe à la Collection. Sur un bâti en fonte sont vissés deux montants en fer et deux colonnettes en ébonite. Les deux montants supportent l'axe d'une roue à six rayons qui sont des tiges d'ébonite portant à leurs extrémités des boules de laiton. Ces boules tournent entre deux autres boules de laiton fixes, portées par les deux colonnettes en ébonite et sur lesquelles s'accumule l'électricité motrice. Le moteur peut être mis en mouvement par la machine électrique ou avec la bouteille de Leyde chargée | 7. » |
| 8. Un tourniquet électrique. On le met sur une pointe fixée à un bouchon qui s'adapte au conducteur de la machine | »60 |
| 9. Une plaque d'ébonite | »60 |
| 10. Quatre plaques de verre à bords rodés (1. ») avec un support pour fixer verticalement une de ces plaques (»90) | 1.90 |
| 11. Trois conducteurs souples, terminés par des tiges coniques | 1.25 |
| 12. Une bouteille d'amalgame | »65 |
| 13. Une feuille d'étain de 1/2 mètre sur 1/3 de mètre | »20 |
| 14. Une notice contenant la description des appareils et 120 Exercices à traiter par l'expérience avec leurs solutions. Tous ces Exercices peuvent être faits avec les seuls appareils de cette Collection. | |



Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de la Physique, avec Notice explicative.
III Partie: Acoustique (120 Exercices pratiques avec solutions). Prix 32 francs, port et emballage compris.
 Appareils scientifiques et techniques Meiser & Mertig, à Dresde (Saxe).

La Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de
l'Acoustique

est envoyée de suite et franco au prix de 32 francs. Elle contient 12 numéros, savoir:

- | | |
|---|--------|
| | fr. c. |
| 1. Une sirène de Seebeck. On met en rotation le disque percé de trous en tirant une ficelle enroulée sur une poulie, et on souffle sur le disque avec un tube de verre | 2.80 |
| 2. Un diapason $la_3 = 435$ vibrations complètes. Ce diapason est exactement accordé au ton normal | 3.15 |
| 3. Un appareil pour faire tracer au diapason sa courbe de vibration. Le diapason porte sur l'une de ses branches une baguette munie d'une languette métallique recourbée en pointe. On fixe à l'autre branche un contrepoids convenable. Pour enregistrer la courbe de vibration, on enduit de noir de fumée la plaque de verre jointe à l'appareil, on fait vibrer le diapason en le tenant par sa tige, et l'on passe rapidement la pointe sur la surface enfumée | 1. » |
| 4. Un sonomètre. L'un des côtés de la caisse porte une échelle qui indique d'abord les principales divisions de la corde ($\frac{3}{2}, \frac{4}{3}, \frac{3}{4}$, etc.) et de plus la hauteur des sons qui correspondent à des longueurs déterminées de la corde lorsque les $\frac{3}{5}$ de celle-ci sont mis au ton du diapason. Cette disposition permet d'obtenir rapidement toute la gamme diatonique de do majeur. Ainsi, avec le sonomètre «mis au ton», on peut accorder immédiatement, à leur hauteur exacte dans la gamme naturelle, d'autres sons quelconques, par exemple ceux des tuyaux de la Collection | 7. » |
| 5. Un archet de violon, longueur 50 cm | 1. » |
| 6. Une corde d'acier, enroulée sur une bobine | 2.10 |
| 7. Un appareil pour la production des lignes nodales de Chladni. Ce sont deux plaques métalliques, l'une ronde, l'autre carrée, que l'on fixe par leur milieu, au moyen d'une vis de pression, à la presse en fonte attachée au bord de la table | 2.80 |
| 8. Un appareil pour les expériences sur la résonance. Avec presse | 4.40 |
| Sans presse | 3. » |
| La figure ci-contre montre la disposition de l'appareil. La tige verticale se fixe sur la même presse que les plaques du n° 7. — Un tube large, ouvert aux deux bouts (tube de résonance ou résonnateur) plonge partiellement dans l'eau contenue dans la grande éprouvette. Le volume du résonnateur diminue ou augmente suivant que le tube plonge plus ou moins profondément dans l'eau. Si ce volume correspond par exemple au son $la_3 = 435$ vibr. et qu'on tient au-dessus du tube le diapason mis en vibration, on observe un renforcement très notable du son du diapason. — Cet appareil se prête aussi très bien à la démonstration des sons harmoniques. Par exemple, si l'on fait parler le tuyau à anche au-dessus du tube et qu'on modifie la capacité du résonnateur en soulevant peu à peu le tube, on peut percevoir nettement, même à distance, les sons harmoniques correspondant aux masses d'air contenues successivement dans le tube. De même, en faisant parler le tuyau à anche au-dessus du tube et en soulevant peu à peu celui-ci de sa position la plus basse à la plus élevée, on entend se modifier graduellement le timbre du son rendu par le tuyau. | |
| 9. Un tuyau à bouche. Avec pied | 6. » |
| Sans pied | 3.75 |
| Ce modèle peut se démonter complètement. Les deux lèvres supérieure et inférieure sont mobiles. Une partie du tube s'adapte sur | |

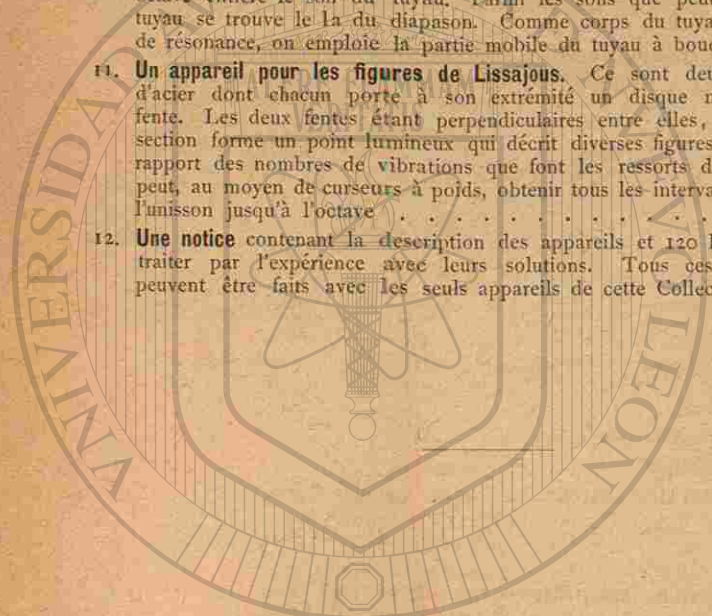
l'autre à frottement et peut s'enfoncer plus ou moins, ce qui permet de modifier la longueur du tuyau. Le pied est en verre. On souffle avec la bouche au moyen d'un tube de verre et d'un tuyau de caoutchouc.

10. **Un tuyau à anche**, se plaçant sur le pied du tuyau à bouche. Avec pied 4.75
 Sans pied 2.50

Ce modèle peut aussi se démonter complètement avec facilité. Le jeu de la rasette est assez étendu pour qu'on puisse faire varier d'une octave entière le son du tuyau. Parmi les sons que peut rendre le tuyau se trouve le *la* du diapason. Comme corps du tuyau ou tube de résonance, on emploie la partie mobile du tuyau à bouche.

11. **Un appareil pour les figures de Lissajous**. Ce sont deux ressorts d'acier dont chacun porte à son extrémité un disque muni d'une fente. Les deux fentes étant perpendiculaires entre elles, leur intersection forme un point lumineux qui décrit diverses figures suivant le rapport des nombres de vibrations que font les ressorts d'acier. On peut, au moyen de curseurs à poids, obtenir tous les intervalles depuis l'unisson jusqu'à l'octave 4.40

12. **Une notice** contenant la description des appareils et 120 Exercices à traiter par l'expérience avec leurs solutions. Tous ces Exercices peuvent être faits avec les seuls appareils de cette Collection.

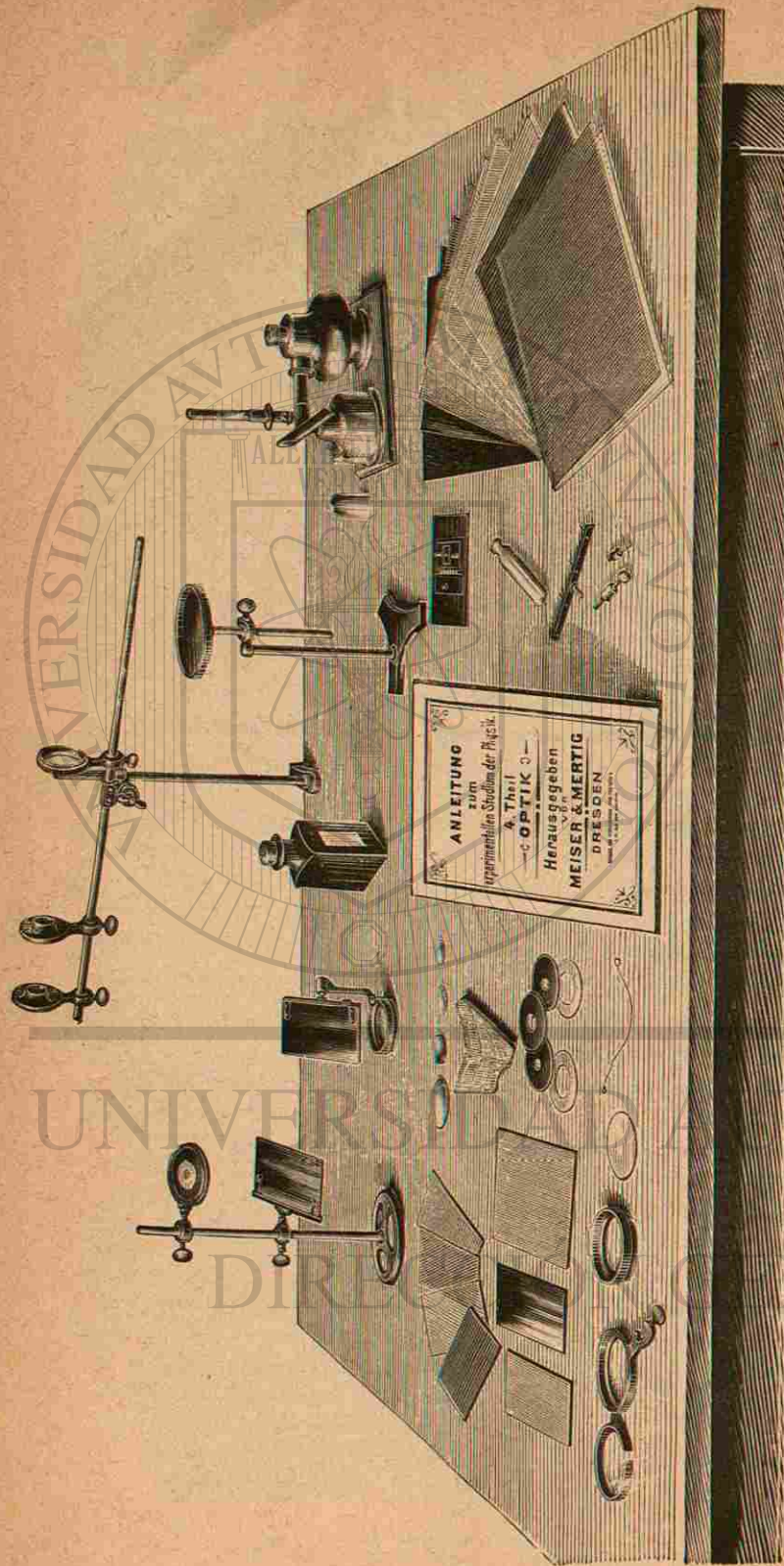


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE LEÓN
 DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

La Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de
l'Optique

est envoyée de suite et franco au prix de 32 francs. Elle contient 28 numéros, savoir:

- | | fr. c. |
|--|--------|
| 1. Un banc d'optique . Il se compose d'une tige verticale, fixée sur une presse en fonte; à cette tige se fixe, au moyen d'une forte presse, une tige de fer longue de 50 cm qu'un mouvement de charnière avec vis de pression permet de placer dans toute position | 3.40 |
| 2. Quatre lentilles . Une grande lentille convergente de 20 cm de distance focale, deux petites de 2 à 4 cm et une petite lentille biconcave de 5 cm | 3. » |
| 3. Deux grandes montures pour lentilles . Elles se vissent facilement sur la tige du banc d'optique. Les lentilles y sont maintenues par des anneaux faisant ressort | 1.75 |
| 4. Une grande monture mobile pour lentilles . L'anneau de fer destiné à recevoir la lentille porte une tige conique qui s'emboîte dans le trou de l'une des presses n° 15 | »85 |
| 5. Deux petites montures pour lentilles , comme n° 3 | 1.65 |
| 6. Trois diaphragmes, deux anneaux plats . Ces pièces s'adaptent dans les montures des lentilles. Les anneaux plats sont spécialement destinés aux expériences de diffraction | »30 |
| 7. Un disque photométrique d'après Bunsen. Il se fixe dans l'une des grandes montures pour lentilles | »30 |
| 8. Deux porte-bougies , l'un pour une, l'autre pour quatre bougies. Il s'adaptent aux presses n° 15 | »75 |
| 9. Deux miroirs argentés (50 mm sur 93 mm) | »50 |
| 10. Un miroir noir . Le dos est enduit de vernis noir (50 mm sur 93 mm) | »25 |
| 11. Une glace sans enduit (50 mm sur 93 mm) | »15 |
| 12. Une plaque de verre dépoli (50 mm sur 93 mm) | »20 |
| 13. Quatre plaques de verre de couleur , rouge, jaune, vert, bleu (50 mm sur 93 mm) | »75 |
| 14. Deux montures à ressorts pour tenir les plaques de verre. Elles s'adaptent aux presses n° 15 | 1.10 |
| 15. Deux presses munies de trous pour recevoir les pièces nos 4, 8, 13 et 19 | »75 |
| 16. Un support . Tige de fer verticale avec pied | »65 |
| 17. Huit feuilles de papier de couleur , noir, violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge et une feuille de papier d'étain | »35 |
| 18. Un brûleur à alcool , genre Bunsen, pour expériences d'analyse spectrale, V. la figure. Une mèche conduit l'alcool du réservoir dans le tube horizontal. Ce tube est chauffé par la flamme d'une lampe à alcool placée en dessous, l'alcool se vaporise, et la vapeur s'échappe par un petit tube vertical. Quand la lampe à alcool a chauffé pendant | |



Collection d'appareils pour l'étude expérimentale de la Physique, avec Notice explicative.

IV Partie: Optique (120 Exercices pratiques avec solutions). Prix 30 francs, port et emballage compris.

Appareils scientifiques et techniques Meisner & Mertig, à Dresde (Saxe).

- 5 minutes environ, on allume en haut du brûleur. — La flamme ainsi obtenue fond du fil de cuivre jusqu'à 1 mm de diamètre; elle convient spécialement pour produire les spectres des métaux 7.»
- 19. Un fil de platine avec pièce pour le fixer. La tige de cette pièce s'adapte au n° 15 et le tout ensemble au support n° 16 ».65
- 20. Une fente à ouverture variable, en métal 1.75
- 21. Un prisme à sulfure de carbone. Flaçon en verre noir, les faces d'incidence et d'émergence sont garnies de glaces. Le prisme est livré non rempli 5.»
- 22. Un support à tablette mobile pour placer le prisme à différentes hauteurs 1.25
- 23. Un flaçon à faces planes pour expériences d'absorption ».15
- 24. Un anneau avec montant pour supporter le miroir supérieur de l'appareil de polarisation (d'après Norremberg) ».85
- 25. Un anneau mobile pour supporter la tablette de l'appareil de polarisation. Ce n° et le précédent se fixent aux montures n° 3 ».50
- 26. Une plaque circulaire en glace s'adaptant sur l'anneau n° 25 ».10
- 27. Un morceau de gypse de Montmartre près Paris ».30
- 28. Une notice contenant la description des appareils et 120 Exercices à traiter par l'expérience avec leurs solutions. Tous ces Exercices peuvent être faits avec les seuls appareils de la Collection.

Conditions d'expédition.

Tous nos envois sont considérés comme des envois à vue ou à l'essai. Pendant 10 jours, comptés à partir de la réception, chacun de nos clients peut librement nous renvoyer les appareils reçus; les paiements déjà effectués sont alors remboursés aussitôt. Après ces dix jours, aucun article ne peut plus être repris.

Pour les Collections scolaires, le prix de 32 francs, franco de port et d'emballage, ne s'applique qu'à la Belgique et au Grand-Duché de Luxembourg. Ce prix est de 25 marcs dans l'Empire allemand, de 15 florins en Hollande et de 23 couronnes en Danemark. Pour les autres pays, il faut y ajouter le port à partir de la frontière allemande.

Pour tous les autres envois, le port et l'emballage sont facturés au prix coûtant. Il en est de même pour les appareils faisant partie des Collections, mais demandés séparément.

Nous ne pouvons envoyer à l'étranger qu'après avoir reçu le montant de la commande, ou quand c'est possible, contre remboursement.

Tous les envois d'argent doivent nous être adressés franco à Dresde.

Recommandations.

Secrétariat et intendance de S. A. le Grand-Duc Prince Charles de Bade.

Messieurs Meiser & Mertig à Dresde.

Je suis heureux de vous certifier que S. A. le Grand-Duc Prince Charles de Bade a reçu de vous pour son fils, à la Noël de l'an dernier, une Casette à Expériences. Les appareils de cette Collection sont, à tout point de vue, parfaitement exécutés; ils ont donné la plus complète satisfaction.

Par ordre de S. A.

Carlsruhe, le 28 août 1891.

Werber.

Craïova (Roumanie), le 31 juillet 1891.

Messieurs, j'ai bien reçu en son temps votre Collection d'appareils de Physique, et je constate avec plaisir qu'ils ont parfaitement correspondu à mon attente. Les appareils sont très heureusement choisis pour faciliter l'étude des premières notions de l'électricité. Leur exécution d'un fini incontestable ainsi que leur prix modique méritent le plus grand éloge.

Recevez, Messieurs, mes salutations bien empressées.

E. Arnold,

Directeur d'Institut pour garçons.

Institut d'Insiedeln (Suisse), le 15 mars 1889.

Les quatre Collections d'appareils que vous m'avez adressées m'ont complètement satisfait. J'ai été émerveillé de trouver, pour un prix aussi bas, une exécution aussi solide et aussi exacte. Mais ce que j'admire le plus, c'est la composition des Collections et le choix d'appareils fait d'une manière si ingénieuse et si bien appropriée au but proposé. Grâce à cette heureuse combinaison, on peut, avec un nombre d'instruments relativement petit, faire une nombreuse série d'expériences intéressantes et instructives.

P. C. Bruger, professeur.

Dabrun près Wittenberg (Prusse), le 10 juillet 1890.

La Casette à expériences de MM. Meiser & Mertig m'ayant été fortement recommandée de divers côtés, je me la suis procurée, et, à l'occasion des fêtes de Pâques, j'en ai fait cadeau à mon fils, âgé de 12 ans et demi, pour l'occuper d'une manière instructive pendant ses heures de loisir. Grâce au livre d'Exercices joint à la Casette, non seulement il s'est bientôt familiarisé avec la connaissance et le maniement des appareils, mais il a déjà exécuté les 400 expériences sans se faire aider par personne. Il a répété souvent les plus intéressantes, et il en a même réalisé beaucoup d'autres, non indiquées dans la notice, mais auxquelles se prêtent les appareils. C'est ainsi que, par l'intuition et de la manière la plus facile, il s'est assimilé les éléments de la Physique, ce que ne font pas sans bien de la peine les élèves plus âgés, même les meilleurs, dans les classes supérieures des gymnases lorsqu'ils ne possèdent pas d'appareils pour expérimenter par eux-mêmes.

Je me plais aussi à reconnaître que les appareils de la Maison Meiser & Mertig fonctionnent très bien et que leur construction joint la solidité à l'élégance. Le choix des appareils relatifs aux différentes branches de la Physique

est fait avec beaucoup d'intelligence. Ils ont d'ailleurs un complément tout indiqué dans les Collections spéciales créées par la même Maison pour l'Électricité, l'Acoustique et l'Optique, cette dernière comprenant jusqu'à la polarisation et l'analyse spectrale. Je suis heureux de recommander tout cet ensemble comme un auxiliaire indispensable pour faire dans les sciences naturelles des études réellement basées sur l'expérience personnelle.

G'oatz, licencié, pasteur.

Amsterdam (Hollande), le 18 juillet 1891.

En réponse à votre lettre de 16 courant, je suis heureux de certifier par la présente, que je suis complètement satisfait de la Cassette à expériences, que vous m'avez récemment envoyée pour mon fils.

Agréer, etc.

E. J. Ham.

Rhaden (Westphalie), le 20 juillet 1890.

Je me suis fait envoyer à vue, par l'intermédiaire de M. le Recteur Hollmann, votre Cassette à expériences que je destinais à mon fils âgé de 12 ans. Je puis bien dire que le contenu de cette cassette m'a extraordinairement satisfait à tout point de vue. Pour le prix très modique de 20 marcs, on est tout émerveillé de recevoir 28 appareils et de plus une Notice illustrée contenant 400 expériences à faire, avec les explications approfondies qui s'y rattachent. Toutes ces expériences se font parfaitement avec les appareils de la Cassette. Ces appareils sont tous bien et proprement travaillés; ils fonctionnent avec précision, et je les recommande vivement à tout le monde. Je crois pouvoir me permettre un jugement en cette matière, ayant été, dans un gymnase, à la tête d'un cabinet de Physique et de Chimie.

Veuillez agréer, etc.

Heitz, receveur général.

Dresde (Saxe), le 30 novembre 1886.

On peut recommander hautement votre Collection d'appareils — 1^{re} partie, Électricité dynamique — comme un excellent moyen d'occuper avec fruit et d'une manière attrayante les élèves de nos Cours moyens et supérieurs. Parmi les appareils de Physique destinés aux jeunes gens, beaucoup ne sont au fond que des jouets intéressants; ils peuvent fournir un aliment à l'activité naturelle de la jeunesse, mais, malgré leur apparence scientifique, ils n'exigent ni ne provoquent presque aucune réflexion sur les lois naturelles qui y sont appliquées. Tout autre a été votre but. Par le choix de ces appareils et par les Exercices que vous proposez à résoudre, vous avez réussi à donner à l'élève le moyen de résoudre expérimentalement par lui-même un grand nombre des questions qui se présentent à son esprit lorsque, guidé par vos indications, il réfléchit aux multiples actions des courants électriques. Vous avez ainsi créé un matériel pour des manipulations bien supérieures aux simples amusements et dans lesquelles l'activité de l'esprit s'exerce librement, mais sans cesser de rester étroitement en rapport avec l'enseignement reçu dans les Cours. L'exécution des instruments est simple, comme il le faut pour pouvoir les fournir à un prix modéré, mais ils répondent amplement aux usages qu'on en doit faire. On ne peut que souhaiter à votre entreprise un complet développement qui permettra, je l'espère, à nos élèves d'exercer de même leur activité personnelle sur les autres branches de la Physique.

Dr. George Helm,

professeur au Realgymnasium à Dresde.

Salonique (Turquie), le 7 juillet 1891.

Messieurs Meiser & Mertig, à Dresde.

M'étant procuré votre Cassette à expériences, j'ai pu me convaincre de la valeur pratique de vos Collections. C'est pourquoi je vous prie de vouloir bien m'envoyer votre Collection I pour l'Électricité dynamique.

H. Kuhn,

contrôleur du trafic aux chemins de fer de l'Orient.

Leipzig (Saxe), le 4 décembre 1886.

La Collection d'appareils que la Maison Meiser & Mertig de Dresde vient de mettre en vente pour initier les commençants à l'étude de l'électricité dynamique se distingue par sa composition irréprochable et son exécution solide. Elle convient parfaitement pour répéter et approfondir les matières traitées dans l'enseignement et pour s'exercer à observer par soi-même. Les élèves des Cours en retireront un grand fruit de même que ceux qui étudient en particulier.

Dr. E. Lehmann, professeur au gymnase royal.

Rome (Italie), le 3 septembre 1891.

Consulat de l'Empire allemand, à Rome.

Messieurs Meiser & Mertig à Dresde.

J'ai reçu de vous, il y a assez longtemps déjà, une Cassette à expériences. Elle a complètement répondu à mon attente, et je suis heureux de vous en rendre le témoignage. Maintenant encore, mes fils déjà grands s'en occupent avec un vif attrait à leurs moments de loisir.

Agréer, je vous prie, etc.

Ad. von Nast-Kolb.

Landeshut (Schleswig).

A la Noël de l'an 1889, j'ai fait venir une Cassette à expériences. J'étais curieux de voir ce qu'elle pouvait bien contenir pour le prix modique de 20 marcs. Je dois avouer que mon attente a été bien dépassée, et je ne puis que recommander cette Cassette comme cadeau de fête pour les jeunes gens qui s'intéressent à cette matière. Les écoles du degré inférieur, qui ne disposent que de ressources restreintes, ont maintenant une excellente occasion de se procurer les instruments les plus nécessaires.

Opitz, professeur.

Mons (Belgique), le 26 juillet 1891.

Messieurs Meiser & Mertig à Dresde.

La création de vos Collections scolaires vient combler, de la manière la plus heureuse, une lacune regrettable signalée depuis longtemps dans l'étude des sciences physiques. Le plus souvent, le Professeur, après avoir exposé son enseignement théorique, doit se borner, pour la démonstration expérimentale, à faire fonctionner rapidement des appareils, souvent délicats et de grand prix, minutieusement préparés et placés d'avance dans toutes les conditions classiques. «Voici ce qu'il faut voir! Vous l'avez vu? Bien!» et l'instrument rentre dans son armoire. Les élèves pourront parfois l'y regarder, mais l'avoir entre les mains, disposer eux-mêmes l'expérience et en varier les conditions pour étudier l'influence de chacune d'elles, il n'en peut être question. Le temps ne le permet pas, et, d'ailleurs, on ne peut prudemment confier à des mains peu exercées les appareils délicats et coûteux du cabinet.

Vous avez voulu remédier à cet état de choses, et vous y avez parfaitement réussi. Le choix judicieux de vos appareils et les nombreuses combinaisons auxquelles ils se prêtent permettent de réaliser, avec un nombre restreint de pièces, un nombre considérable d'expériences. La solidité, l'élégance et l'exécution irréprochable des instruments fait le plus grand honneur à vos talents de constructeurs, de même que la rédaction des Exercices que vous proposez à l'élève porte le cachet d'hommes familiarisés de longue date aussi bien avec les théories les plus exactes de la science qu'avec les besoins pratiques de l'enseignement. Enfin, le bon marché des Collections les met à la portée d'un grand nombre d'étudiants et, en tout cas, des établissements les plus modestes qui peuvent les prêter aux élèves ou même s'en servir dans les Cours. Pour les auditoires plus nombreux, les dimensions de plusieurs appareils ne seraient pas suffisantes, mais vous avez eu l'heureuse idée de reproduire dans de plus grandes proportions un certain nombre d'instruments. L'élève peut ainsi s'exercer avec le petit modèle après avoir vu le grand modèle fonctionner au Cours.

Votre Cassette à expériences et la notice qui l'accompagne sont plus élémentaires. Les jeunes gens qui n'ont pas encore suivi de Cours de sciences y trouveront des Exercices du plus haut intérêt et admirablement disposés pour développer en eux le goût des observations méthodiques et réfléchies.

Dans l'intérêt des sérieuses études scientifiques, je souhaite cordialement à vos Collections la diffusion la plus large et la plus rapide.

Veuillez agréer, etc.

G. Peltier, S. J.

professeur de sciences au Collège Saint-Stanislas.

Leipzig (Saxe), le 1 décembre 1886.

Les appareils pour l'étude de l'Électricité dynamique, fournis par MM. Meiser & Mertig à Dresde, se distinguent au premier coup d'œil par l'élégance de leur construction, et l'intérieur répond à l'apparence. Les instruments fonctionnent avec précision, et celui qui les manie souvent le fait toujours avec plus de goût et d'attrait. Le bon marché de ces appareils les met à la portée de ceux qui étudient en particulier, et le grand nombre d'usages auxquels ils se prêtent permet de les recommander aux écoles même d'un degré peu élevé. Les indications jointes aux instruments constituent un guide sûr pour l'élève et rendront même de réels services au professeur qui n'est pas encore bien rompu à l'art des expériences.

E. Riedel, professeur au gymnase.

Schlawe (Poméranie), le 27 septembre 1888.

Je connais jusqu'à présent trois des Collections — Électricité statique, Électricité dynamique et Acoustique — que MM. Meiser & Mertig, de Dresde, ont composées ou, pour mieux dire, inventées, d'une manière si digne d'éloges et si bien appropriée au but que doivent avoir ces sortes d'appareils destinés à l'étude expérimentale de la Physique.

Extérieurement, tous ces appareils se présentent parfaitement bien. Pour plusieurs, il est vrai, on a, en vue du bon marché, noirci ou nickélé certaines pièces au lieu de les polir et de les vernir, mais l'aspect n'en est pas moins élégant et agréable. Toutes les parties essentielles sont travaillées avec beaucoup d'exactitude; les pas de vis, par exemple, sont profondément filetés et s'adaptent bien à leurs écrous. Je puis d'autant mieux apprécier ces détails d'exécution que je me suis moi-même occupé de constructions mécaniques.

Je me sers continuellement de la Collection I, dont j'emploie même avec avantage plusieurs appareils dans mes Cours, bien qu'ils ne soient pas, vu leur faible grandeur, destinés à fonctionner devant un auditoire complet, mais à servir à des travaux faits en particulier. Le pont de Wheatstone m'a rendu de grands services pour mesurer les résistances des appareils de la Collection, résistances qu'on doit connaître pour déterminer le nombre des éléments de pile qu'on doit employer et la manière dont il faut les associer pour pouvoir répondre du succès des expériences.

C'est surtout de la Collection d'Acoustique que je me suis occupé. Elle permet de faire des recherches encore plus nombreuses et plus précises que celles qu'indique le recueil d'Exercices. Ainsi, on peut calculer, comme l'indique Wertheim, la correction à faire pour les tuyaux ouverts ou bouchés et vérifier par l'expérience les longueurs corrigées. Avec le sonomètre, je suis parvenu, au moyen d'une seconde graduation, à faire entendre nettement la différence entre les intervalles naturels et les intervalles tempérés. Avec l'ingénieux appareil destiné à montrer les figures de Lissajous, j'ai pu représenter les intervalles 1:1, 1:2, 2:3, 3:4, 4:5 et 3:5. Il est vrai que, pour les rapports un peu compliqués, on doit connaître à l'avance la figure qui doit se produire, mais alors on la reconnaît nettement.

Les éditeurs ont eu l'heureuse idée d'ajouter aux Exercices l'indication des résultats auxquels on doit arriver. Il est pourtant à conseiller que les élèves travaillent d'abord par eux-mêmes. Pour cela, il est utile de leur faire tenir un cahier dans lequel chaque Exercice a d'avance sa place marquée et d'y consigner les résultats à mesure qu'on les trouve. On voit ainsi d'un coup d'œil quelles sont les expériences qui n'ont pas encore été faites et celles qui n'ont pas réussi.

Le prix actuel de ces Collections (32 francs) est si modique que je conseille vivement à tous les étudiants en Physique et même aux professeurs de se les procurer. Le temps pendant lequel ils s'en occuperont ne sera pas perdu. Je conseille ces Collections même aux élèves qui peuvent avoir à disposer de cabinets bien montés. Ils acquerront une dextérité et une sûreté dans le maniement des appareils qui leur vaudront la confiance de leurs maîtres, et ils seront ainsi admis plus aisément à manier des instruments plus délicats et plus compliqués.

E. Schmidt, professeur de sciences adjoint.

Paris (France), Boulevard de Clichy, 52.

Messieurs, je vous remercie beaucoup pour l'envoi de votre excellente Cassette à expériences; elle constitue un progrès réel dans l'éducation au point de vue des sciences physiques. Je me propose de traduire en partie le texte du volume joint aux appareils et de le soumettre à un grand nombre de directeurs de Lycées et de Collèges pour qu'ils attirent sur cette intéressante Collection l'attention de leurs professeurs de Physique et celle de leurs élèves.

Recevez, etc.

Singer.

Deventer (Hollande), le 20 juillet 1891.

Messieurs Meiser et Mertig, Dresde,

Messieurs, en réponse à votre honorée lettre du 17 courant, j'ai l'honneur de vous faire part que «der Experimentirkasten» que j'ai reçu en janvier, m'a beaucoup satisfait.

Mon fils s'en amuse beaucoup et apprend en même temps en jouant les premiers commencements de la Physique. Cela lui facilitera beaucoup ses études lorsqu'il devra s'occuper de cette science.

Agreez entretemps mes salutations respectueuses.

H. Verploegh.

Nous pourrions citer de même un grand nombre d'attestations, notamment de MM. **Adam**, directeur du gymnase grand-ducal à Schwérin (Mecklembourg); **Bammert**, professeur à Ehingen sur le Danube; **L. Bosse**, professeur ordinaire à l'école d'agriculture à Dahme; **Dr. Paul Bronner**, professeur à l'école professionnelle supérieure, à Stuttgart; **Buchrucker**, professeur au gymnase, à Sobernheim; **Burbach**, professeur à Gotha; **Claus**, professeur des Cours supérieurs à l'École professionnelle, à Leisnig; **Dr. E. Detlefsen**, professeur au gymnase de Wismar; **Dr. Endemann**, à Celle; **Dr. Hagen**, à Crefeld; **Hautsch**, ingénieur et professeur d'électro-technique, etc. à Holzminden; **Dr. H. Heskamp**, à Mayence; **Dr. A. Lessing**, à Nuremberg; **C. Mühlenbein**, directeur à Cöthen; **K. Mumenthey**, recteur à Altena; **Neubert**, professeur au Corps des Cadets à Dresde; **Dr. Quensen**, à Gandersheim; **Ross**, inspecteur des mines et professeur à l'École des mines, à Bardenberg; **Prof. Sachse**, à Iéna; **Prof. Sauer**, à Berlin; **Dr. Serres**, à Minden; **Dr. H. Toepfer**, professeur au gymnase de Sondershausen; **P. Tschiersch**, professeur au gymnase, à Dortmund; **Dr. Winter**, à Quakenbrück; **A. Zimmermann**, professeur au séminaire de Grimma; **Dr. Züge** à Lingen.

Table alphabétique des matières.

(Les chiffres renvoient aux pages.)

- A**beration chromatique ou de réfrangibilité 114, 115.
 Aberration de sphéricité 110.
 Absorption des couleurs 121.
 Accommodation de l'œil 102.
 Accumulateur 180.
 Achromatique (lentille) 114.
 Acide sulfurique 175, 178.
 — nitrique 180.
 Adhésion 27—32, 34, 35.
 Adithermanes (corps) 126.
 Aiguille flottant sur l'eau 32.
 — aimantée 166—169, 171, 172, 175—179, 183, 188.
 — astatique 166, 188.
 Aimant artificiel 165.
 — en fer à cheval 186.
 — naturel 164.
 — terrestre 167.
 Aimantation par courants électriques 184, 185.
 — par frictions 166.
 — par influence 169—172.
 Air (poids de l') 15 et suiv.
 Alphabet télégraphique 186.
 Amalgame de Kienmayer 144.
 Amplitude des oscillations du pendule 36.
 — des vibrations sonores 50.
 Analyse spectrale 119.
 Angle d'incidence 67.
 — de réflexion 67.
 — de réfraction 75.
 — réfringent d'un prisme 85.
 Aplanétique (lentille) 110.
 Arc (lampe à) 182.
 Argenture galvanoplastique 181.
 Armature d'un aimant 185.
 Astatique (aiguille) 166, 188.
 Atome 28.
- Attraction de la terre 1.
 — des courants parallèles 187.
 Attractions électriques 128—131, 136, 137.
 — magnétiques 164—172.
 Axe principal 89.
 — secondaire 90.
- B**alance 3—5.
 Ballon de Héron 14, 15.
 Bichromate de potasse (pile au) 181.
 Bobine d'induction 191.
 Bouteille de Leyde 152—163.
 Bouton d'appel 185.
 Brouillard (formation du) 48.
 Bunsen (pile de) 180.
- C**apillarité 33, 34, 45.
 Carillon électrique 151, 161.
 Centre de gravité 2, 3.
 — optique d'une lentille 89.
 Chaleur 39—48, 122, 123, 126.
 — produite par les courants électriques 182, 183.
 Chambre noire ou obscure 59, 99, 109.
 Cheminée des lampes 46.
 Chromatique (aberration) 114.
 Circuit électrique 174.
 Cloche à plongeur 11.
 Cloches (vibrations des) 49, 50.
 Coërcitive (force) 169.
 Cohésion 27—32, 34, 35.
 Combustion 43—47.
 Commutateur 183.
 Condensateur électrique 153.
 Condensation de la vapeur d'eau 48.
 Conducteurs de la lumière 56.
 — de l'électricité dynamique 177, 178.
 — de l'électricité statique 131—136.
 — du magnétisme 170, 172.

Table alphabétique des matières.

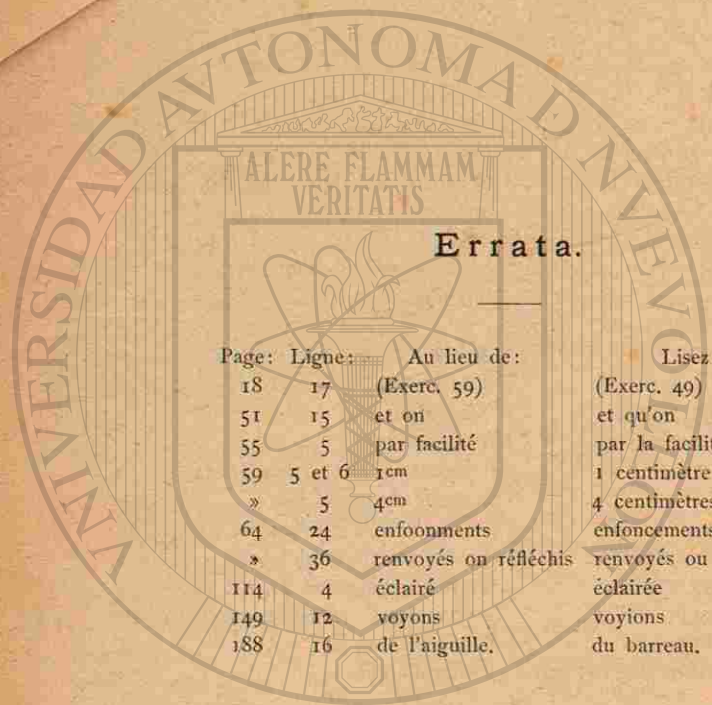
- Conducteurs du son 53, 54.
 Cône d'ombre 62.
 Constante (pile) 180.
 Cordes (vibrations des) 51.
 Couleurs complémentaires 120.
 — des corps 121.
 — spectrales 119, 120.
 Courant dans l'air échauffé 41, 42.
 — dans l'eau échauffée 43.
 — électrique: action sur l'aiguille aimantée
 — — effets calorifiques 182, 183. [175.
 — — — chimiques 178—181.
 — — — lumineux 181—183, 191.
 — — induit 189—193.
 — — (production du) 173, 174.
 — — (sens du) 174.
 — — terrestre 167.
 Cristallin de l'œil 100, 101.
- D**éclinaison magnétique 168.
 Décomposition des corps par les courants
 électriques 178, 181.
 Désaimantation 172.
 Dessiner un objet vu par réflexion 70, 71.
 Déviation de l'aiguille aimantée par les
 courants 187.
 — de la lumière par le prisme 84—86.
 — minimum 85.
 Diapason 55.
 Diathermanes (corps) 126.
 Dilatation des corps par la chaleur 39—42.
 Direction du courant électrique 174.
 Directrice (action) de la terre 167, 168.
 Dispersion de la lumière 111—121.
 Distance focale d'une lentille 89, 90, 93.
 Dorure galvanoplastique 181.
 Dynamo (machine) 191.
- E**au conducteur de l'électricité dynamique
 — — — statique 140, 160. [177.
 — décomposée par le courant électrique.
 Eau-forte 180. [178.
 Eau salée 5, 9, 10.
 Ecoulement constant 23.
 — par les tubes capillaires 55.
 Élasticité de l'air 10, 11, 13, 14.
 Électricité dissimulée 147.
 — libre 147.
- Électricité négative, positive 136, 137.
 — (théories sur l') 128.
 Electrification par frottement 128—131, 135.
 — par influence 140 et suiv.
 Electro-aimant 185.
 Electrolyse 179.
 Electro-magnétisme 183 et suiv.
 Electrophore 149—152, 158, 161, 162.
 Electroscope 139—150, 152, 158—160,
 162, 163.
 Equateur magnétique 168.
 Équilibre 1, 2.
 — des corps flottants 9.
 Escarpolette 37.
 Ether 57, 123, 126, 128.
 Etincelle électrique 129, 182, 191.
 — de rupture 182.
 Excitateur 155.
- F**aisceau de rayons lumineux 57.
 Ficelle ou fil, conducteur de l'électricité
 160, 177.
 Flamme (action électrique d'une) 163.
 — des hydrocarbures 44—47, 118.
 — (extinction par le souffle) 47.
 Flottants (corps) 9.
 Fluorescence 122.
 Fondamental (son) 52.
 Force coërcitive 169.
 — vive 20.
 Foyer d'une lentille 89.
 Frottement de l'air contre les corps 37.
 — de l'eau contre le verre 28, 35.
 — électrifie tous les corps 135.
 Fusion produite par un courant électrique
 [182.
- G**alvanomètre 188.
 Galvanoplastie 180, 181.
 Gaz d'éclairage, production 45. (R)
 — — réglage de la flamme 45.
 — — incandescents (spectre des) 118.
 GLACES (verre à) 71.
- H**armoniques (sons) 52.
 Héron (ballon de) 14, 15.
 Humidité de l'air 48, 128, 140.
 Hydrocarbures (flamme des) 44, 118.
 Hydrogène venant de l'électrolyse 179—181.

Table alphabétique des matières.

- Image à travers une fine ouverture 55-61.
— du soleil 61. 89. 100. 101.
Images produites par les lentilles 88-91.
— — — — — [96-100.
— — par les miroirs 64-73.
— — par réflexions multiples 71-73.
— — par réflexion totale 79-84.
— réelle, virtuelle 64. 108.
Incandescence des parcelles solides dans les flammes 46.
— par un courant électrique 183.
— (lampe à) 183.
Inclinaison magnétique 168.
Induction électrique 143. 189-191.
Influence électrique 140-149.
— magnétique 169-172.
Intensité de la lumière 62. 63.
— d'un courant électrique 175-176.
— du son 50.
Isochrones (oscillations) 36.
Isolants (corps) 132.
Kienmayer (amalgame de) 144.
Lampe, ascension de l'huile dans la mèche 33.
— manière d'allumer et d'éteindre 47.
— électrique à arc 182.
— — à incandescence 183.
Lanterne magique 109.
Lentille achromatique 114.
— aplanétique 110.
— biconvexe 88-100.
Lignes de force magnétiques 165.
Liquides (poussée des) 5-10. 25-28.
Lois de l'action entre les courants 187.
— de l'aimantation par influence 169.
— de la réflexion de la lumière 66. 67.
— de la réfraction de la lumière 74.
— de l'électrisation par influence 143.
— de l'équilibre des corps flottants 9.
— des attractions et répulsions électriques — — — — — magnétiques 166. 169. [138.
— des courants induits 189. 190.
Loupe 108.
Ludion 24-27. 41.
Lumière, sa nature 56.
— sa propagation 57.
Lumière, ses transformations 122. 126.
Lunette astronomique 110.
Magnétisme 164-173.
— rémanent 172.
Mèche des lampes 33. 45.
Méridien magnétique 168.
Métaux, bons conducteurs de l'électricité
Microscope composé 110. [177.
— simple 108.
— solaire 109.
Minimum de déviation 85.
Miroir horizontal 74.
Miroirs inclinés 69. 70.
— parallèles 69.
Mouvement du pendule 35.
Neutre (ligne) d'un aimant 165.
Nickelage galvanoplastique 181.
Niveau constant (appareil à) 23.
— d'eau 10.
Nord (pôle) d'un aimant 166.
Normale 67. 75.
Nuages 48.
Objectif 109. 110.
Oculaire 110.
Œil 100-102.
Ombre 62.
Ondes lumineuses 57.
— sonores 49. 53.
Oxygène nécessaire à la combustion 43. 44.
— venant de l'électrolyse 178. 179.
Pendule 35-39.
— à secondes 37.
— électrique 129-137.
Pénombre 62.
Pesée (double) 5.
Pétrole 33. 46. 179.
Phosphorescence 122.
Photomètre 62. 63.
Pile électrique 173 et suiv.
— — au bichromate 181.
— — constante 180.
— — secondaire 180.
Plaques de terre 173. 186.
Plongeur (cloche à) 11.

Table alphabétique des matières.

- Plongeur de Descartes, V. Ludion.
Pluie (formation de la) 48.
Poêle, manière de conduire le feu 45.
Pointes (pouvoir des) 161. 162.
Polarisation des piles 179. 180.
Pôles d'un aimant 166.
— d'une pile 174.
Poussée de l'air 41.
— des liquides 5-10. 25-28.
Pression de l'air 15-23.
Primaire (bobine) 191.
Prisme (déviation par le) 84-86.
— (dispersion par le) 111-121.
Radiations absorbées (leur transformation)
Rayon de lumière 57. [122. 126.
Recomposition de la lumière blanche 116.
Réflexion de la lumière 62 et suiv. [117.
— (lois de la) 66. 67.
— totale 79-84. 94.
Réflexions multiples 69. 71. 72.
Réfraction de la lumière 74 et suiv.
— (effets de la) 76-79.
— (lois de la) 75.
Réfrangibilité (aberration de) 114.
Regulateur à arc voltaïque 182.
Rémanent (magnétisme) 172.
Répulsions électriques 136. 138.
— magnétiques 166. 170-172.
Résistance des conducteurs 182. 183. 192.
Résonance 54. 55.
Rétine 100. 101.
Rhéophores 174.
Rosée (formation de la) 48.
Rupture (étincelle de) 182.
Sarbacane 14.
Secondaire (bobine) 191.
— (pile) 180.
Secondes (pendule à) 37.
Section principale d'une lentille 89.
Sens d'un courant électrique 173. 187.
Serpent (jouet) 42.
Siphon 18-22.
— à écoulement constant 23.
Sirène 52.
Soie, corps isolant 140. 144. 188.
Soleil (image du) 61. 89. 100. 101.
Soluble (plaque) dans les piles 174. 176
Son fondamental 52. [177.
— harmonique 52.
Sonnnette électrique 185.
Spectrale (analyse) 119.
Spectre d'absorption 122.
— des flammes 112. 118.
— magnétique 165.
— solaire 111.
Spectres sur la scène 70.
Sphéricité (aberration de) 110.
Sud (pôle) d'un aimant 166.
Suie 46.
Sulfate de cuivre 180. 181.
Sulfurique, v. Acide.
Taches d'acides 175. 182.
Tâte-vin 18.
Télégraphe 186.
Téléphone 192.
Température de combustion 44.
Tension électrique 178.
— superficielle des liquides 31. 32.
Tourniquet électrique 164.
Travail emmagasiné 11. 12. 18.
— transformé 52. 64. 122. 126. 191. 192.
Trompe à eau 22.
Tuyau d'orgue 55.
Vapeur d'eau contenue dans l'air 48.
Vapeurs incandescentes (spectre des) 118.
Variations de la déclinaison et de l'inclinaison 169.
Vent (formation du) 41. 42.
Vent électrique 161. 164.
Vibrations de l'air dans les tuyaux 52. 53.
— de l'éther 57. 123. 126.
— des cloches 49. 50.
— des cordes 51.
Vision 57. 100-104. 107.
— distincte (distance de la) 102.
Vive (force) 20.
Zinc dans les piles 173 et suiv.



Page:	Ligne:	Au lieu de:	Lisez:
18	17	(Exerc. 59)	(Exerc. 49)
51	15	et on	et qu'on
55	5	par facilité	par la facilité
59	5 et 6	1cm	1 centimètre carré
»	5	4cm	4 centimètres carrés
64	24	enfoonnements	enfoncements
*	36	renvoyés on réfléchis	renvoyés ou réfléchis
114	4	éclairé	éclairée
149	12	voyons	voyions
188	16	de l'aiguille.	du barreau.

U A N L

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN

DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

OTEC