

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.

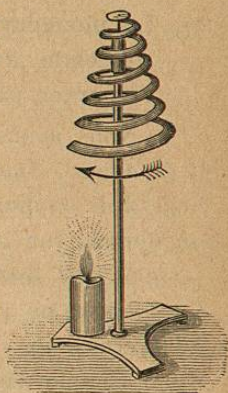
On verra la carte se soulever à ce coin. C'est l'effet du courant d'air produit par l'allumette enflammée. — L'air échauffé se dilate, il devient ainsi plus léger que l'air environnant et éprouve, de la part de ce dernier, une poussée analogue à celle du bois entouré d'eau. L'air chaud est soulevé par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

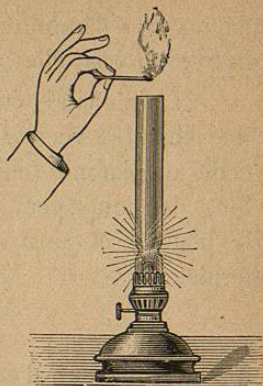
98. Au-dessus de la cheminée d'une lampe à pétrole allumée, tenez un mince bâton de bois sec, et observez ce qui se produit. (V. la fig.)

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 chauffés 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



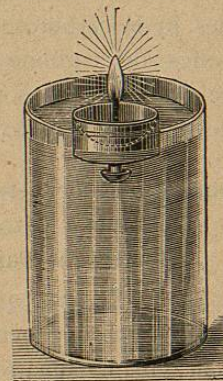
98.

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.

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

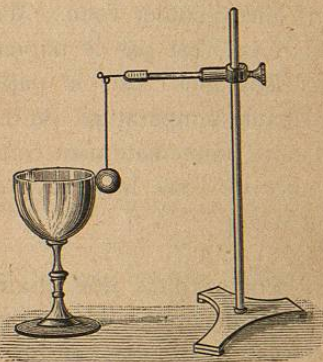
que les parcelles d'eau qui sont à la surface de la terre se transforment en un gaz que nous appelons *vapeur d'eau*. La vapeur est transparente comme l'air. On appelle souvent vapeur d'eau des nuages blancs, mais cette expression est inexacte. Les nuages se composent de petites vésicules ou bulles d'eau, 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