

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES
DES
SCIENCES NATURELLES
ET PHYSIQUES,

APPLICABLES AUX USAGES DE LA VIE :

COURS

PRESCRIT PAR L'ARTICLE 34 DE LA LOI ORGANIQUE DE L'INSTRUCTION PRIMAIRE
DU 23 SEPTEMBRE 1842, ET COMPRENANT LES PREMIERS ÉLÉMENTS
DE LA PHYSIQUE, DE LA CHIMIE, DE LA MINÉRALOGIE,
DE LA BOTANIQUE ET DE LA ZOOLOGIE;

divisé en 5 parties ;

A L'USAGE DES ÉCOLES PRIMAIRES DE BELGIQUE ;

Par **Charles MORREN**,

Docteur en sciences et en médecine, professeur ordinaire de la faculté
des sciences de l'université de Liège, membre des académies impériales,
royales ou pontificales de Bruxelles, Breslau, Dublin,
Florence, Madrid, Naples, Padoue,
Rome, Turin, etc., etc.

La Religion est l'amie des sciences dont Dieu
est le premier auteur.

*Instruction pastorale des Evêques de
Belgique, 1845.*

1^{re} Partie. **PHYSIQUE.**

Bruxelles,

LIBRAIRIE DE DEPREZ-PARENT, RUE DE LA VIOLETTE.

F. PARENT, ÉDITEUR.

1846.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES
DES
SCIENCES NATURELLES
ET PHYSIQUES.

Les formalités exigées par la loi pour assurer la propriété ont été remplies ; tous les exemplaires sont revêtus de la griffe de l'auteur.

A. Morren

Ayant examiné l'ouvrage intitulé : *Notions élémentaires des Sciences naturelles et physiques, 1^{re} partie: Physique*, par M. AUGUSTE MORREN, nous n'y avons rien trouvé de contraire à la foi ou aux bonnes mœurs. En conséquence, nous en approuvons l'impression.

Liège, le 19 septembre 1845.

H.-J. JACQUEMOTTE, vic. gén.

Imprimerie de F. Parent,
MONTAGNE DE SION, 17.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES
DES
SCIENCES NATURELLES
ET PHYSIQUES,

APPLICABLES AUX USAGES DE LA VIE :

COURS

PRESCRIT PAR L'ARTICLE 54 DE LA LOI ORGANIQUE DE L'INSTRUCTION PRIMAIRE
DU 23 SEPTEMBRE 1842, ET COMPRENANT LES PREMIERS ÉLÉMENTS
DE LA PHYSIQUE, DE LA CHIMIE, DE LA MINÉRALOGIE,
DE LA BOTANIQUE ET DE LA ZOOLOGIE;

divisé en 5 parties ;

A L'USAGE DES ÉCOLES PRIMAIRES DE BELGIQUE ;

1^{re} Partie. **PHYSIQUE,**

Par Auguste MORREN,

Docteur en sciences, doyen de la faculté des sciences de Rennes,
professeur de physique à cette faculté,
chevalier de la Légion d'honneur, etc.

La Religion est l'amie des sciences dont Dieu
est le premier auteur.

*Instruction pastorale des Evêques de
Belgique, 1845.*

Bruxelles,

LIBRAIRIE DE DEPREZ-PARENT, RUE DE LA VIOLETTE.

F. PARENT, ÉDITEUR.

1846.

A Monsieur Adolphe Quetelet,

SECRÉTAIRE PERPÉTUEL DE L'ACADÉMIE ROYALE DES SCIENCES ET BELLES-
LETTRES DE BRUXELLES, DIRECTEUR DE L'OBSERVATOIRE, OFFICIER
DE L'ORDRE LÉOPOLD, ETC.

Monsieur,

Une des grandes idées qui caractérisent les généreux travaux que vous n'avez cessé d'exécuter, depuis un quart de siècle, dans l'intérêt de l'intelligence et de la société humaines, est sans contredit l'union des sciences physiques et naturelles. Le gouvernement du Roi a compris votre pensée et la législature l'a sanctionnée en faisant enseigner les éléments de ces sciences jusque dans les écoles primaires. Nous ne pouvions donc pas choisir un meilleur et plus digne patronage que le vôtre, pour présenter aux enfants et aux instituteurs les petits *Traité*s de *Physique*, de *Chimie*, de *Minéralogie*, de *Botanique* et de *Zoologie* qui leur sont destinés. Nous serions heureux si, interprètes de vos convictions, nous pouvons populariser les principes que vos doctes leçons et vos publications n'ont cessé également de répandre : le respect pour l'Auteur de la nature, la connaissance exacte de ses œuvres, l'amour de la patrie et le bien-être de l'homme. C'est pour nos livres un grand avantage de voir votre nom à leur tête, car c'est recevoir publiquement une marque de l'estime et de l'amitié d'un des savants qui honore le plus son époque et son pays.

CH. MORREN et AUG. MORREN.

Liège, ce 28 septembre 1845.

NOTIONS ÉLÉMENTAIRES
DES
SCIENCES NATURELLES
ET PHYSIQUES.

COURS ÉLÉMENTAIRE DE PHYSIQUE.

PREMIÈRE LEÇON.

Les phénomènes naturels qui se produisent à chaque instant autour de nous excitent si vivement notre curiosité que nous nous sentons tous portés à donner nos soins à leur observation, à leur étude attentive. Aussi sommes-nous tous naturellement plus ou moins physiciens.

Si on consulte la signification du mot grec d'où la physique tire son origine (*φυσική*, nature), cette science embrasserait l'ensemble des connaissances qui ont la nature pour objet, c'est même ainsi qu'elle est encore définie en Angleterre, où pour cette raison elle prend le nom de *philosophie naturelle*; mais alors c'est une science sans limite dont on a détaché diverses sciences qui sont elles-mêmes bien vastes encore : telles sont, par exemple, l'astronomie, la mécanique, l'histoire naturelle divisée elle-même en quatre parties, la zoolo-

gie, la botanique, la minéralogie, la géologie, etc.

Il reste encore deux sciences fort distinctes cependant, mais qui ont entre elles une grande parenté : la physique proprement dite et la chimie. Toutes deux s'occupent de l'action mutuelle qu'exercent les uns sur les autres les différents corps de la nature. Mais pour qu'un phénomène soit du ressort de la chimie, il faut qu'il y ait changement de nature dans cette action mutuelle; c'est le contraire pour la physique. Ainsi du soufre frotté acquiert la propriété d'attirer à lui les corps légers : voilà un fait que la physique expliquera, qui lui appartient. Au contraire, chauffez du soufre, on le voit brûler avec une flamme bleue et disparaître en donnant naissance à un corps volatil d'une odeur pénétrante : voilà des faits qui appartiennent à la chimie. — Le mot *phénomène* a dans ces sciences une signification tout autre que dans le langage habituel où il exprime une chose extraordinaire, insolite ; car, en physique et en chimie, *phénomène* signifie *un mouvement, un changement quelconque survenu dans l'état d'un corps*. Une pierre lancée en l'air retombe sur la terre, une cloche frappée fait entendre un son : voilà des phénomènes. Presque toujours dans la nature les phénomènes physiques et chimiques s'accompagnent ou se suivent, ce qui rapproche encore ces deux sciences. La cause d'un phénomène est appelée *force* ; quand on a trouvé une relation entre un phénomène et la cause qu'il produit, on a expliqué le phénomène.

On appelle *matière* ou *corps* tout ce qui est étendu et impénétrable, et pour nous l'étendue et l'impénétrabilité seront non pas des propriétés mais la définition de la matière.

La matière se présente à nous sous trois formes : so-

lide, liquide et gazeuse. Quelques explications à ce sujet sont indispensables. Prenons un morceau de métal, un morceau de bois : voilà des corps solides ; mais choisissons pour exemple un corps qui puisse affecter les trois formes, par exemple l'eau. De l'eau congelée forme, nous le savons, un corps solide ; chauffons-le, ce corps deviendra liquide ; chauffons-le davantage, il entrera en ébullition et passera tout entier, si on le chauffe suffisamment, à l'état de vapeur, à l'état gazeux, à l'état aéri-forme ; ces trois expressions signifient la même chose. Nous pouvons observer en passant que ces trois états différents de la matière indiquent que deux forces particulières sont en présence dans tous les corps ; il existe entre les parties infiniment petites qui les composent, et que nous appellerons *molécules*, une force attractive et une force répulsive. Lorsque la première est la plus forte, le corps prend l'état solide ; lorsqu'elles sont l'une et l'autre à peu près également puissantes, le corps est à l'état liquide, et il passe à l'état gazeux lorsque la dernière l'emporte. La matière à l'état liquide et à l'état gazeux, ou, ce que nous appellerons les *liquides* et les *gaz*, sont appelés aussi *fluides*, du mot latin *fluere*, qui veut dire *couler*, parce que leurs molécules peuvent librement couler les unes sur les autres.

Les liquides se reconnaissent à ce que, placés dans un vase, ils se moulent parfaitement sur lui et possèdent une surface plane et horizontale. Les gaz se moulent aussi sur les vases dans lesquels on les renferme, mais en vertu de la force répulsive qui sollicite leurs molécules, ils se répandent dans la totalité de la capacité où on les renferme, jouissant d'une faculté expansive indéfinie.

La matière possède donc de toute nécessité l'étendue et l'im-pénétrabilité qui la définissent. Pour les solides, c'est

chose évidente : ils ont tous une longueur, une largeur et une épaisseur ; ces dimensions déterminent leur *volume*. Ils sont *impénétrables*, c'est-à-dire que deux corps solides ne peuvent occuper le même lieu de l'espace *à la fois*.

L'impénétrabilité est indispensable pour caractériser la matière. Ainsi l'ombre a de l'étendue, mais n'étant pas impénétrable, elle n'est pas matière.

Les liquides possèdent comme les solides l'étendue et l'impénétrabilité ; les gaz la présentent aussi en vertu de la *mobilité des molécules des fluides*. Ces corps peuvent se mélanger d'une manière plus ou moins parfaite, mais nullement se pénétrer. Il en est de même des corps solides qui peuvent se dissoudre dans les liquides ; ils s'interposent entre leurs molécules, mais ils ne les pénètrent pas. Un verre plein d'air renversé sur l'eau et enfoncé dans ce liquide prouve parfaitement l'impénétrabilité de l'air ; la cloche à plongeur en est la preuve. Les gaz sont compressibles mais impénétrables ; la grande compressibilité des gaz est le caractère qui les distingue le plus des liquides qui sont très-peu compressibles.

Les propriétés des corps sont de deux sortes : 1^o *particulières*, c'est-à-dire n'appartenant qu'à quelques-uns d'entre eux, et variables d'un corps à l'autre, comme l'odeur, la couleur, etc., ou 2^o *générales*, c'est-à-dire appartenant à tous les corps. Parmi ces dernières nous citerons la *mobilité*, la *divisibilité*, la *porosité*, l'*inertie*, l'*attraction* et la *pesanteur*.

La *mobilité* est la propriété que possèdent les corps de pouvoir être transportés d'un lieu à un autre.

La *divisibilité* est la faculté dont les corps sont doués de pouvoir être partagés en portions distinctes les unes des autres.

L'esprit peut concevoir cette division de la matière possible jusqu'à l'infini, mais nos moyens mécaniques ne nous permettent pas d'aller au delà de certaines limites, déjà fort remarquables. Ainsi un centigramme de carmin peut colorer en rouge 100 litres d'eau qui font 100,000 grammes, chaque gramme de cette eau colorée peut lui-même être facilement divisé en mille parties, de sorte que le gramme de carmin primitivement employé à la coloration est divisible en 100,000 fois mille parties ou en cent millions de parties.

L'or est peut être plus divisible encore. Avec une once de ce métal on dore, sur les deux faces, un fil d'argent aplati de cent onze lieues de long, et de un quart de millimètre de large.

On est parvenu à déposer sur les images fournies par le daguerréotype une pellicule d'or tellement mince, qu'elle est de la plus parfaite transparence, bien qu'elle donne une couleur vive de jaune d'or à la plaque daguerrienne.

Les odeurs sont encore une preuve plus frappante de la divisibilité extrême de la matière. Ainsi une fleur, un peu de chair corrompue, peuvent attirer même de très-loin les insectes et les oiseaux. Quelle doit être la prodigieuse quantité et par suite la petitesse de ces corpuscules odorants émis ainsi dans toutes directions dans l'atmosphère !

La *porosité* est produite dans les corps par les vides ou intervalles appelés *pores*, que laissent entre elles les molécules des corps. Tous sont poreux.

Plus un corps contient de ces espaces vides, moins il contient de matière sous un volume déterminé. Deux boules de fer et de marbre de la même grosseur, ne sont pas également lourdes. Celle de fer pèse plus

que celle de marbre, parce qu'elle est moins poreuse.

On appelle *masse* d'un corps la quantité de matière qu'il renferme, et *densité*, le rapport de la masse au volume.

Prenons, par exemple, un centimètre cube d'eau pure, on verra qu'il pèse un gramme, et si nous nous procurons des centimètres cubes d'autres substances, on verra que

Le centimètre cube de fer pèse.....	gr.	7,20
Id.	de cuivre.....	8,78
Id.	d'or.....	19,25
Id.	de platine.....	22,66

Un centimètre cube d'air ne pèserait que la 770^e partie d'un gramme. D'après cela on reconnaît que la densité de l'eau étant prise pour l'unité,

Celle du fer est de.....	gr.	7,20
Id. du cuivre.....		8,78
Id. de l'or.....		19,25
Id. du platine.....		22,66
Celle de l'air.....		$\frac{1}{770}$

Les corps les plus denses sont évidemment les moins poreux, mais ils le sont, car le platine, le plus dense de tous, est comme tous les corps soumis à cette loi, que, lorsqu'il se refroidit, il doit diminuer de volume, ce qui ne peut avoir lieu qu'autant que ses molécules se rapprochent, et elles ne pourraient se rapprocher s'il n'existait pas de vides, de pores entre elles.

Nous avons dit plus haut que la densité du platine était de 22,66. Mais il faut pour que ce métal possède cette densité, la plus grande connue, qu'il ait été fortement comprimé, fortement écroui en passant entre les

deux cylindres très-rapprochés d'un instrument appelé laminoir; car, sans cela, le platine simplement purifié n'a pour densité que 19,50. Cette augmentation de densité par la compression est elle-même une preuve évidente de l'existence des pores ou vides que l'on diminue par l'écroutissage.

L'inertie est la propriété que possède la matière de persévérer, soit dans le repos, soit dans le mouvement, lorsqu'une force quelconque l'y a mise. Par eux-mêmes les corps sont incapables de changer l'état de mouvement ou de repos où ils se trouvent. Une pierre placée sur une table restera éternellement à sa place si aucune force ne vient la solliciter.

L'*attraction* est cette propriété qu'ont tous les corps de la nature de s'attirer mutuellement. Lorsqu'elle s'exerce à de grandes distances, on l'appelle *attraction planétaire* ou *gravitation*. Telle est celle qui existe entre le soleil et les planètes. S'ils obéissaient à cette force, les différents corps célestes se rapprocheraient et tomberaient les uns sur les autres, mais une impulsion qui leur a été donnée par le Créateur fait tourner les planètes autour du soleil, et la force attractive est combattue par cette force qui leur fait fuir le centre attractif (1).

(1) Il se passe dans le maniement de la fronde quelque chose d'analogue. La pierre placée dans la fronde reçoit, par la manière dont la main l'agite, une impulsion qui l'oblige à circuler autour de la main qui retient la corde de la fronde. Cette corde, très-vivement tendue dans ce mouvement, prouve que la pierre, en vertu de l'impulsion qu'elle a reçue, cherche à fuir le centre de la courbe qu'elle décrit, ce qui est parfaitement démontré lorsque la main lâche la corde et que la pierre part. Telle est la terre, telles sont les planètes circulant autour du soleil, maintenues par la force d'attraction et cherchant à fuir en vertu de l'impulsion primitive. Ces deux forces opposées se font un perpétuel et merveilleux équilibre.

Lorsque cette *attraction* s'exerce à des distances très-petites, elle s'appelle *attraction moléculaire*, *affinité* ou *cohésion*. Ainsi les gouttes de rosée qui sont sur les feuilles des plantes, prennent une forme sphérique, en vertu de l'attraction qui s'exerce entre leurs molécules. On a fait application de cette propriété dans la fabrication du plomb de chasse. Après avoir fait fondre du plomb, on le fait tomber sur un crible pour le diviser ; il se forme en petites boules, et la grande hauteur d'où il tombe suffit pour qu'il ait le temps de se refroidir et de se solidifier en arrivant dans un réservoir d'eau qui achève la solidification par un refroidissement complet.

La *pesanteur* est aussi une propriété générale de la matière. On entend par là la propriété qu'ont tous les corps d'être attirés par la terre.

En effet, soulevez un corps d'une nature quelconque, abandonnez-le à lui-même : en tombant il obéira à cette force qui le sollicite vers la terre.

Un corps attaché à un fil qui lui-même est fixé à un point immobile, tel qu'un clou placé dans une muraille, ne tombe pas, puisqu'il est soutenu par le fil que le corps fait rester tendu. La direction de ce fil est la direction de la pesanteur : c'est ce qu'on appelle la verticale.

Les liquides et les gaz sont aussi soumis à cette force.

C'est elle qui, sollicitant toutes les particules d'eau qui sont sur la terre, donne à l'Océan et à toutes les mers la forme sphérique qu'ils présentent. Cette forme n'est pas exactement sphérique, car la terre tourne sur son axe ; par conséquent les parties qui sont à l'équateur, tournent plus vite que celles qui sont aux pôles, et comme la force centrifuge croît avec la vitesse, il s'ensuit que la matière qui est à l'équateur éprouve plus que celle

qui est aux pôles, une tendance à fuir le centre du globe.

Le fil tendu dont nous venons de parler constitue ce qu'on appelle le fil à plomb. Il est toujours perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles. Cet instrument est précieux par la facilité avec laquelle il donne la verticale.

On appelle pendule une boule pesante suspendue à l'extrémité d'un fil fixé lui-même à l'autre extrémité. Ses propriétés fondamentales sont : 1° de marquer la direction verticale ; 2° de faire des oscillations planes quand on l'écarte de la verticale et qu'on l'abandonne à lui-même.

On appelle *écart* l'angle dont on l'a primitivement dévié de la verticale ; *oscillation*, le mouvement qu'il exécute en allant d'un côté à l'autre de sa course.

On divise celle-ci en demi-oscillation descendante et demi-oscillation ascendante. La durée d'une oscillation est le temps que le pendule met à parcourir son arc.

Lorsque les oscillations sont très-petites, elles sont ce qu'on appelle isochrones, c'est-à-dire qu'elles s'exécutent toutes pendant la même durée de temps.

Cette durée est toujours la même, quels que soient le poids et la nature de la boule, ce qui prouve que la pesanteur agit également sur tous les corps de substance différente. Cette durée ne dépend exactement que de la longueur du pendule : plus cette longueur augmente, plus la durée de l'oscillation augmente elle-même. Des pendules qui auraient 1 mètre, 4 mètres, 9 mètres, 16 mètres de longueur, exécuteraient des oscillations qui croitraient comme les nombres 1, 2, 3, 4. La plus belle application qu'on ait faite du pendule est celle au moyen de laquelle on règle la marche des horloges. Un pendule est mis en mouvement devant une roue dentée qui, par un mécanisme particulier, tourne d'une dent à

chacune des oscillations du pendule. Si le mouvement du pendule est régulier, celui de la roue dentée le sera pareillement, et quand on possède une roue se mouvant avec une régularité parfaite, il est facile de communiquer le mouvement à d'autres roues, et par suite aux aiguilles d'un cadran.

A la longue le mouvement du pendule finit par s'arrêter : d'abord à cause de la résistance que l'air oppose au mouvement de la boule, ensuite à cause des frottements que la tige, surtout si elle est en métal, éprouve au point d'appui. Aussi pour empêcher le pendule de s'arrêter dans les horloges, a-t-on recours à deux moyens : 1° on donne à la boule la forme lenticulaire dont le tranchant fendant l'air présente moins de résistance au mouvement ; 2° un ressort presse continuellement sur la roue dentée qui, alors pressant sur le pendule, lui donne à chaque oscillation une petite impulsion nouvelle.

Dans le voisinage des montagnes, le fil à plomb est légèrement dévié par l'attraction que la montagne exerce.

Lorsqu'un corps est placé sur un obstacle qui l'empêche de tomber, il exerce sur lui une pression qu'on appelle poids ; il faut donc bien distinguer entre la pesanteur et le poids. La pesanteur est la force ou la cause, et le poids est l'effet.

Lorsqu'un corps tombe librement, la pesanteur lui fait parcourir des espaces qui croissent sans cesse, et il faut considérer la pesanteur comme une cause qui, sollicitant sans cesse le mobile, lui donne à chaque instant des impulsions qui s'ajoutent à celles précédemment données. La vitesse du mobile croît avec le temps et lui est proportionnelle : ainsi au bout d'un temps double la vitesse devient double, triple après un temps triple, etc.

L'espace parcouru par le mobile croît comme le carré du temps.

Laissez tomber un corps pendant une seconde, il parcourra un espace de $4^m,9044$, et comme les espaces parcourus croissent comme le carré des temps employés à les parcourir,

au bout des temps	1''	2''	3''	4'', etc.,
les espaces croissent comme	1	4	9	16, etc.

Il s'ensuit que si pendant la première seconde de leur chute les corps parcourent $4^m,9044$, un corps qui tombe pendant 2 secondes, parcourra 4 fois $4^m,9044$, celui qui tombe pendant 3 secondes parcourra 9 fois $4^m,9044$. Généralement, lorsqu'un corps tombe, comptez combien de secondes il met pour atteindre le point d'arrivée; faites le carré de ce nombre et multipliez-le par $4^m,9044$, vous aurez l'espace parcouru. On peut ainsi facilement mesurer d'une manière approximative la profondeur d'un puits dans lequel on laisse tomber une pierre, la hauteur à laquelle s'élève une balle de fusil tiré verticalement, en ayant soin de se placer auprès d'une nappe d'eau dans laquelle la balle retombera. Il faudra compter combien de secondes s'écoulent entre le moment de la détonation et le moment du retour de la balle qui tombe dans l'eau; et comme elle met autant de temps à monter qu'à descendre, la moitié du nombre de secondes obtenu, sera le temps de la chute verticale.

Lorsqu'on n'a pas de montre à secondes, mais une montre ordinaire, on peut se servir du mouvement régulier que présentent les pulsations du pouls et s'en servir comme d'un compteur à secondes; mais il faudra ensuite chercher combien il y a de pulsations du pouls

pendant une minute, afin d'en tenir compte dans le petit calcul précédent. Ainsi, par exemple, si le pouls battait 70 pulsations pendant une minute, qui représente 60 secondes, il faudrait diminuer le nombre de pulsations obtenu dans l'expérience dans le rapport de 6 à 7, afin d'avoir exactement le nombre qu'aurait indiqué le compte à secondes.

Tous les corps étant sollicités par cette même force auraient en tombant la même vitesse, s'ils ne devaient pas dans leur chute déplacer l'air au milieu duquel ils se meuvent.

Une bille de plomb tombe plus vite qu'une bille de liège, parce que toutes deux sous le même volume n'ont pas le même nombre de molécules. Or la pesanteur sollicitant chacune des molécules des deux corps, qui ont à vaincre de la part de l'air la même résistance, il est évident que la bille de plomb aura une plus grande énergie pour vaincre cette résistance. Dans un tube vide d'air (appelé tube de Galilée) tous les corps, par exemple le *plomb*, le *liège*, le *papier*, la *plume*, tombent avec la même vitesse. Pour les corps de peu de densité, la résistance de l'air est telle qu'ils ne peuvent tomber qu'avec une assez grande lenteur.

Si l'on prend une tige, soit métallique, soit d'une substance quelconque, et partant d'un égal diamètre, on verra qu'en la plaçant par son milieu sur le doigt, elle sera, si elle n'est pas flexible, parfaitement soutenue, tous les points pesants qui sont des deux côtés se faisant parfaitement équilibre, et le doigt aura à supporter un poids précisément égal à celui de la tige ou baguette. Ce point qu'il faut soutenir pour que la baguette ne tombe pas, ne serait plus au milieu si elle était de grosseur inégale aux deux bouts ; le point à soutenir se rap-

procherait du bout le plus gros. On peut ainsi, dans ces deux expériences, regarder comme concentrées en un seul point toutes les actions imprimées par la pesanteur. Quelle que soit la forme des corps, il y a toujours un point unique qui, soutenu, permet de voir le corps rester immobile lui-même, et combattre ainsi l'action attractive de la pesanteur. Les physiciens appellent ce point *centre de gravité*; c'est le point où est appliquée la résultante de toutes les actions que la pesanteur imprime à chaque partie du corps.

QUESTIONNAIRE.

Qu'est-ce que la physique, considérée d'une manière générale? — Comment sépare-t-on la physique de la chimie? — Qu'est-ce qu'un phénomène? — Qu'est-ce qu'une force? — Qu'appelle-t-on matière? — Quelles formes différentes affecte-t-elle? — Quelles forces la sollicitent? — Distinction des solides, des liquides et des gaz. — *Propriétés de la matière.* — Quelles sont celles qui lui sont essentielles, et celles qui sont générales ou particulières? — Qu'est-ce que la mobilité, la divisibilité, la porosité, l'inertie, l'attraction, la pesanteur? — Donnez des détails sur chacune de ces forces. — Détails sur la densité, — sur l'attraction. — Courbe décrite par les corps célestes autour de leur centre d'attraction. — Attraction moléculaire, — pesanteur, — *forme du globe.* — Qu'est-ce que la verticale? — Qu'est-ce que le pendule? — Qu'est-ce que l'isochronisme de ses oscillations? — Application aux horloges. — Lois de la chute des corps. — Qu'entend-on par centre de gravité?



DEUXIÈME LEÇON.

Avant de terminer ce que nous avons à dire sur la pesanteur, énonçons une loi dont la découverte est due au célèbre Archimède ; aussi l'appelle-t-on *principe d'Archimède*.

Lorsqu'un corps est plongé dans un liquide, il exige moins d'effort pour être soutenu, parce qu'il est poussé par le liquide avec une force égale au poids du liquide qu'il déplace.

Si le corps pèse moins que le volume d'eau déplacé, il sera soutenu et surnagera ; si au contraire il pèse plus, il descendra dans l'eau et ira presser le fond avec une force égale seulement à la différence entre le poids du corps et le poids de l'eau déplacé. Un vaisseau soutenu sur l'eau déplace, au moyen de sa carène, un volume d'eau précisément égal à son propre poids ; aussi, plus le vaisseau est chargé, plus il s'enfonce dans l'eau. Cette force que le liquide exerce contre le corps s'appelle la *poussée du liquide*. Plus le liquide est pesant, plus la poussée qu'il exerce est considérable. Ainsi un nageur est plus fortement supporté par l'eau de mer que par l'eau de rivière.

Ce que nous venons de dire pour les liquides s'applique aussi aux gaz. Ainsi, un corps placé dans l'air perd de son poids un poids égal à celui des volumes d'air qu'il déplace ; dans un lieu vide d'air, il pèserait davantage.

Voici à quelle occasion cette loi fut découverte.

Hiéron, roi de Syracuse, avait donné à un orfèvre une certaine quantité d'or pour en faire une couronne. Celle-ci, terminée, fut remise au roi, qui craignit que l'ouvrier n'eût mêlé du cuivre à l'or qu'il avait reçu. Il chargea Archimède, qui était à la fois aussi grand géomètre que physicien illustre, de découvrir la fraude, sans toutefois fondre ou même altérer la moindre partie de la couronne dont il fallait respecter le travail. Or, en réfléchissant aux densités des corps, Archimède remarqua que l'or plongé dans l'eau perd à peu près $\frac{1}{19}$ de son poids, le cuivre au contraire perd bien davantage, puisque la perte est de $\frac{1}{8}$; donc, en pesant la couronne dans l'air et en la pesant suspendue dans l'eau, la différence des poids devait lui dire avec exactitude non-seulement si l'or avait été altéré, mais même quelle quantité de cuivre avait été mise dans la couronne. Ce problème lui avait semblé difficile, si on en juge par la joie que sa solution lui causa. Car c'est au bain, plongé lui-même dans l'eau, que lui vint l'idée heureuse, et, sitôt qu'elle fut trouvée, il se sauva immédiatement chez lui, courant sans savoir qu'il était nu, dans les rues de Syracuse, en criant : Je l'ai trouvé ! je l'ai trouvé !...

Bien que tous les corps soient pesants, nous en voyons cependant qui ne semblent pas obéir à l'action attractive du globe, tels que la fumée, les nuages, qui s'élèvent et se soutiennent en l'air. Cependant rien de plus simple que cette ascension, qui a lieu en vertu même des lois de la pesanteur.

Si on tient avec les doigts au fond de l'eau un morceau de liège, on reconnaît que la poussée de l'eau dont le liège occupe la place, tendrait à faire remonter le liège à la surface du liquide, en vertu du principe d'Archi-

mède, dont nous avons parlé. Or, si la fumée s'élève dans l'air, son ascension s'explique d'une manière tout à fait semblable. La fumée est toujours mêlée à de l'air chaud, qui l'entraîne ; car celui-ci étant plus léger que l'air plus froid que lui, doit, en vertu même du principe d'Archimède, s'élever dans l'air jusqu'à ce qu'il soit refroidi autant que les couches d'air où il arrive, et la fumée alors abandonnée par lui, retombe sur le sol. En hiver, par les temps de neige, allez à quelque distance et sous le vent des grandes villes, goûtez la neige, elle aura le goût de la fumée, qui, refroidie, a retombé sur le sol.

D'après ce qui précède on voit que l'air est pesant, mais on le prouve d'une manière directe en prenant un ballon de verre, qu'on pèse d'abord vide d'air ; si on le pèse de nouveau après que l'air y a été admis, on trouve que le premier poids est moins considérable que le second et on reconnaît ainsi qu'un litre d'air pèse 1 gr. 299. L'air n'est point un corps simple, il est formé d'abord de 21 parties d'oxygène et d'à peu près 79 d'azote ; de plus, il contient de l'humidité et une très-petite quantité d'acide carbonique. Nous faisons abstraction des exhalaisons accidentelles qui peuvent s'y rencontrer.

De même que les corps qui sont dans la mer supportent au-dessus d'eux le poids du liquide qui les couvre, de même tous les êtres qui sont à la surface du sol supportent le poids de l'atmosphère, qui est au-dessus d'eux. Pour avoir des idées nettes à ce sujet, invoquons un principe important, celui de l'équilibre des liquides dans les vases communiquant. Si on prend un tube recourbé en forme d'U, et que dans chacune des deux branches on mette un liquide différent : pour fixer nos idées, mettons de l'eau d'un côté et du mer-

cure de l'autre; comme le mercure, à volume égal, pèse 13 1/2 fois plus que l'eau, ou, pour parler un langage qui nous est permis, a une densité 13 1/2 fois plus considérable que l'eau, il faudra, pour que l'équilibre ait lieu, que la colonne de mercure soit 13 1/2 fois plus courte que celle de l'eau. Avec d'autres liquides les hauteurs seraient différentes. Cette loi s'énonce ainsi d'une manière générale : lorsque deux liquides sont placés dans deux vases qui se communiquent, les hauteurs des liquides dans chacun des vases seront en raison inverse des densités. Si les deux vases renferment le même liquide, les densités étant les mêmes, les hauteurs seront égales. C'est ce qui a lieu dans l'instrument appelé *niveau d'eau*; si on mène une ligne passant par les deux niveaux, on obtient une ligne horizontale.

Si nous pouvions, d'un côté du tube, mettre de l'eau et de l'autre côté de l'air, la colonne d'air serait 770 fois plus longue que celle de l'eau, puisque la densité de l'air est 770 fois moindre que celle de l'eau.

Plongeons un tube par une de ses extrémités dans un vase plein d'eau, le liquide, en vertu de ce que nous venons de dire, sera au même niveau dans le tube et dans le vase, de plus, il faut remarquer que la pression atmosphérique s'exerce dans l'intérieur du tube et au dehors sur la surface de l'eau. Mais il n'en sera plus de même si nous aspirons avec la bouche l'air qui est dans le tube; on verra aussitôt l'eau s'élever d'autant plus que la succion sera plus parfaite. Si le tube était assez long et que l'absence d'air dans le tube fût complète, l'eau s'y élèverait jusqu'à 32 pieds soutenue par le poids de l'air qui presse sur l'eau en dehors du tube. Si, au lieu d'eau, on emploie du mercure, la hauteur de la

colonne soulevée sera moindre, et égale à peu près à 0^m,76. Je dis à peu près, car la pression de l'air est variable dans certaines limites. Ce tube, ainsi rempli de mercure soutenu par la pression de l'air, est ce qu'on appelle un *baromètre* (mot qui signifie *mesure de la pression*). Cet instrument repose, comme on le voit, sur le principe de l'équilibre des fluides dans les vases communiquants.

Pour construire avec soin un baromètre, on prend un tube d'environ 0^m,80 centimètres de longueur et d'à peu près un centimètre de diamètre; on le remplit de mercure purifié, on chauffe le tube et le mercure avec des précautions convenables. On chauffe le mercure afin de chasser par ce moyen les bulles d'air et d'humidité qui pourraient rester encore, soit dans le mercure, soit adhérentes au tube; puis, quand il est refroidi, on le bouche avec le doigt et on le renverse dans une petite cuvette pleine de mercure, en ayant soin qu'aucune bulle d'air n'ait pu y rentrer. On verra le mercure se soutenir dans l'intérieur du tube à peu près à la hauteur de 0^m,76, le tube étant vertical, et faire ainsi équilibre à la pression que l'air atmosphérique exerce en dehors du tube sur le mercure de la cuvette.

Si le poids de l'atmosphère augmente ou diminue, on verra augmenter ou diminuer la longueur de la colonne de mercure, et pour mesurer avec précision ces variations, on place derrière le tube une échelle divisée soit en pouces, soit en centimètres, en ayant soin de placer le zéro au point de départ des divisions sur la surface du mercure dans la cuvette.

A l'époque de la découverte de cet instrument par le physicien italien Torricelli, vers le milieu du xvii^e siècle, Pascal fit en France un baromètre avec de l'eau qu'il

avait légèrement colorée avec du vin, et il reconnut que la colonne d'eau qui faisait équilibre à la pression atmosphérique, avait environ 52 pieds, c'est-à-dire qu'elle était $13 \frac{1}{2}$ fois plus considérable que la colonne mercurielle. Le même physicien monta sur la montagne du Puy-de-Dôme, un baromètre à la main, et il reconnut ainsi par la descente du mercure dans l'instrument qu'à mesure qu'on s'élevait dans l'atmosphère, le poids de celle-ci devenait de moins en moins considérable.

Cette expérience de Pascal nous montre que le baromètre peut être employé à la mesure des hauteurs, puisqu'à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère la hauteur de la colonne mercurielle décroît. Sur les bords de la mer elle est en moyenne d'environ $0^m,76$, elle augmente de longueur si on descend dans les mines.

Dès l'origine de la découverte du baromètre, on reconnut que par un beau temps la colonne mercurielle devient plus longue, elle se raccourcit au contraire quand le temps passe à la pluie. Bien que ces faits soient loin d'être sans exception, il suffira de dire pour le moment que l'air humide est dans l'atmosphère plus léger que l'air sec. Ces faits suffiront pour expliquer l'habitude qu'on a de placer sur le baromètre des indications, telles que *beau fixe, beau temps, pluie, tempête*, etc. Les prédictions que cet instrument peut faire sont bien souvent fautives, et on le concevra avec facilité quand on saura d'abord que la pression barométrique peut varier beaucoup, sans que pour cela le ciel cesse d'être serein. Ainsi, un baromètre construit pour la plaine, ou sur le bord de la mer, donnerait des indications sur l'état du ciel toujours fautives si on le portait dans un pays situé sur une montagne. Ce qu'il y aurait de mieux à faire pour demander à cet instrument sous ces rap-

ports tout ce qu'il peut faire connaître, ce serait d'observer dans un lieu le baromètre avec soin, pendant un temps très-long, et de faire un relevé exact du nombre de jours de beau temps et de jours de pluie, qui correspondent à une hauteur donnée; par exemple, pour fixer nos idées, on chercherait, pour la hauteur de 0^m,76, combien il y a eu de jours de pluie et de beau temps: si l'on trouvait qu'il y a eu 700 jours de pluie et 100 jours de beau temps (ou 7 jours de mauvais pour un de beau), on écrirait sur l'échelle barométrique les nombres 7 et 1 à droite et à gauche de la hauteur 76, et quand le mercure arriverait à cette hauteur on dirait: Il y a 7 chances pour le mauvais contre une chance pour le beau. Mais observons que ces indications ne conviendraient qu'au lieu seul où les observations ont été faites.

On appelle baromètre à siphon celui dont la partie inférieure et ouverte du tube est recourbée; de cette façon on peut se passer de cuvette, mais la surface du mercure dans la partie recourbée du tube est en mouvement elle-même, comme le niveau supérieur du mercure, et le zéro de l'échelle doit être variable, puisque la surface du mercure sur laquelle s'exerce la pression atmosphérique est variable. En effet, la pression atmosphérique s'exerce sur la branche qui est la seule ouverte. On conçoit que si la colonne barométrique descend dans la longue branche, elle doit s'élever dans la petite, et réciproquement. On se sert de ce mouvement du mercure dans la courte branche du baromètre à siphon pour faire ce qu'on appelle le baromètre à cadran. Un poids léger en verre est placé sur le mercure dans la branche ouverte du baromètre à siphon; à ce poids est attaché un petit fil qui s'enroule sur la gorge

d'une poulie très-mobile et porte à l'autre extrémité un petit contre-poids plus léger que le poids de verre. Si le mercure monte ou descend, le poids en verre placé au-dessus de lui montera et descendra lui-même, et le fil auquel il est suspendu fera tourner dans un sens ou dans l'autre la poulie sur laquelle il s'enroule. La poulie porte une aiguille qui marchera ainsi dans un sens ou dans l'autre sur un cadran divisé, et indiquera par ses mouvements les variations de la pression atmosphérique.

Il faut considérer le baromètre comme une balance exacte et toujours attentive, qui indique les variations du poids de la colonne atmosphérique.

L'air pèse à la surface de la terre exactement comme le ferait une couche d'eau qui aurait 32 pieds de hauteur, ou une couche de mercure qui aurait 76 centimètres.

Sur un centimètre de base une colonne de mercure, haute de 76 centimètres, pèserait 76 fois 15 gr. 59, ou 1 kilog. 53. Un mètre carré supporterait 1052 $\frac{1}{2}$ kilog. Or, la surface de notre corps étant à peu près 1 mètre carré, nous supportons sans cesse sur notre corps la pression précédente. Quelquefois dans un espace de temps assez court, le baromètre descend de 78 à 72 centimètres, ce qui produit un allègement de 81 $\frac{1}{2}$ kilog. sur notre corps. Ces variations de pression doivent donner lieu à une foule de faits physiologiques, non encore bien observés, et qui sont surtout sensibles dans les ascensions de montagne.

L'air, comme tous les fluides, jouit de la propriété de transmettre dans tous les sens la pression qui s'exerce en un de ses points. On conçoit fort bien pourquoi, lorsque nous rentrons dans nos maisons, dans nos appartements, qui sont toujours en communication avec

l'atmosphère, la pression que nous éprouvons au dehors nous suit sans cesse, car si dans nos appartements l'air était plus raréfié qu'au dehors, en vertu de la pression plus forte qu'il supporte, l'air extérieur entrerait aussitôt.

Un baromètre doit donc marquer la même pression dans l'intérieur d'un appartement et au dehors.

Cette pression énorme qui nous entoure est supportée avec facilité par tous les êtres organisés, parce qu'ils sont pressés à l'intérieur comme à l'extérieur, et sous ce rapport notre organisation est si merveilleusement flexible que l'homme peut porter facilement une pression triple et quadruple de la pression atmosphérique. Il a été fait à ce sujet des expériences bien curieuses, par M. Triger, ingénieur, dirigeant une exploitation de houille sur les bords de la Loire, près d'Angers.

La veine de houille qu'il désirait atteindre était placée sous le lit et les sables de la Loire. Pour y construire un puits, M. Triger s'est servi d'immenses cylindres en tôle fermés par la partie supérieure, renversés sur l'eau, et dans lesquels il faisait arriver de l'air comprimé qui chassait l'eau de leur intérieur. Par des moyens ingénieux, le sable était enlevé de l'intérieur des cylindres qui pouvaient ainsi atteindre le roc vif; puis des ouvriers travaillant dans l'intérieur, établissaient sur cette base solide un cuvelage parfaitement exécuté qu'ils élevaient jusqu'au-dessus du niveau de la Loire. La mine devenait alors accessible à l'air libre. Dans ces travaux préparatoires, la seule précaution à prendre pour les ouvriers était de ne les exposer que lentement à cette augmentation considérable de pression qui était accompagnée de faits physiologiques les plus curieux.

Si l'on voyage avec un baromètre, sur tous les points

du globe, on reconnaît que les variations barométriques sont très-faibles à l'équateur, et qu'elles vont en augmentant à mesure qu'on s'approche des pôles; de plus, elles sont à l'équateur d'une régularité admirable. Le baromètre, sous les tropiques, monte et descend périodiquement deux fois en 24 heures : ces variations de 2 ou 3 millimètres sont appelées *variations horaires*.

A mesure qu'on s'approche des pôles, les variations accidentelles viennent les masquer. Les variations horaires cessent complètement, passé le 60° degré de latitude. A l'équateur, les instants du jour où le baromètre est le plus haut et le plus bas sont invariables, et la régularité de sa marche est telle, que cet instrument peut, à la lettre, indiquer l'heure de la journée.

On appelle *machines pneumatiques* des machines qui servent à faire le vide, en enlevant l'air des vases et appareils qui le contiennent. Leur nom vient du mot grec *πνεύμα*, qui signifie *air*. Les machines pneumatiques sont donc des appareils destinés à enlever l'air. Ces machines sont essentiellement formées d'un cylindre creux dans lequel se meut un piston ou corps cylindrique qui s'ajuste parfaitement dans le cylindre creux, appelé *corps de pompe*. Au fond du corps de pompe est une soupape qui s'ouvre de dehors en dedans. Le piston possède aussi une soupape qui s'ouvre quand le piston descend jusqu'au fond du corps de pompe, et se ferme quand il s'élève.

Lorsqu'on veut faire le vide dans un ballon en verre, on le visse fortement à l'extrémité du cylindre, puis on élève le piston, l'air du ballon se répand dans la capacité du cylindre qui s'ouvre devant lui; quand le piston redescend, le fond du cylindre se ferme, et l'air qui était au-dessous du piston passe au-dessus. Si le piston

s'élève de nouveau, de nouveau le vide se fait au-dessous de lui, l'air du ballon s'y rend et il est expulsé par une nouvelle descente du piston qui, à chaque mouvement, retire toujours une portion de l'air du ballon. De cette manière on peut raréfier l'air autant qu'on le veut. Dans les cabinets de physique, les machines sont plus commodes que celles que nous venons de décrire ; elles ont deux cylindres au lieu d'un, les tiges des pistons sont dentées et s'engrènent par leur partie supérieure sur une roue dentée mise en mouvement par un levier. Quand l'un des pistons monte, l'autre descend, et le vide se fait deux fois plus vite ; de plus, l'extrémité du cylindre ou corps de pompe vient s'ouvrir au-dessus d'une platine ronde en glace sur laquelle on peut mettre des cloches en verre, et le vide se produit avec facilité dans ces cloches.

On trouve de véritables machines pneumatiques chez les animaux. Les sangsues ont à chaque extrémité de leur corps une partie molle qu'elles appliquent contre les objets sur lesquels elles veulent se fixer, et en élevant, au-dedans d'elles, au moyen de muscles intérieurs, le milieu de la partie fixée, elles s'attachent fortement aux objets les plus unis ; elles se servent aussi du même moyen de succion pour déterminer l'afflux du sang après leur piqure. Les mollusques voyageurs qui peuvent se fixer sur les rochers, le font au moyen du même mécanisme, et leur adhérence est proportionnée à l'étendue de la surface qu'ils embrassent. Certaines coquilles, les patelles, se fixent ainsi sur les rochers et y bravent le mouvement des vagues.

Les ventouses sont de petites cloches de verre que l'on applique sur la peau et dans lesquelles on fait le vide. La partie de la peau interceptée rougit, se tuméfie

et laisse sortir du sang, s'il y a une piqûre. Les tentacules du poulpe présentent de nombreuses et puissantes ventouses.

QUESTIONNAIRE.

Qu'est-ce que le principe d'Archimède? — Pourquoi l'appelle-t-on ainsi? — Y a-t-il des objections apparentes aux lois de la pesanteur tirées de l'ascension de la fumée, des nuages, etc.? — L'air est-il pesant? — Qu'est-ce que l'équilibre des liquides dans les vases communicants? — Qu'est-ce que le baromètre? — sa construction? — sa découverte? — Peut-il servir à mesurer les hauteurs? — Quelle confiance donner à ses prédictions relatives au beau et mauvais temps? — Qu'est-ce que le baromètre à siphon? — Qu'est-ce que le baromètre à cadran? — A-t-on besoin d'être à ciel ouvert pour observer le baromètre? — Comment comprime-t-on l'air? — Quelles sont les expériences de M. Triger dans l'emploi de l'air comprimé? — Qu'appelle-t-on variations horaires du baromètre? — Que sont-elles sous les tropiques? — Qu'est-ce que la machine pneumatique? — Quels sont les appareils qui, chez les animaux, ressemblent à cette machine?

TROISIÈME LEÇON.

Rien de plus simple que de prouver avec la machine pneumatique que l'air est pesant ; pour cela on pèse un ballon de verre, dont on a enlevé l'air avec la pompe pneumatique ; puis on le pèse de nouveau , après avoir laissé rentrer l'air : la différence dans les deux pesées est le poids de l'air contenu dans le ballon. On trouve ainsi qu'un litre d'air pèse à peu près 1 gramme 3 décigrammes ; l'eau est donc 770 fois plus pesante, puisqu'un litre d'eau pèse 1,000 grammes.

Nous avons dit que la principale différence qui existe entre les liquides et les gaz , est la grande compressibilité de ces derniers. Prenons l'air pour exemple : si l'on soumet un litre d'air à des pressions de plus en plus grandes, son volume diminuera sans cesse, et si l'on remarque que lorsque la pression a doublé, le volume a diminué de moitié, que lorsque la pression a triplé le volume de l'air est réduit au tiers, on aura compris cette belle loi qui porte le nom du physicien qui l'a découverte, *loi de Mariotte*. Elle établit un rapport entre les volumes divers d'un gaz et les pressions successives auxquelles on le soumet. L'expression de cette loi est la suivante : les volumes successifs que prend un gaz que l'on comprime , sont en raison inverse des pressions qu'on lui fait subir. MM. Dulong et Arago ont vérifié que cette loi était vraie jusqu'à une pression 27 fois plus considérable que la pression atmosphérique, et

comme cette dernière est mesurée par le poids d'une colonne de mercure de 0^m,76 de hauteur, on dit que la loi de Mariotte a été vérifiée jusqu'à la compression exercée par le poids d'une colonne de 20^m,52.

Nous employons du reste le mot *atmosphère* pour exprimer le poids d'une colonne de mercure de 76 centimètres. On comprendra donc parfaitement ce que nous voudrions dire quand nous parlerons d'une machine qui contient soit de l'air, soit de la vapeur comprimée à une, deux, trois, quatre, cinq atmosphères.

Cette propriété précieuse des gaz nous donnera un moyen extrêmement exact et commode pour mesurer les pressions qui s'exercent dans différents appareils. Ainsi, par exemple, dans les chaudières à vapeur si l'on introduit un tube dont l'un des bouts, qui est ouvert, communique avec la vapeur de la chaudière, et dont l'autre, qui est fermé, sort en dehors de la chaudière, on pourra, en mettant dans le tube de l'air emprisonné par un piston mobile, voir par la marche même de ce piston, poussé par la vapeur, quelle sera la diminution du volume d'air et, par suite, quelle est la pression qu'il supporte. Dans la pratique, au lieu d'un piston mobile on se sert du mercure qui tiendra lieu de piston d'une mobilité parfaite, et on dispose le tube de manière à ce qu'il se recourbe au sortir de la chaudière, le mercure occupant la partie inférieure recourbée. Il faut seulement avoir soin de remplir deux conditions que l'on ne suit pas toujours et bien à tort : 1° d'emprisonner dans le haut du tube recourbé de l'air qui soit bien sec, car ce n'est qu'à cette condition que la loi de Mariotte est parfaitement exacte et que le tube peut rester propre ; 2° il serait mieux de mettre au lieu d'air un gaz, tel que l'azote ou l'hydrogène, qui ne pût pas s'unir au

mercure, pour former un composé qui, s'attachant aux parois du tube, les salit et empêche alors de lire facilement la hauteur de la colonne de mercure, et, par suite, le volume de l'air. Ces appareils portent le nom de *manomètre*, qui signifie *mesure de la pression*.

Les pompes qui sont si répandues et que l'on emploie partout, sont fondées sur le même principe que la machine pneumatique. C'est toujours un piston qui extrait l'eau d'un corps de pompe. A la suite de celui-ci est un tuyau d'aspiration qui plonge dans le liquide qu'on veut élever. Il y a deux soupapes : l'une placée au point de jonction du tuyau d'aspiration et du cylindre ou *corps de pompe*, et l'autre placée dans l'intérieur même du piston; toutes deux s'ouvrent de haut en bas.

Lorsque l'air est raréfié dans le corps de pompe, l'air du tuyau d'aspiration se dilate et soulève la soupape pour arriver dans le corps de pompe.

Lorsque le piston redescend, l'air qui est au-dessous de lui se comprime, soulève la soupape du piston et arrive au dehors du corps de pompe.

La raréfaction de l'air s'étend donc du corps de pompe au tuyau d'aspiration, alors l'eau s'élève dans l'intérieur de ce tuyau sous l'influence de la pression atmosphérique, qui agit en dehors du tuyau sur la surface de l'eau dans laquelle celui-ci est plongé de la même manière que nous voyons l'eau s'élever dans un tube duquel nous aspirons l'air avec la bouche en plongeant l'autre extrémité dans l'eau, de la même manière encore que l'eau s'élève dans notre bouche, quand nous approchons nos lèvres d'un verre d'eau et que nous raréfions l'air de nos poumons, par le jeu particulier d'une membrane placée au-dessous des poumons et que l'on appelle diaphragme. On concevra donc parfaitement que dans les pompes

on ne peut donner au tuyau d'aspiration une longueur plus grande que 32 pieds, parce que ce n'est qu'à cette hauteur que la pression atmosphérique peut faire monter l'eau dans un tuyau vide.

Mais une fois que l'eau a passé au-dessus du piston, elle peut ensuite être conduite par des tuyaux partout où l'on veut et à telle hauteur qu'on désire. Le point important, essentiel, est de la faire arriver au-dessus du piston dans le corps de pompe.

Dans quelques pompes, le piston est plein et la soupape est placée à la partie inférieure et latérale du corps de pompe; c'est à la suite de cette dernière que doit être placé le tuyau de conduite. Pour avoir une idée du jeu de la pompe ainsi modifiée, il faut concevoir que lorsque le piston s'élève, la soupape ou clapet latéral se ferme par son propre poids, tandis que la soupape placée au-dessus du tuyau d'aspiration se lève pour laisser passer les fluides qui se rendent ainsi dans le corps de pompe, et de là sont ensuite refoulés dans les tuyaux de conduite.

Les premières pompes sont appelées *pompes aspirantes*, les secondes *pompes aspirantes et foulantes*: elles sont simplement foulantes dans le deuxième cas, quand le tuyau d'aspiration est nul, et que le corps de pompe plonge immédiatement dans l'eau.

La découverte de l'élévation de l'eau dans le tuyau d'aspiration des pompes, jusqu'à la hauteur seulement de 32 pieds, fut faite par des fontainiers de Florence qui construisaient des pompes pour les jardins du grand-duc. Ils vinrent annoncer le fait au célèbre Galilée, et comme jusqu'à cette époque, dans l'ignorance où l'on était de la pression exercée par l'air, on attribuait l'ascension de l'eau dans le tuyau d'aspiration des pompes à l'horreur que la nature avait pour le vide,

Galilée répondit en riant aux fontainiers : *Il paraît que la nature n'a horreur du vide que jusqu'à 52 pieds.* Mais le grand homme avait pressenti l'explication de ce phénomène, car quelque temps après, Torricelli, son élève, la fit connaître et inventa le baromètre.

Nous n'avons parlé ici que de deux sorte de pompes, il y en a un grand nombre d'autres dont le mécanisme est très-varié, mais qui toutes reposent sur les mêmes propriétés de l'air.

La *pompe des celliers* est une espèce de tube dont l'un des bouts n'a qu'une ouverture assez petite, que l'on plonge dans un tonneau par la bonde; lorsqu'on le retire après avoir fermé l'orifice supérieur avec le pouce, on voit que le liquide s'y maintient à une certaine hauteur; si on ôte le doigt, l'écoulement a lieu; il s'arrête lorsqu'on le replace. L'explication du jeu de cet instrument repose encore sur les mêmes propriétés de l'air. Quand on ôte en la bouchant la pompe du tonneau, un peu de liquide sort d'abord; l'air qui dans le tube est au-dessus du liquide se dilate, sa force élastique devient moindre que celle de l'air atmosphérique, et celui-ci exerçant sa pression à la partie inférieure du tube, soutient la colonne liquide dans l'intérieur, comme elle le fait dans un tube d'où l'on a aspiré l'air.

Le *siphon* est un tube recourbé, à branches inégales, qui sert à transvaser les liquides; on plonge dans ceux-ci la petite branche du siphon et on aspire par la grande. Dès que le liquide y est arrivé au-dessous de son niveau dans le vase, le siphon est ce qu'on appelle amorcé et l'écoulement continue seul. En effet, si le siphon était à branches égales plein d'eau et que le tube fût assez étroit pour que la colonne d'eau ne pût être divisée par l'air, l'équilibre aurait lieu; car aux deux extrémités des bran-

ches du siphon la pression atmosphérique supporte le liquide, pourvu que les deux branches du siphon n'aient pas plus de 52 pieds. Mais s'il arrivait que l'une des branches fût plus longue que l'autre, l'excès de poids du liquide du côté de la plus longue branche l'entraînerait de ce côté. Lorsque les liquides sont corrosifs et qu'on peut craindre leur action sur les lèvres, on amorce le siphon, soit en le remplissant directement lorsqu'il est renversé, soit en aspirant par un tuyau additionnel d'aspiration.

On concevra facilement qu'en renversant le jeu des soupapes dans la machine pneumatique, il est possible d'accumuler l'air dans un vase suffisamment résistant; l'air alors peut être comprimé et faire l'office de ressort dont la force peut croître indéfiniment. Ainsi dans le *fusil à vent* on comprime fortement de l'air dans une crosse creuse, on met une balle dans le canon, et en ouvrant pendant un instant très-court une soupape, l'air comprimé chasse la balle avec violence. Cette opération peut être répétée plusieurs fois de suite. M. Perrot, ingénieur civil à Rouen, l'inventeur de la machine à imprimer à trois couleurs, s'occupe de fusils à vent qui, avec un litre d'air, lancent une centaine de balles avec la même force qu'un fusil ordinaire.

L'enveloppe que l'air forme autour de la terre tourne avec elle et avec la même vitesse. Les mouvements qui s'y opèrent et qui constituent les *vents*, sont dus à des causes qui produisent des différences de densités et par suite des ruptures d'équilibre. Ainsi, par exemple, l'air chaud étant moins dense, c'est-à-dire moins pesant que l'air froid, doit s'élever dans l'atmosphère, produire un courant et ce courant ne peut avoir lieu sans que de tous côtés l'air arrive pour prendre la place de l'air qui s'élève.

Les *ballons* appelés *montgolfières*, et les ballons pleins d'un gaz léger appelé *hydrogène*, ne doivent leur ascension qu'à cette différence de densité, au moyen de laquelle naît autour de ces arcostats une force de poussée que nous avons fait connaître en parlant du principe d'Archimède.

Les *montgolfières*, ainsi appelées du nom de Montgolfier leur inventeur, sont de grands ballons en papier ouverts à leur partie inférieure; par cette entrée on introduit de l'air chaud en y brûlant avec précaution des corps très-combustibles, tels que de la paille, du bois léger et sec, etc., qui donnent une flamme vive et brillante. La montgolfière, avec l'air échauffé qu'elle contient, s'élève dans l'air jusqu'à ce qu'elle arrive à une couche raréfiée où le poids de l'air qu'elle déplace soit égal au poids de l'appareil et de l'air qu'il contient. L'air intérieur se refroidissant, la montgolfière retombe.

Les *aérostats* à gaz hydrogène diffèrent des montgolfières en ce que l'enveloppe du ballon est en taffetas vernis, pour ne pas laisser passer le gaz léger et très-subtil, l'hydrogène, qu'on y fait arriver.

Les calculs pour construire un ballon destiné à enlever un poids donné sont fondés sur ce fait, que l'air pèse 1 gramme 5 décigrammes le litre, que l'hydrogène pèse 13 fois moins, et enfin que l'enveloppe de taffetas vernis pèse à peu près 250 grammes le mètre carré.

Dans les dernières ascensions aérostatiques, on a préféré employer le gaz de l'éclairage qui est facilement fourni par les usines à gaz, et qui a l'avantage de passer moins facilement à travers l'enveloppe du ballon. Mais étant moins léger que l'hydrogène, il exige que l'aérostat soit d'une plus grande dimension.

Supposons pour le moment qu'il n'y ait que de l'eau

pour former le globe que nous habitons. Sous l'influence de la pesanteur, c'est-à-dire de cette force qui l'attire vers le centre du globe, l'eau prendra la forme sphérique. Cette sphéricité serait même parfaite, si la terre n'avait pas un mouvement de rotation sur elle-même, car en vertu de ce mouvement, les molécules d'eau qui sont à l'équateur seraient comme la pierre dans la fronde sollicitée par une force centrifuge considérable, et cette force combattant directement la pesanteur, il s'ensuivrait que ce globe d'eau serait renflé à l'équateur et aplati aux pôles où la force centrifuge est nulle. Ces faits auraient lieu, quel que fût le fluide qui composât le globe.

Or, si on demande à l'astronomie quelle est la forme de la terre, elle répondra qu'elle est ronde, mais légèrement aplatie à ses pôles et renflée à l'équateur. Nous pouvons donc tirer cette conclusion, que lorsqu'elle a été soumise par le Créateur à son mouvement de rotation, la terre était fluide, et qu'elle s'est ensuite solidifiée.

Dernièrement un ingénieur des mines en France, M. de Bouchepon, a émis sur la forme du globe des idées assez curieuses et d'après lesquelles il remarque que la terre est formée d'une couche solide qui n'a guère que de 10 à 15 lieues d'épaisseur, et que sous cette pellicule solide est une masse immense à l'état fluide, obéissant à l'action de la force centrifuge, aplatie par conséquent aux pôles et renflée à l'équateur. La couche ou plancher solide qui est au-dessus est excessivement mince par rapport à la grande masse fluide placée au-dessous, cette couche sur laquelle nous vivons se moule sur ce sphéroïde aplati, et un changement d'axe de rotation ne ferait autre chose que déplacer plus ou moins l'apla-

tissement en le reportant aux nouveaux pôles, et renfler la nouvelle zone équatoriale en donnant lieu à quelques rides de la surface ou montagnes nouvelles, plus ou moins considérables.

La terre est composée d'une partie solidifiée et d'une autre partie liquide, l'Océan. C'est en vertu de la pesanteur que l'Océan possède la forme arrondie que nous lui voyons, et partout la perpendiculaire à la surface des eaux indique la direction de la force attractive. Cette ligne partout se dirige vers le centre. Lorsque nous ne considérons qu'une partie très-petite de cette surface fluide, elle nous paraît plane. Ce n'est que dans une grande étendue que cette courbure est appréciable. Chaque couche de liquide presse sur celle qui est au-dessous d'elle. La surface des mers n'éprouve que la pression atmosphérique ; mais 32 pieds plus bas la couche d'eau éprouve partout la pression de deux atmosphères. Ces couches d'égale pression sont appelées par les géomètres *couches de niveau*, et la succession des points qui sont également pressés, forme ce qu'on appelle *surface de niveau*. D'après ce qui précède, on comprendra parfaitement pourquoi, lorsqu'un liquide est dans un vase, la surface supérieure est plane. Cette surface supérieure supporte la pression atmosphérique, mais la pression croît à mesure qu'on s'enfonce dans le liquide, chaque couche horizontale supportant le poids des couches placées au-dessus d'elle.

Si l'on pratiquait une ouverture à la partie latérale de ce vase, le liquide s'écoulerait, et s'il y avait plusieurs ouvertures à diverses hauteurs, comme les couches du fond sont plus pressées que les couches voisines de la surface, c'est au fond que pour cette raison la vitesse d'écoulement serait la plus considérable.

Les fluides possèdent encore une propriété curieuse.

Remplissez un vase d'un fluide ; mettez , par exemple, soit de l'eau dans un ballon de verre , soit un gaz dans une vessie, comprimez ce fluide en un point quelconque, la compression se propagera de proche en proche et toutes les molécules seront pressées comme celles que vous pressez directement ; c'est ce qu'on appelle le *principe de l'égalité de pression dans les fluides*. Supposons qu'on ait rempli complètement un vase fermé avec un liquide, supposons qu'on le comprime en un endroit de manière à exercer sur une surface d'un centimètre une pression d'un kilogramme, les autres centimètres éprouveront tous la pression d'un kilogramme.

Mettons dans une enceinte, et de manière à la bien remplir, un fluide quelconque, comprimons celui-ci par une pression exercée par un centimètre carré et égale à un kilogramme. Si toutes les parois de l'enceinte sont mobiles, il faudra, pour les empêcher de céder, appliquer partout sur chaque centimètre une force d'un kilogramme. Tel est le principe sur lequel repose la *presse hydraulique* : elle est formée d'un réservoir plein d'eau et exactement fermé ; celui-ci communique avec une pompe dans laquelle on peut comprimer vivement de l'eau. Dans le réservoir fermé s'enfonce un piston mobile qui peut sortir lorsque la pression intérieure croît. Si le cylindre a une surface à la base cent fois plus considérable que le piston de la pompe de pression, il faudra, pour empêcher le cylindre de s'élever, placer sur lui un poids égal à 100 fois l'effort que produit la pompe. On peut du reste faire une ingénieuse et simple presse hydraulique, ou plutôt presse à air, au moyen d'une vessie à laquelle on adapte un tube pour la gonfler à volonté. On place une planche sur la vessie quand elle est vide et on peut aisément, en gonflant par le tube la vessie avec le soufflé

des poumons, soulever un poids de 60 à 80 livres et même beaucoup plus si la vessie a une grande dimension.

QUESTIONNAIRE.

Comment prouve-t-on que l'air est pesant? — Qu'est-ce que la loi de Mariotte? — Qu'est-ce qu'un manomètre? — Qu'est-ce qu'une pompe? — Comment la divise-t-on? — Quelle est la longueur qu'il ne faut pas dépasser par le tuyau d'aspiration? — Qu'est-ce que la pompe des celliers? — Qu'est-ce que le siphon? — Expliquez le fusil à vent; — les aérostats. — Quelle est la forme des liquides contenus dans des vases? — Quelle est l'état de leur surface? — Qu'appelle-on courbure des mers et de la surface du globe? — Qu'appellez-vous couches de niveau? — Donnez-moi une idée de la presse hydraulique.



QUATRIÈME LEÇON.

DE LA CHALEUR.

Lorsque nous nous approchons des corps qui nous entourent, nous éprouvons des sensations particulières, auxquelles on a donné le nom de *sensations de froid* ou *sensations de chaud*. En mettant, par exemple, notre main auprès d'une lampe allumée, il semble qu'un fluide particulier, très-subtil, sort de la lampe et nous pénètre; on a donné le nom de *calorique* à ce fluide particulier, impondérable pour nous, qui exerce une si pénétrante impression sur nos organes. Si, par des moyens qui sont en notre puissance, nous accumulons le calorique dans un corps, nous pourrions le fondre, le volatiliser, s'il est fusible et volatil. Nous pouvons le décomposer en ses éléments, ou former des composés nouveaux avec les éléments qui le constituent, en employant cette puissance prodigieuse donnée à l'homme; mais les effets du calorique ne sont pas moins merveilleux lorsque agissant avec lenteur et dans de justes limites, il vient avec la lumière aider à tous les phénomènes mystérieux de la vie dans les êtres organisés.

Sans le calorique, la vie à la surface du globe est impossible. On comprendra donc parfaitement la pensée de ces hommes qui, pénétrés d'admiration à la vue de cette puissance organisatrice et désorganisatrice à la fois, mais trop peu éclairés cependant pour remonter jusqu'au Créateur, ont fait du feu une divinité.

Le calorique est-il matériel et ses effets sont-ils produits par un fluide qui s'échappe des corps chauds, ou bien, semblable au son, est-il comme lui un résultat de vibration? Un son est produit par les oscillations rapides et régulières d'un corps élastique, tel, par exemple, qu'une cloche. Les oscillations ébranlent l'air, qui vient apporter à notre oreille les ondulations excessivement nombreuses qui lui ont été imprimées. En sera-t-il de même pour la chaleur, et tous les phénomènes auxquels elle donne lieu seraient-ils le résultat des ondulations d'un fluide subtil répandu partout et que l'on a nommé éther? Ces ondulations étant excitées par les oscillations des corps chauds, nous laissons aux ouvrages élevés de la science le soin de décider cette question qui a partagé les physiciens en deux camps. Nous adoptons, dans notre langage du moins, l'hypothèse qui consiste à considérer le calorique comme un fluide subtil impondérable, mais matériel, et lancé de tous côtés par les corps chauds.

Examinons avec soin l'action du calorique sur les corps, et pour cela prenons, par exemple, le fer. Prenons une tige cylindrique de ce métal, fixons l'une de ses extrémités à une pince immobile et solidement attachée elle-même à une pièce de bois, et approchons de l'autre extrémité libre de la tige de fer un levier léger à bras très-inégaux, dont la plus courte branche s'appuie sur la tige libre de fer et l'autre branche peut se mouvoir comme une aiguille indicatrice sur un cadran divisé. Chauffons la tige de fer en mettant au-dessous d'elle des charbons allumés, elle se dilatera, et, ne pouvant le faire que dans un sens, elle poussera le petit bras du levier dont l'autre extrémité, se mouvant sur le cercle divisé, permettra de saisir avec facilité l'augmen-

tation de longueur que prend la tige de fer. Cette augmentation est très-sensible, et elle s'exerce dans les métaux avec une puissance irrésistible. Un pareil instrument est appelé *pyromètre* (mesure du feu).

En accumulant suffisamment de chaleur dans la tige de fer, on la ferait fondre, et en continuant encore, si le fer était volatil, on le réduirait en vapeur. Les faits que nous venons d'indiquer se reproduisent sur tous les autres corps que l'on soumet à l'action d'une chaleur croissante, à l'exception toutefois du charbon qu'on n'a pu ni fondre ni volatiliser.

Avant d'aller plus loin, définissons ce que nous entendons par *température*. Une des propriétés les plus remarquables du calorique, c'est de rayonner, c'est-à-dire de s'échapper des corps qui le contiennent en rayons droits et divergents, exactement comme le font les rayons de la lumière dans les corps lumineux. Lorsque deux corps sont en présence, ils émettent l'un vers l'autre une partie de calorique qu'ils contiennent. Cet échange, effectué ainsi qu'on le dit par voie de rayonnement, se continue sans cesse. Mais si l'un d'eux reçoit plus qu'il ne donne, on dira qu'il s'échauffe ; si au contraire il donne plus qu'il ne reçoit, on dira qu'il se refroidit. Deux corps ne peuvent pas être en présence l'un de l'autre sans qu'au bout d'un certain temps et en vertu des lois qui président au rayonnement du calorique, ils n'arrivent à un état stationnaire dans lequel chaque corps reçoit autant de calorique qu'il en émet. Si au lieu de deux corps nous en avons plusieurs, par exemple tous les objets d'une chambre, on comprendra que chaque corps rayonne en faveur de tous ceux qui l'entourent jusqu'à ce que l'état stationnaire soit établi pour tous. Notre pyromètre apporté dans cette

enceinte prendra lui aussi l'état stationnaire et une longueur invariable, en se mettant en état d'équilibre de rayonnement avec tous les corps qui l'entourent. Nous appellerons *température de la chambre*, précisément cet état stationnaire, ou, plus généralement, nous appellerons *température d'un corps, température d'un lieu*, l'état stationnaire indiqué par nos instruments mis en équilibre de rayonnement, soit avec le corps, soit avec le lieu. Nous nous occuperons avec soin de la construction de ces instruments auxquels on a donné le nom de *thermomètre* (mesure de la chaleur, en raison du but auquel ils sont destinés), mais auparavant il est indispensable de faire connaître quelques principes.

Nous savons que l'eau suffisamment refroidie se congèle; mettons donc des morceaux de glace dans un vase, et supposons qu'on y plonge la tige de fer ou pyromètre métallique dont nous venons de parler, supposons encore la glace refroidie autant qu'il nous est possible, le pyromètre ainsi placé pourra nous faire reconnaître, par le mouvement de l'aiguille sur le cercle divisé, si nous échauffons ou refroidissons la glace. Approchons le vase d'une source de chaleur, nous saurons que le calorique pénètre la glace, en voyant la tige de fer s'allonger. C'est précisément le fait qui arrivera, mais à un certain moment, celui où nous verrons la glace commencer à fondre et à prendre l'état liquide. Un phénomène singulier, de la plus haute importance, est manifesté par la tige : elle cesse de s'allonger, bien qu'on continue de chauffer la glace et l'eau dont elle est entourée. La longueur de la tige demeurera invariable tant qu'il restera dans le vase la moindre parcelle de glace à fondre, mais sitôt que toute l'eau sera à l'état liquide, si nous continuons toujours à chauffer, la tige de fer recommencera

à croître de nouveau, elle le fera d'une manière régulière jusqu'à ce que, par l'accumulation de la chaleur, l'eau commence à bouillir, c'est-à-dire à passer à l'état de vapeur. Un phénomène identique se reproduit et de nouveau à partir de ce moment. Bien que l'on continue de chauffer l'eau, la longueur de la tige de fer reste stationnaire, et elle demeurera ainsi pendant tout le temps qu'il restera de l'eau à l'état liquide dans le vase. Si l'on continue à chauffer, dès que toute l'eau sera vaporisée la tige recommencera de nouveau à s'allonger, mais cette fois pour ne plus avoir de point stationnaire, la vapeur d'eau qui l'entoure s'échauffant sans cesse. Avec des précautions convenables, on aurait pu remarquer que l'eau, soit à l'état solide, soit à l'état liquide, soit à l'état gazeux, jouit aussi des propriétés de se dilater quand on l'échauffe.

Fixons notre attention sur les deux moments où la longueur de la tige a été stationnaire. Il est évident que lorsque la glace a commencé à fondre, toute la chaleur que nous accumulions dans le vase était absorbée par la glace pour prendre l'état liquide. Il n'y avait pas de calorique libre qui pût aller échauffer la tige qui se trouvait constamment en équilibre de chaleur avec les corps qui l'entouraient ; et puisque la glace recevait du calorique et n'en envoyait pas à la tige de fer, il fallait qu'elle le conservât et l'employât uniquement à changer d'état.

Le même phénomène que nous avons observé au moment de l'ébullition de l'eau est un fait entièrement semblable. Ainsi donc nous pourrions généraliser et dire, car ces phénomènes sont présentés par tous les corps fusibles et volatils, *lorsqu'on accumule du calorique dans un corps, sa température s'élève jusqu'au moment où il va changer d'état, soit qu'il passe de l'état solide à l'état*

liquide, soit qu'il passe de l'état liquide à l'état gazeux. *Alors tout le calorique que l'on accumule dans le corps est employé uniquement à changer l'état du corps, il est retenu par lui.* C'est pour cette raison que les physiiciens ont donné le nom de *calorique latent* au calorique employé par un corps soit à prendre l'état liquide, soit à prendre l'état gazeux. On l'appelle aussi quelquefois *calorique de liquéfaction, calorique de vaporisation*. L'état que présentent les différents corps de la nature dépend donc de la quantité plus ou moins grande de chaleur qu'ils possèdent. Échauffons suffisamment tous les corps de la nature, tous prendront l'état de vapeur, l'état gazeux ; l'homme, avec les moyens dont il dispose, n'a pu volatiliser encore la plupart des métaux, quelques corps n'ont pu même être liquéfiés : le diamant, qui est du carbone pur, est dans ce cas. Quelques corps composés, surtout les corps organiques, se décomposent en leurs éléments par l'action de la chaleur, même avant de se liquéfier. Réciproquement, si nous enlevons suffisamment du calorique aux corps, et qu'on les comprime en même temps pour rapprocher les molécules et permettre à l'attraction moléculaire de s'exercer plus puissamment, on parviendra à liquéfier et solidifier tous les corps. Des expériences du plus haut intérêt ont été annoncées au mois de janvier 1845 par le physicien anglais Faraday, qui est parvenu par un refroidissement prodigieux, et par la compression à solidifier la plupart des corps qui avaient résisté jusqu'à ce moment. Quelques corps cependant sont encore restés à l'état de gaz permanents. Nous citerons seulement les gaz simples, l'oxygène, l'hydrogène et l'azote, que cependant M. Faraday espère liquéfier.

Ces faits bien compris rendent l'explication et la construction du thermomètre facile. Puisque tous les

corps se dilatent sous l'action de la chaleur, on peut se servir de cette propriété pour reconnaître la variation de la quantité de calorique dans les corps. Les solides ne possèdent cette propriété qu'à un degré beaucoup plus faible que les liquides, et ceux-ci bien moins encore que les gaz qui sont si facilement dilatables par l'action du calorique. Les thermomètres faits avec des solides serviront généralement à indiquer de grandes différences dans les variations des températures. Au contraire, ceux formés avec des gaz seront employés à estimer des variations très-faibles ; ceux avec des liquides, des variations intermédiaires. Ces derniers sont les plus employés.

Pour faire un thermomètre avec un liquide, il faut une enveloppe transparente, peu dilatable, dans laquelle le liquide pourra se dilater sous l'action de la chaleur. On prend donc un tube creux très-fin en verre, à l'extrémité duquel se trouve un réservoir sphérique ou cylindre pareillement en verre et destiné à contenir le liquide. Celui que l'on choisit de préférence est le mercure, il conduit bien la chaleur. Nous verrons plus loin ce qu'on entend par là. Sa dilatation est très-régulière, et de plus il faut un grand froid pour le solidifier et une grande chaleur pour le vaporiser.

Pour remplir l'instrument on le chauffe d'abord, l'air qu'il contient se dilate et sort, on renverse alors le tube dans du mercure par la partie ouverte ; l'air intérieur se refroidit, diminue de volume, le mercure pénètre dans le tube et de là dans le réservoir. Alors, si l'on fait bouillir dans celui-ci le peu de mercure qui y est entré, on le réduira en vapeur, puis en plongeant de nouveau le tube dans le mercure, on arrivera, en le refroidissant, à le remplir de liquide jusqu'à la hauteur

que l'on désire. Cela fait, on plonge l'instrument dans de la glace à moitié fondue, le mercure se mettant en équilibre de température, se contracte en se refroidissant, l'extrémité de la colonne s'abaisse dans le tube et arrive à un point stationnaire que l'on marque avec soin et en face duquel on écrira *glace fondante* ou *zéro*. On plonge de même l'instrument dans de l'eau bouillante, et on a un nouveau point fixe auprès duquel on écrit *eau bouillante*. Si l'on divise en cent parties l'espace compris entre les deux points fixes, on aura les degrés du thermomètre centigrade ; si on le divise en 80 parties, on aura les degrés du thermomètre Réaumur. Les divisions obtenues sur les tubes de ces deux instruments pourront être continuées en deçà des deux points fixes. On aurait pu prendre, mais avec moins de succès, un autre liquide que le mercure. L'alcool coloré a l'avantage de ne pas se congeler par l'action du froid, mais il bout à 79°.

On a besoin pour indiquer les températures voisines de 0°, d'indiquer si c'est au-dessous ou au-dessus du zéro. De là sans doute les locutions vicieuses de *degrés de froid* et de *degrés de chaleur* pour indiquer, dans le premier cas, les degrés au-dessous, et dans le second, les degrés au-dessus de zéro. Pour éviter cet inconvénient, le physicien Fahrenheit a placé son zéro à 32 divisions au-dessous de la glace fondante, mais dans son thermomètre il faut observer que l'espace compris sur le tube entre le point de la glace fondante et le point de l'eau bouillante est divisé en 180 parties, ce qui, avec les 32 qui sont au-dessous de zéro, donne 212 pour la température de l'eau bouillante ; le zéro du thermomètre de *Fahrenheit* est au-dessous de la plupart des températures qui sont autour de nous.

Il faut avoir soin de fermer l'extrémité de la tige du

thermomètre, d'abord pour éviter que du mercure n'en sorte et que les indications ne deviennent fautives, ensuite pour que l'intérieur du tube reste propre ; mais il faut avoir soin qu'il n'y ait pas d'air au-dessus de la colonne mercurielle, car cet air serait comprimé lorsque le mercure se dilate, ce serait donc une force à vaincre qui varierait dans chaque instrument et qui pourrait même occasionner la rupture de l'appareil.

QUESTIONNAIRE.

Qu'est-ce que la chaleur et le froid ? — Qu'est-ce que le pyromètre. — Qu'est-ce que la température d'un corps ? — Quelle est la température des corps lorsqu'ils changent d'état ? — Qu'est-ce que le thermomètre ? — Comment le construit-on ? — Qu'entend-on par thermomètres centigrade, de Réaumur et de Farenheit ?



CINQUIÈME LEÇON.

Au moyen du thermomètre nous pouvons vérifier ce que nous avons déjà énoncé, que lorsqu'un corps chaud est apporté dans une enceinte, le calorique s'en échappe de toute part. L'effet produit sur le thermomètre sera d'autant plus grand que le thermomètre sera plus près du corps chaud.

Les quantités de chaleur reçues par l'instrument seront en raison inverse du carré de la distance. D'un autre côté, si la surface du corps chaud est inclinée par rapport au thermomètre ou si celui-ci est incliné par rapport à la surface du corps chaud, l'effet produit sera moins considérable. On comprendra parfaitement d'après cela pourquoi en hiver la terre s'échauffe moins, se présentant obliquement pour nos climats à l'influence des rayons du soleil.

On attribue la découverte du thermomètre au paysan hollandais Drebbel, qui se servait d'air emprisonné dans un tube. Cet appareil, très-ingénieux du reste, n'était pas à l'abri de l'influence de la pression variable de l'atmosphère ; de plus, il n'était pas gradué. C'est au célèbre Newton qu'on doit les deux points fixes de l'eau bouillante et de la glace fondante. L'état stationnaire de la température au moment où un corps change d'état, est une des belles découvertes de ce grand génie.

Lorsque le calorique rayonnant émis par une source de chaleur vient tomber sur un corps, une partie est

absorbée, l'autre est réfléchi par le corps. Le rapport du calorique réfléchi au calorique absorbé varie avec la nature et la surface du corps. Ainsi, pour citer un exemple dont nous sommes tous les jours les témoins, si l'on place devant le même foyer deux cafetières égales en fer-blanc, pleines d'eau l'une et l'autre, mais dont l'une est à l'extérieur parfaitement brillante, l'autre couverte de noir de fumée; dans cette dernière l'eau bouillira beaucoup plus tôt que dans l'autre.

On appelle pouvoir réfléchissant et pouvoir absorbant des corps, la propriété qu'ils possèdent de renvoyer ou de laisser pénétrer dans leur intérieur une quantité plus ou moins grande du calorique qui vient les frapper. On conçoit que ces deux pouvoirs varient en raison inverse l'un de l'autre; plus un corps réfléchit de calorique et moins il en laisse pénétrer au-dedans de lui. Le tableau suivant fait connaître l'ordre dans lequel sont placés différents corps par rapport à leur pouvoir réfléchissant, en prenant pour 100 le pouvoir réflecteur du cuivre qui réfléchit le mieux la chaleur.

Cuivre jaune.....	100
Argent.....	90
Étain.....	80
Acier.....	70
Plomb.....	60
Verre.....	10
Noir de fumée.....	0

Lorsqu'un corps est échauffé, la facilité plus ou moins grande avec laquelle il émet la chaleur est ce qu'on appelle son pouvoir émissif. Ce pouvoir varie aussi en sens inverse du pouvoir réfléchissant.

C'est en vertu de cette propriété que possède le calo-

rique de se réfléchir à son arrivée sur les corps, surtout s'ils sont polis et métalliques, qu'est due la possibilité d'enflammer à distance un corps combustible, en y réunissant, au moyen d'un miroir concave, des rayons émis par une source de chaleur. Archimède, en réfléchissant ainsi les rayons lumineux du soleil (toujours accompagnés de rayons calorifiques) sur le même point d'un vaisseau, le brûlait à une grande distance. Il détruisit, dit-on, de cette manière la flotte des Romains qui assiégeait Syracuse. Buffon a répété la même expérience et fait fondre du plomb à 200 pas de distance. Il employait comme réflecteurs un grand nombre de miroirs ordinaires, qui étaient placés de manière à réfléchir en un point unique les rayons du soleil.

Le calorique semble se mouvoir avec la même rapidité que la lumière ; or les rayons du soleil arrivent en 8 minutes jusqu'à nous. Ils ont ainsi une vitesse d'à peu près 70,000 lieues par seconde. Cette vitesse du calorique n'a lieu que dans le vide et aussi, à ce qu'on croit, dans les gaz ; ceux-ci laissent passer le calorique sans l'arrêter sensiblement.

Si l'air nous semble chaud à la surface de la terre, c'est que celle-ci s'échauffe sous l'action des rayons du soleil et élève la température de l'air qui la touche.

Sur les hautes montagnes, la température se maintient froide, et l'une des causes qui y contribue est l'énormité de la masse d'air qui se renouvelle sans cesse autour des montagnes ; celles-ci étant les seuls points, échauffés par le soleil, qui puissent réchauffer par contact les couches d'air chassées par les vents, sont impuissantes pour élever leur température, ainsi qu'on le voit dans les plaines.

Une fois que la chaleur a commencé à pénétrer dans

l'intérieur d'un corps, sa marche n'est plus rapide ; sa vitesse est quelquefois très-variable d'un corps à l'autre. Ainsi, par exemple, si on plonge une tige métallique dans un foyer ardent, on connaîtra qu'au bout de très-peu de temps toute la tige est chaude, souvent même avant que le bout plongé ne devienne incandescent. Il n'en serait pas de même si on plongeait dans le foyer une tige de bois de même longueur ; on pourra faire brûler même une partie de la tige avant que la main ne la sente se réchauffer. On dira, d'après cette expérience, que le premier corps conduit bien la chaleur ; le second la conduit mal : ces deux corps sont bons et mauvais conducteurs du calorique.

On conçoit très-bien, d'après cela, que lorsqu'on met la main sur un corps bon conducteur et ensuite sur un corps mauvais conducteur du calorique, du fer et du bois par exemple, on puisse dire que le premier est beaucoup plus froid que l'autre, bien qu'ils soient l'un et l'autre à la même température. Le premier conduisant beaucoup mieux la chaleur que le second, enlèvera dans le même temps beaucoup plus de chaleur à la main. En plaçant les corps par ordre de conductibilité et représentant par 1,000 la conductibilité de l'or, nous aurons la liste suivante :

Or.....	1,000
Platine.....	981
Argent.....	973
Cuivre.....	898
Fer.....	374
Zinc.....	365
Marbre.....	24
Porcelaine.....	12
Terres de fourneau.....	11

5.

Ces propriétés sont d'une grande importance dans les arts. Ainsi, pour construire des fourneaux, on choisit des substances peu conductrices, afin de perdre le moins de chaleur possible. Souvent même, entre deux couches de briques, on interpose soit une couche de charbon soit une couche de cendres. Les poêles de tôle ou de fonte ne conservent pas la chaleur comme ceux de faïence, mais en revanche ils la donnent plus vite.

Dans le Nord, les murs des maisons sont ou très-épais ou formés de substances peu conductrices, ils sont ou en bois ou en briques, d'une épaisseur de deux ou trois pieds; les maisons de pierre ou de marbre sont très-rares, la raison en est écrite dans le tableau précédent. La neige conduit mal la chaleur; elle sert donc à préserver d'un froid trop grand la terre sur laquelle elle repose.

Pour que nos vêtements nous préservent bien du froid, il faut qu'ils soient les plus mauvais conducteurs possibles; tels sont ceux faits avec de la laine, des fourrures, des étoffes ouatées.

La peau et les tissus animaux conduisant mal la chaleur, ils défendent les animaux contre la rigueur du froid et permettent à la température intérieure du corps de rester à 37°, même dans un air très-froid. Les liquides, à l'exception du mercure, et tous les gaz conduisent très-mal la chaleur, pourvu toutefois qu'on empêche les mouvements qui tendent à se produire dans les fluides en vertu du principe d'Archimède, car les parties échauffées devenant plus légères tendent à s'élever, et, par ces changements de position, à établir l'équilibre de chaleur dans la masse fluide.

Ces mouvements, du reste, s'aperçoivent parfaitement bien lorsqu'on fait du feu dans une cheminée,

l'air en s'échauffant au contact du foyer s'élève dans la cheminée et produit le tirage. Les *calorifères* à eau chaude sont établis sur ces principes ; tels sont par exemple les *thermosiphons*, qui sont des tubes recourbés partant du haut d'une chaudière pleine d'eau et allant, après un circuit plus ou moins long, descendre et rentrer dans la partie inférieure de la chaudière. Si l'on met du feu sous celle-ci, l'eau s'échauffe, s'élève à la partie supérieure, voyage dans le long tube à travers lequel s'échappe le calorique rayonnant, puis l'eau revient de nouveau conduite par le tube à la partie inférieure de la chaudière pour circuler de nouveau, en échauffant la serre ou les appartements à travers lesquels circulent les tuyaux.

Dans les appartements où se trouve une cheminée, l'air s'échauffe *non pas par conductibilité*, mais par son contact avec les corps directement échauffés par le calorique rayonnant.

L'air et les gaz conduisent par eux-mêmes très-mal la chaleur ; la ouate, l'édredon ne doivent toutes leurs propriétés qu'à l'air qu'ils emprisonnent.

Les doubles fenêtres dans les pays froids préservent les appartements contre les rigueurs de la température extérieure, au moyen de la couche d'air qu'elles enferment et qui suffit pour empêcher la chaleur intérieure de sortir.

Les nuages qui se soutiennent dans l'air sont à une température beaucoup plus élevée certainement que celle de l'air dans lequel ils voyagent, ce qui est dû à leur imparfaite conductibilité.

QUESTIONNAIRE.

Quel est l'effet de l'inclinaison de la surface d'un corps chaud sur les corps qui sont dans le voisinage? — Comment expliquer l'abaissement de la température du globe terrestre pendant l'hiver? — Qui a inventé le thermomètre? — A qui sont dus ses points fixes? — Qu'entend-on par pouvoir réflecteur et absorbant des corps? — Quelles sont les expériences d'Archimède et de Buffon? — A quelles causes sont dus l'échauffement de l'air à la surface de la terre et le froid des hautes montagnes? — Quelle est la vitesse de propagation du calorique dans le vide et dans les gaz? — Qu'est-ce que la conductibilité des corps pour la chaleur? — Comment s'explique le chauffage des appartements, des serres? — Qu'est-ce que le thermosiphon? — Quelle est l'importance des corps non conducteurs de la chaleur dans les usages habituels de la vie? — Quelle est la conductibilité des tissus animaux?



SIXIÈME LEÇON.

DES VAPEURS.

Nous avons vu que lorsqu'on chauffe un liquide il arrive un moment où il entre en ébullition, empruntant à la source de chaleur, du calorique qui devient latent et sert à maintenir le corps à l'état de vapeur. Tous les corps n'entrent pas en ébullition à la même température :

L'eau bout à	100° ;
L'alcool à	78° ;
Le mercure à	550° ;
L'éther sulfurique à	55° ;
L'acide sulfureux à	10° au-dessous de zéro.

Mais les vapeurs se forment aussi par évaporation lente. Placez un vase plein d'eau dans l'air, on reconnaîtra facilement qu'au bout de quelque temps l'eau a considérablement diminué. Le liquide empruntant du calorique aux corps qui l'entourent, a passé lentement à l'état de vapeur. On comprendra facilement d'après cela la sensation de froid qu'on éprouve lorsqu'on sort du bain ; le corps est couvert d'humidité, l'eau s'évaporant ne peut le faire qu'en empruntant du calorique au corps sur lequel elle est placée ; on peut par un moyen analogue se procurer en quelques minutes de la glace. Pour cela il suffit de placer de l'eau dans une ampoule ou boule mince de verre. On entoure celle-ci de coton qu'on arrose d'éther ; on porte, le tout rapidement sous une cloche sur la machine pneumatique, ou fait le vide en levant ainsi à la fois et l'air

et les vapeurs d'éther qui se forment rapidement et sans cesse. En une ou deux minutes l'eau est congelée. L'évaporation de l'eau devient très-considérable lorsque l'air se renouvelle sans cesse et qu'il est à la fois sec et chaud. Plus la température de l'air s'élève, plus il peut recevoir de vapeur d'eau ; mais pour chaque degré de température il y a une limite de *saturation* qu'il ne peut dépasser. Un vase d'eau ne perdra rien par l'évaporation si au-dessus de lui se trouve de l'air saturé d'humidité. Lorsque de l'air très-humide est refroidi par une cause quelconque, aussitôt il abandonne de la vapeur d'eau qui se condense et revient à l'état liquide.

Lorsque dans l'atmosphère un courant d'air chaud et humide est rencontré par un courant d'air froid, on voit que les brouillards, les nuages, la neige, la pluie, etc., doivent en résulter. On comprendra ainsi que lorsque dans le ciel deux courants d'air, l'un froid, l'autre chaud et humide, viennent à se superposer, en un instant le ciel se trouve voilé de nuages.

Lorsque dans un lieu chaud et contenant de l'air saturé d'humidité on apporte un corps froid, celui-ci refroidit l'air qu'il touche et l'air laisse aussitôt déposer sur le corps froid l'humidité qu'il contenait. C'est ainsi qu'on explique l'humidité qui apparaît et couvre les bouteilles qu'on sort d'une cave froide pour les porter dans un lieu plus chaud. C'est à la même cause qu'il faut attribuer l'humidité qui couvre à l'intérieur les vitres de nos appartements lorsqu'il fait très-froid dehors ; au contraire, cette humidité couvre les vitres en dehors lorsque la température extérieure se réchauffe subitement. La rosée s'expliquera parfaitement par ce qui précède.

C'est en vertu des mêmes principes que l'eau s'évapore sans cesse à la surface des fleuves, des rivières, des lacs,

et surtout à celle des mers ; et c'est à sa présence dans l'atmosphère que sont dus les nuages et par suite la pluie, la neige, la grêle, etc., comme nous l'avons indiqué.

Ce que nous allons dire de l'eau et de la vapeur qu'elle forme peut s'appliquer à tout autre liquide. Si on introduit un peu d'eau dans le vide du baromètre, on remarque que la colonne de mercure sera aussitôt déprimée en vertu de la pression qu'exerce la vapeur ; il n'est pas nécessaire que la température soit élevée pour que le phénomène ait lieu. Un petit morceau de glace, mis dans la chambre ou vide barométrique, produit même à la température de 20° au-dessous de zéro un abaissement de 1^{mm},33 sur la colonne de mercure. Le tableau suivant donne les nombres que des expériences bien conduites ont fait connaître.

Degrés du thermomètre.	Dépression du mercure dans le baromètre.
— 20°	1 ^{mm} ,33
— 10°	2 00
+ 0°	5 06
+ 10	9 47
+ 20	17 31
+ 30	30 64
+ 40	53 00
+ 50	88 74
+ 60	144 07
+ 70	229 00
+ 80	352 01
+ 90	525 05
+ 100	760 00

Arrêtons-nous ici pour faire une remarque, c'est qu'à 100° du thermomètre centigrade, c'est-à-dire à la tem-

pérature où l'eau entre en ébullition, la tension de la vapeur étant égale à 760 millimètres de mercure, est précisément égale à la pression atmosphérique. Nous pourrions donc définir en général l'ébullition, le phénomène qui se produit lorsque par l'action de la chaleur un liquide fournit des vapeurs dont la tension est égale à la pression qu'exerce l'atmosphère. En ce moment aussi les bulles de vapeur sortent tumultueusement du liquide. On conçoit parfaitement que si la pression atmosphérique diminuait, l'ébullition devrait avoir lieu au-dessous de 100°, car la force élastique de la vapeur d'eau ferait plutôt équilibre au poids de l'atmosphère. Sur les montagnes, l'ébullition a lieu beaucoup plus tôt que dans les plaines. Ainsi, sur le mont Blanc, MM. Martins et Bravais ont trouvé qu'elle avait lieu à 84° centigrades. Si on voulait élever la température de l'eau, il faudrait alors fermer parfaitement les vases où l'eau est chauffée, mais il faut des appareils suffisamment solides et des précautions pour éviter l'explosion de la chaudière sous l'influence de la force élastique que prend la vapeur avec la température, ainsi que nous allons le voir. Une remarque importante, c'est que ces phénomènes n'ont lieu qu'autant qu'il y a assez de vapeur pour saturer l'espace vide où on la met, et pour cela il faut toujours qu'il y ait un excès de liquide. S'il n'en est pas ainsi, la vapeur n'atteindrait pas pour chaque degré de température le maximum de tension indiqué dans le tableau précédent. Cette condition est aussi essentielle pour le tableau qui suit, dans lequel, au lieu de représenter la tension maximum de la vapeur par la colonne de mercure qu'elle peut soutenir, nous la représentons par les pressions atmosphériques. Il serait facile d'ailleurs de remplacer celle-ci par des colonnes mercurielles, en se rappelant

que la pression atmosphérique équivaut à la pression d'une colonne de mercure de 760 millimètres.

Degrés du thermomètre.	Tension de la vapeur saturée exprimée en atmosphères.
100°.....	1
112,2.....	1 1/2
121,4.....	2
128,8.....	2 1/2
135,1.....	3
140,6.....	3 1/2
145,4.....	4
155,1.....	5
160,2.....	6
190,0.....	12
265,9.....	50

On voit avec quelle prodigieuse énergie augmente la force élastique de la vapeur d'eau, et on comprendra aisément, d'après ce qui précède, la puissance illimitée que l'étude de ces faits a mise dans la main de l'homme.

Quelques remarques sont nécessaires pour rendre plus facile l'intelligence des machines à vapeur. Il faut considérer *la vapeur*, — c'est ainsi que nous désignerons la vapeur d'eau, — comme un ressort auquel la chaleur donne une tension plus ou moins grande. On peut détendre ce ressort, d'abord en refroidissant l'espace où se trouve la vapeur, car, refroidie, elle disparaît, passe à l'état liquide, et le vide existe dans le lieu où auparavant se trouvait un fluide élastique doué d'une énergie plus ou moins puissante. Lorsque la tension de la vapeur est plus grande que la pression atmosphérique, on peut faire aussi disparaître cette tension en ouvrant à la vapeur

Ph.

6

un libre accès dans l'atmosphère : elle s'y précipite avec bruit.

Les machines à vapeur se divisent en *machines à basse* et *machines à haute pression*. Dans les premières, la tension de la vapeur varie de une à deux atmosphères ; dans les secondes, elle dépasse plus ou moins ce nombre. Une machine à vapeur se compose essentiellement d'une chaudière ou générateur de vapeur, d'un corps de pompe dans lequel se meut un piston. Si un tuyau partant de la chaudière amène de la vapeur sous le piston, celui-ci, poussé par elle, s'élèvera jusqu'à la limite de sa course ; si alors, en fermant un robinet, on empêche la vapeur d'arriver, et si on établit une communication entre le dessous du piston et un vase plein d'eau froide appelé *condenseur*, la vapeur ira immédiatement s'y liquéfier, et le ressort qui était sous le piston aura disparu ; si on laisse la pression atmosphérique faire descendre le piston, on aura ce qu'on appelle une *machine atmosphérique* ; mais si au contraire on fait agir la vapeur au-dessus du piston comme on l'a fait agir au-dessous, on aura une *machine à double effet et à condensation*. La tige du piston possédant un mouvement de va-et-vient, on le communique au moyen d'un levier et d'engrenages convenables aux divers appareils que la machine doit mouvoir.

Dans les machines à haute pression, au lieu de condenser la vapeur on la laisse se perdre dans l'atmosphère après qu'elle a agi. On conçoit que lorsque des machines à vapeur doivent avoir peu de volume ou peu de poids, telles que les locomotives et les bateaux, il est préférable d'employer la vapeur à haute pression, puisqu'on peut ainsi se dispenser des nombreux et lourds appareils demandés pour la condensation dans les machines puissantes à haute pression. Il faut activer vivement la combustion

pour fournir la quantité de vapeur demandée par la machine (1).

Les principaux moyens d'obtenir de la chaleur donnés à l'homme, sont :

1° De la demander aux rayons du soleil qui en est une source permanente ;

2° La compression ;

3° Le frottement ;

4° La combinaison des corps.

Ce dernier moyen est le plus puissant. Ainsi lorsqu'on brûle du bois, on combine avec l'oxygène de l'air le charbon et l'hydrogène que le bois contient, ce qui produit un dégagement de chaleur plus ou moins considérable. Lorsqu'on comprime un métal en le battant, on l'échauffe considérablement, l'air comprimé vivement dans ce briquet à air s'échauffe assez pour enflammer l'amadou placé dans un petit trou au-dessous d'un piston qui se meut à frottement dans le cylindre creux du briquet.

De même que l'air comprimé s'échauffe, de même en se dilatant il se refroidit. Ainsi, présentez un corps mauvais conducteur, tel qu'un morceau de verre, devant le jet d'air qui sort d'un vase dans lequel on a vivement comprimé de l'air humide, et aussitôt on verra paraître un petit mamelon de glace formé par l'eau que l'air humide abandonne sur le verre refroidi, et qu'il congèle

(1) Dans les locomotives, pour activer le tirage on permet à la vapeur, après qu'elle a produit son effet, de s'échapper par la cheminée, ce qui rend le courant d'air plus vif; mais lorsque la machine donne trop de vapeur, ou qu'on veut l'arrêter, il faut se garder de laisser sortir la vapeur par le même conduit que la cheminée, afin de ne pas augmenter le tirage et par suite la tension de la vapeur d'eau au delà de ce qui est nécessaire.

par suite de la basse température à laquelle le fait descendre sa dilatation à sa sortie.

C'est d'après ces mêmes principes qu'un jet de vapeur, sortant d'une machine à basse pression, est beaucoup plus brûlant, par suite beaucoup plus dangereux que le jet de vapeur qui sort avec énergie d'une machine à pression élevée.

Dans la marmite de Papin qui est un vase épais en cuivre, on peut porter l'eau à une température élevée; la résistance considérable du vase empêche de redouter les accidents que pourrait produire la force expansive de la vapeur. Dans ces marmites on peut extraire facilement la gélatine que les os contiennent, et elle se dissout dans l'eau de la marmite. En vertu de ce que nous avons dit précédemment, lorsqu'on ouvre brusquement une petite ouverture située au-dessus du couvercle de la marmite de Papin, il en sort un jet bruyant de vapeur, qui perd une grande partie de sa chaleur en vertu de l'expansion qu'elle éprouve à sa sortie.

QUESTIONNAIRE.

Des vapeurs. — Comment les vapeurs se forment-elles ? — Qu'est-ce que l'évaporation rapide et l'évaporation lente. — Comment se forme la rosée, les nuages, les brouillards, la pluie, etc. ? — Qu'est-ce que la force élastique de la vapeur d'eau ? — Varie-t-elle avec la température ? — Qu'est-ce que l'ébullition ? — Qu'entend-on par machines à vapeur à basse et haute pression. — Qu'est-ce que les locomotives ? — Quelles sont les sources différentes de chaleur ? — Qu'est-ce que le briquet à air ? — Expliquez la dilatation de l'air, et le froid qui l'accompagne. — Y a-t-il un phénomène analogue dans le jet de vapeur de la marmite de Papin ?

SEPTIÈME LEÇON.

On appelle *acoustique*, d'un mot grec qui signifie *entendre*, la partie de la physique qui traite du son.

Le son est l'impression produite sur l'organe de l'ouïe par les vibrations des corps élastiques ; celles-ci se transmettent à notre oreille par les ondulations d'un corps intermédiaire. Ainsi, par exemple, nous entendons même à une grande distance le son que produit une cloche sur laquelle on frappe avec un corps dur.

1° La cloche vibre, car si l'on approche de ses bords une pointe métallique, on entendra un frémissement particulier produit par les petits chocs multipliés de la pointe contre les parois de la cloche qui s'agitent vivement en vertu de son élasticité.

2° L'air transmet à notre oreille les ondulations que les chocs successifs des corps sonores lui impriment, car si on place un timbre sous la cloche de la machine pneumatique, et qu'ensuite, par le jeu d'une détente et d'un ressort, on fasse sonner les timbres, le son ne sera point entendu si le vide est bien fait. L'oreille percevra le son peu à peu, au contraire, à mesure qu'on laissera rentrer l'air. Lorsque les vibrations des corps sonores sont isochrones, c'est-à-dire d'égale durée, leur régularité produit ce qu'on appelle *un son musical*, qu'il faut bien distinguer de ce qu'on appelle *bruit*. Celui-ci est produit par une ou plusieurs vibrations instantanées. C'est plutôt un choc imprimé soudainement à l'air qu'une série de pulsations régulières.

Pour qu'un son musical puisse être perçu par l'oreille, il faut qu'il y ait un certain nombre de vibrations par seconde. On appelle *sous graves* ceux dans lesquels le nombre des vibrations exécutées pendant une seconde par le corps sonore est très-peu considérable, le son deviendra plus aigu si le nombre des vibrations augmente.

On croyait que le son le plus grave que l'oreille humaine pût percevoir était l'*ut* grave donné par les tuyaux d'orgue de 32 pieds de long, il y a dans ce son 32 vibrations par seconde, mais le célèbre Savart, qui a fait faire de grands progrès à l'acoustique, a prouvé que l'oreille pouvait encore percevoir certains sons correspondant à 14 ou 15 vibrations : il faut seulement que les vibrations aient une énergie suffisante. Ce même physicien a prouvé que l'oreille percevait encore un son produit par 48,000 vibrations par seconde. Telle est la merveilleuse sensibilité de l'oreille, qu'elle sait apprécier la plus légère différence qui existe entre les divers sons, malgré l'énorme rapidité des vibrations qui les produisent.

Quelle que soit la gravité ou l'acuité du son, sa vitesse de propagation est toujours la même. Cette vitesse varie avec la température.

A 0°	elle est par seconde de	331 ^m ,12
A 10°	»	337 28
A 16°	»	340 88

La vitesse de la lumière étant infiniment grande par rapport à celle du son, on comprendra pourquoi lorsqu'un coup de fusil est tiré à une assez grande distance de nous, on entend le son longtemps après l'apparition de la lumière qui est instantanément aperçue. Si l'on compte combien de secondes se sont écoulées entre l'ap-

parition de la lumière et l'audition du son, il sera facile de reconnaître qu'en répétant 557^m autant de fois qu'il y a de secondes écoulées, on aura la distance à laquelle se trouve l'instrument qui a fait explosion. On peut de la même manière, par le temps qui s'écoule entre l'éclair et le bruit du tonnerre, calculer à quelle distance de nous est la foudre.

C'est en tirant le canon pendant la nuit sur deux montagnes fort éloignées (leur distance était de 9549 toises), que des physiciens français ont déterminé la vitesse du son dans l'air.

Dans les corps autres que l'air, la vitesse du son est différente. Dans l'eau elle est de 1455 mètres par seconde, ce résultat a été fourni par l'expérience ; le calcul a prouvé que dans l'alcool la vitesse serait de 1157 mètres. Que dans le bois de sapin, la vitesse serait 18 fois celle de l'air ; — dans le cuivre, 12 ; — dans le bois de noyer, 10,33 ; — dans l'argent 9. Ce qui suffit pour prouver qu'elle est plus grande dans les solides que dans les liquides, et dans ceux-ci plus grande que dans les gaz.

Le son est réfléchi par le corps qu'il rencontre exactement comme le calorique et la lumière. L'angle sous lequel il vient frapper la surface réfléchissante est le même que celui sous lequel il la quitte, ce qu'on exprime en disant que l'angle d'incidence est égal à l'angle de réflexion.

Lorsqu'un son produit par un corps sonore est réfléchi par des obstacles, il donne lieu au phénomène de l'écho.

Plus l'obstacle qui réfléchit le son est loin du corps qui le produit, et plus il s'écoule de temps avant que le son ne revienne à son point de départ. On peut quelquefois prononcer un grand nombre de syllabes, qui toutes sont successivement rapportées à l'oreille par l'écho,

après que le mot a été prononcé : de pareils échos sont appelés polysyllabiques. Les échos multiples sont ceux dans lesquels le son est renvoyé d'un obstacle à un autre en passant à côté de l'observateur qui entend ainsi plusieurs sons successifs : ainsi, par exemple, il y a toujours des échos multiples lorsqu'on se trouve placé entre deux murs parallèles et suffisamment distants.

Dans la perception d'un son isolé il faut distinguer :

1° *La durée*. Elle dépend de l'élasticité du corps sonore. En effet, si les vibrations durent longtemps, le son se prolonge.

2° *L'intensité*. Elle dépend de l'aptitude ou largeur des vibrations des corps sonores.

3° *L'acuité* et la gravité que nous connaissons déjà.

4° *Le timbre*. C'est la qualité donnée au son par la nature, la forme du corps sonore par la nature et la forme des corps environnants qui vibrent avec lui. Il est facile de distinguer le son de la flûte du son du hautbois. On sait aussi que les salles de musique sont plus ou moins favorables à tel ou tel instrument ; car c'est une loi en acoustique que lorsque les corps élastiques se trouvent en présence d'un corps sonore qui vibre, les ondulations communiquées alors à l'air suffisent pour faire vibrer ces corps s'il arrive que le nombre de vibrations exécutées par le corps sonore soit le même que celui que les corps élastiques exécuteraient si on les mettait en mouvement. Si l'on met deux violons en parfait accord l'un avec l'autre et qu'on fasse avec l'archet résonner une corde de l'un d'eux, la corde semblable de l'autre violon parlera d'elle-même.

On appelle chambres sonores celles dont toutes les parties peuvent vibrer avec une facilité plus ou moins grande, lorsqu'un ou plusieurs sons s'y font entendre.

3° *L'accentuation*. C'est la qualité du son imprimé à l'origine de son émission par la voix humaine au moyen des consonnes. Ces modifications que l'accentuation fait éprouver aux ondes aériennes et sur lesquelles repose le mécanisme merveilleux de la parole humaine, sont un mystère que la science n'a pas pu approfondir.

La voix dans l'homme est produite par l'air que les poumons font mouvoir et qui passe dans un conduit cartilagineux appelé *trachée artère*, à l'extrémité duquel sont deux lames membraneuses qui, par leurs oscillations lorsque l'air passe, produisent des sons comme un corps élastique. Lorsque l'accentuation seule les modifie, on dit que l'homme parle ; mais lorsqu'un mécanisme particulier fait varier la vitesse avec laquelle ces deux membranes oscillent, les sons produits correspondant à un nombre différent de vibrations sont eux-mêmes différemment placés dans l'échelle musicale, alors c'est un chant qui sort du gosier. Les poumons sont donc indispensables pour la voix ; les animaux sans poumons ne peuvent produire des sons, le bruit seul leur est possible.

Le mécanisme de la voix humaine n'a point encore été expliqué dans son ensemble d'une manière satisfaisante, c'est le motif même pour lequel nous sommes brefs sur cet objet.

QUESTIONNAIRE!

Qu'est-ce que l'acoustique? — Qu'est-ce que le son? — L'intermédiaire d'un corps élastique est-il nécessaire pour que le son se propage? — Qu'est-ce que le bruit? — Quelle est la limite des sons graves et des sons aigus perceptibles? — Quelle est la vitesse du son? — Quelle est-elle? — Com-

ment l'a-t-on mesurée? — Comment varie-t-elle dans les solides, les liquides et les gaz? — Qu'est-ce que l'écho? — Quels sont les divers échos? — Que faut-il distinguer dans la perception d'un son isolé? — Qu'est-ce que le timbre du son? — Qu'est-ce que l'accentuation? — Comment la voix est-elle produite?



HUITIÈME LEÇON.

DU MAGNÉTISME.

Presque partout, surtout dans notre continent, on trouve des substances qui ont la propriété d'attirer le fer : on a donné à ces substances minérales le nom d'*aimants naturels* ou *pierre d'aimant*. Les Grecs l'appelaient *magnes*, de la ville de Magnésie, près de laquelle cette pierre est commune. C'est de là que vient le mot *magnétisme* pour nommer la science qui s'occupe des propriétés de ces corps.

La force attractive des aimants ou force magnétique s'exerce à distance, mais elle diminue à mesure que la distance augmente; de plus elle traverse l'air, le vide et tous les corps quels qu'ils soient, excepté le fer.

Tous les points d'un aimant n'attirent pas le fer avec une égale intensité. On reconnaît qu'il y a toujours deux points où cette attraction est *maximum* et une ligne où elle est nulle. C'est ce qu'on appelle *les deux pôles* et *la ligne moyenne de l'aimant*.

On ne peut séparer les pôles; car si on brise un aimant, chaque fragment, quelque petit qu'il soit, aura sa ligne moyenne et ses deux pôles. Un aimant chauffé au rouge perd son magnétisme sans perdre de poids. Donc si la vertu magnétique est due à un fluide particulier, ce fluide est pour nous impondérable. Lorsqu'on approche un

morceau de fer d'un aimant, il devient aimant lui-même et possède tant qu'il est en contact la propriété d'attirer aussi le fer. L'acier présente cette différence avec le fer, qu'il résiste quelques moments à l'action attractive de l'aimant, mais une fois qu'il y a obéi, il devient aimant permanent et continue même après sa séparation de la pierre à attirer le fer qu'on lui présente. Cette propriété est d'autant plus vive dans l'acier, qu'il possède une trempe plus roide; on dit alors qu'il a une force coercitive, c'est-à-dire qu'il conserve le fluide magnétique.

En battant, en tordant, en écrouissant du fer, on lui donne une certaine force coercitive.

Si l'on suspend une aiguille d'acier aimantée au moyen d'un fil attaché à son milieu, ou si on la place sur du liège flottant à la surface de l'eau, l'aiguille, pour le même lieu, prend toujours la même direction vers un point déterminé de l'horizon.

Si l'on approche d'une aiguille aimantée suspendue l'un des bouts d'une autre aiguille aimantée, on verra que celui-ci attire un des côtés de l'aiguille et repousse l'autre. Si les deux aiguilles étaient suspendues l'une et l'autre et si on appelle pôles de même nom les pôles de l'aiguille qui se dirigent vers le même point de l'horizon, on reconnaîtra que les pôles de même nom se repoussent et que les pôles de nom contraire s'attirent. Si un morceau de fer sans force coercitive est approché de l'aiguille suspendue, il attirera indistinctement l'un ou l'autre pôle.

On voit d'après cela que si on veut attribuer à un morceau de fer placé dans la terre l'attraction qui dirige l'aiguille aimantée vers le nord, il faut que ce fer soit aimanté, puisque l'un des pôles de l'aiguille aimantée est

attiré et l'autre repoussé. Nous pouvons donc ainsi regarder la terre comme un vaste aimant ayant sa ligne moyenne vers l'équateur et ses pôles magnétiques situés à peu près vers les pôles de rotation. L'observation de la direction que prend l'aiguille aimantée dans les différents points du globe permet du moins cette hypothèse. On appelle *méridien magnétique*, le plan qui passe par la direction de l'aiguille aimantée et le centre de la terre, ou, ce qui est la même chose, le plan vertical qui passe par la direction de l'aiguille aimantée. On appelle *déclinaison* l'angle que fait le méridien magnétique avec le méridien astronomique. C'est, si l'on veut, l'angle que fait la direction de l'aiguille avec la ligne qui va vers le nord ; la *déclinaison* varie dans les différents lieux de la terre. Quand elle est nulle, l'aiguille aimantée se dirige exactement vers le nord. La déclinaison est dite *orientale* ou *occidentale*, suivant que le pôle de l'aiguille qui regarde vers le nord se dévie à l'occident ou à l'orient.

D'un pôle terrestre à l'autre il existe au moins deux lignes pour lesquelles la déclinaison est nulle ; elle traverse dans des directions tout à fait sinuées les continents et les mers du globe.

On appelle *boussole* tout appareil destiné à donner la direction de l'aiguille aimantée. Une boussole de déclinaison est toujours composée d'une aiguille aimantée qui est mobile dans un plan horizontal ayant son centre de gravité appuyé sur un pivot qui est le centre d'un cercle divisé ; la boîte qui la renferme est recouverte d'une glace qui laisse apercevoir les mouvements de l'aiguille, mais les met à l'abri de l'agitation de l'air. Lorsqu'on sait que dans un pays, dans le nôtre par exemple, la déclinaison est occidentale et de 22°, cela veut dire que si l'on

veut avoir le point nord de l'horizon, il faudra le chercher à 22° à droite de la direction indiquée par l'aiguille. Une boussole est donc un instrument précieux pour les navigateurs, à la condition toutefois de savoir de combien l'aiguille se dévie de la direction nord pour le lieu où l'on croit être.

L'électricité agit vivement sur l'aiguille aimantée, ce qui suffit déjà pour assigner une cause électrique au phénomène de la foudre et des aurores boréales, car on a vu quelquefois la foudre tombant sur des vaisseaux altérer profondément, changer même le magnétisme des boussoles ; les tremblements de terre, les éruptions volcaniques, produisent aussi des variations sur l'aiguille aimantée. Elle s'agite vivement pendant toute la durée des aurores boréales. Si la terre est un vaste aimant, elle doit aimer le fer doux qui se trouve à sa surface. Effectivement on peut rendre cet effet sensible en tenant à peu près verticale une longue tige de fer doux (on entend par là du fer sans force coercitive) ; on peut, en approchant une aiguille aimantée mobile, reconnaître que la longue tige de fer est devenue un aimant ayant un pôle nord, un pôle sud et une ligne moyenne, car elle attirera par un bout et repoussera par l'autre l'aiguille aimantée. Si on la renverse, le pôle sud restera toujours en bas et le pôle nord en haut. Mais si pendant qu'elle est verticale on lui donne de la force coercitive, — et il suffit pour cela de la tordre, de la comprimer, de lui donner un coup de marteau, etc..., — on obtiendra un véritable aimant et les pôles ont été fixés. Toutes les pièces de fer qui dans les édifices sont à peu près verticales, sont toujours aimantées.

On voit donc que sur un vaisseau on doit éloigner la boussole non-seulement des masses de fer qui peuvent

par leur attraction altérer la véritable direction de la boussole, mais aussi de toutes les tiges de fer qui, s'aimantant sous l'influence du globe, peuvent agir d'une manière très-diverse sur le magnétisme de l'aiguille aimantée.

QUESTIONNAIRE.

Qu'est-ce que le magnétisme? — D'où vient ce nom? — Quels sont les caractères de la force magnétique? — Qu'entend-on par pôles et ligne moyenne? — Quelle est l'influence de la chaleur sur le magnétisme? — Cette propriété se communique-t-elle au fer? — à l'acier? — Qu'est-ce que la force coercitive? — Qu'appelle-t-on pôles de même nom et de nom contraire? — De quelles propriétés jouissent-ils? — Quels sont les caractères qui distinguent les corps magnétiques, non magnétiques et les corps aimantés? — Qu'est-ce que la déclinaison? — la boussole? — Quel est le rôle que joue la terre dans ces phénomènes? — Quelle est l'action de l'électricité sur le magnétisme? — Quelle est celle des volcans? — des aurores boréales, etc.? — Quelle est l'action de la terre sur le fer doux?



NEUVIÈME LEÇON.

L'ÉLECTRICITÉ.

Il y a des substances qui par le frottement prennent la propriété d'attirer les corps légers, telles sont la cire, la résine, le soufre, etc. Thalès découvrit cette propriété 600 ans avant Jésus-Christ dans la substance nommée *ambre*, en grec *ἤλεκτρον*, d'où vient le mot *électricité*.

Si l'on frotte un tube de verre, il devient électrique, et quel que soit le point qu'on touche avec le bout du doigt, on n'enlèvera qu'au point touché la propriété d'attirer les corps légers. Mais en fixant à l'extrémité du tube une tige métallique, on remarquera qu'en frottant le verre vivement, surtout avec une fourrure telle qu'une peau de chat, le métal reçoit lui-même par son contact avec le verre la propriété d'attirer les corps légers; et si l'on vient à toucher le métal avec le bout du doigt en quelque point que ce soit, le métal qui avait été électrisé perdra à l'instant et partout ses propriétés.

Cette faculté particulière a fait diviser les corps en deux classes : corps *bons conducteurs* de l'électricité, c'est-à-dire perdant la propriété d'attirer les corps légers lorsqu'on touche en un point de leur surface, et par opposition les autres sont appelés *mauvais conducteurs*. Les corps non conducteurs sont les seuls qui, lorsqu'on les frotte en les tenant avec la main, se

couvrent d'une couche d'électricité ou de ce qu'on appelle *fluide électrique*.

Pour qu'un corps bon conducteur puisse être couvert d'une couche d'électricité, il faut que le corps conducteur soit séparé de la main ou du corps qui le supporte par un corps mauvais conducteur, tel que du verre, du soufre, de la gomme laque, de la soie.

Si on suspend à un fil de soie une petite balle de sureau, on pourra la couvrir d'une couche électrique en en approchant un bâton de cire frotté. On aura ce qu'on appelle un *pendule électrique*.

Si on approche l'un de l'autre deux semblables pendules, électrisés tous les deux par leur contact avec le même corps électrique, on remarquera que ces deux pendules se repoussent. Si l'un d'eux avait été touché avec de la résine électrisée, l'autre avec du verre, les deux pendules se précipiteraient l'un vers l'autre. Si l'on répète cette expérience avec tous les corps électriques connus, on verra qu'il y a toujours ou attraction ou répulsion; on est donc obligé d'admettre :

1° Que les corps non conducteurs, lorsqu'on les frotte convenablement, développent deux espèces d'électricité;

2° Ces électricités ont été appelées *vitree* et *résineuse*, parce que le verre et la résine frottés avec une fourrure, telle qu'une peau de chat, les développent l'une et l'autre;

3° On remarquera, comme pour le magnétisme, en appelant électricité de même nom celle qui est produite par le frottement des mêmes substances, que les électricités de même nom se repoussent, et de noms contraires s'attirent.

Pour expliquer ces phénomènes, les physiciens admettent que tous les corps de la nature possèdent les

deux espèces d'électricité en quantités égales. Des quantités égales des deux sortes d'électricités étant réunies, forment du fluide naturel qui ne produit aucun phénomène d'attraction ou de répulsion. Les corps en cet état sont alors ce qu'on appelle à *l'état naturel*. Mais si par le frottement ou par un autre moyen on vient à enlever l'une des électricités, l'autre, devenue prédominante, donnera lieu aux phénomènes d'attraction et de répulsion ci-dessus. Effectivement, si on électrise deux pendules électriques égaux au moyen de quantités égales de fluide électrique différent, les deux pendules s'attireront, mais une fois qu'ils se seront touchés, tout signe électrique disparaîtra, les deux quantités égales d'électricité vitrée et résineuse s'étant réunies pour former du fluide naturel. D'après ce qui précède, lorsqu'un bâton de cire électrisé est approché d'un pendule de sureau, l'électricité résineuse du bâton agit à distance pour repousser l'électricité résineuse du pendule et attirer son électricité vitrée. Celle-ci étant la plus voisine, l'attraction devient prédominante, le pendule s'élance donc sur le bâton de cire, puis se recouvrant d'une couche d'électricité résineuse, il est repoussé immédiatement par le fluide résineux que le bâton de cire possède en abondance.

Tout corps électrisé qui touche à la terre, que les physiciens appellent le *réservoir commun*, lui emprunte immédiatement le fluide qui lui est nécessaire pour passer à l'état naturel.

Les corps bons conducteurs ne donnent pas de signes électriques quand on les frotte, parce que dès que la séparation des fluides a lieu, le contact du corps avec la main, et par suite avec le sol, suffit pour que le corps repasse à l'état naturel. Mais si l'on adapte à une tige

métallique un manche de verre, on pourra tout aussi facilement que pour un bâton de cire, électriser le métal en le frottant ou en le frappant avec une peau de chat.

On appellera *corps électrisé*, celui dans lequel l'une des deux espèces d'électricité sera prédominante. Il faut concevoir un corps conducteur électrisé comme recouvert sur toute sa surface d'une couche très-mince de fluide électrique, soit vitré soit résineux. La couche de fluide n'est pas toujours d'égale épaisseur sur la surface; on a remarqué que sur les parties anguleuses et pointues, la couche de fluide est beaucoup plus considérable que sur les parties arrondies; et comme le fluide électrique, par la répulsion qu'il exerce sur lui-même, fait effort contre l'air qui le retient sur la surface du corps, il s'ensuit que sur les parties anguleuses et sur les pointes, la tension que le fluide électrique possède est énorme, et que par ces parties du corps il se répand avec facilité dans l'air. Il faudra donc éviter les pointes sur les conducteurs destinés à conserver l'électricité.

Lorsqu'un corps isolé (c'est-à-dire supporté par une substance isolante) est vivement électrisé, on voit en approchant le doigt jaillir une étincelle et le corps a immédiatement perdu sa charge électrique. On explique ce phénomène en disant que lorsque l'on approche le doigt d'un corps électrisé, l'électricité du doigt est décomposée à distance, l'électricité de nom contraire à celle du corps s'accumule sur le doigt, attirée par celle qui est sur le corps électrisé, celle-ci se réunit dans le point du corps le plus voisin du doigt, et l'attraction des deux fluides de nom contraire peut devenir assez forte pour qu'elle surmonte la résistance de l'air et se réjoigne au travers de l'espace qui la sépare en produisant une étincelle et un bruit particulier.

On comprendra facilement, d'après ce qui précède, les instruments appelés *paratonnerres*, qui sont de longues tiges en fer terminées par une pointe faite avec une substance qui ne peut se rouiller ou plutôt s'oxyder comme le fer; les substances que l'on emploie sont le platine, l'argent, le cuivre doré.

Cette tige est en communication *parfaite et métallique* avec la terre. Lorsqu'un nuage électrisé passe au-dessus de la maison, l'électricité de nom contraire empruntée au *réservoir commun* s'accumule sur la pointe où elle est attirée par celle du nuage. Si une étincelle ou la foudre doit jaillir du nuage, elle tombera évidemment sur l'endroit où elle est le plus attirée et ce sera sur la pointe où se trouve l'électricité de nom contraire. Le passage d'un nuage au-dessus d'un paratonnerre suffit souvent, sans qu'il y ait étincelle, pour que le nuage soit désarmé, la recombinaison des fluides ayant lieu à travers l'air.

La recombinaison subite des deux électricités est accompagnée d'une commotion plus ou moins violente que ressent la personne à travers le corps de laquelle la recombinaison a lieu.

Si l'air sec conduit mal l'électricité, ainsi que le prouvent les faits précédents, l'air humide au contraire la conduit bien; de manière qu'un corps électrisé mis dans de l'air sec conserve longtemps sa charge, qu'il perdrait rapidement si l'air était humide.

L'étincelle électrique peut enflammer l'esprit-de-vin, l'éther, différents autres corps; elle peut aussi décomposer les corps qui se trouvent sur son passage.

On appelle *machines électriques* les appareils très-divers destinés à fournir l'une ou l'autre des deux électricités. La plupart se composent d'un plateau circulaire

de verre, traversé par un axe qui lui est perpendiculaire et qui porte une manivelle ; au moyen de celle-ci on fait tourner le plateau entre deux coussins de peau flexible, mais sèche ; le plateau de verre se recouvre alors d'une couche plus ou moins considérable d'électricité vitrée, tandis que l'électricité résineuse du plateau de verre, arrêtée par les coussins, se rend au moyen de tiges métalliques dans le réservoir commun avec lequel les coussins communiquent. Si l'on approche du plateau de verre un corps conducteur supporté par des pieds de verre ; on remarquera que le fluide naturel de celui-ci est séparé en ses deux parties, le fluide résineux étant du côté du plateau de verre, le fluide vitré du côté opposé. Tout conducteur isolé qui serait mis à la suite de celui-ci éprouverait encore d'une manière secondaire le même effet que le conducteur le plus près de la machine, effet qui peut se produire à une distance plus ou moins grande, suivant la puissance variable de l'appareil électrique. Chacun de ces conducteurs isolés possédera une ligne moyenne et deux pôles électriques de noms différents.

On pourrait, en approchant le doigt d'un quelconque de ces conducteurs, tirer une étincelle. Si le doigt est approché du conducteur le plus voisin de la machine, la cause électrique qui agit à distance venant à disparaître, tous les autres conducteurs repassent subitement à l'état naturel, et cette recomposition est souvent, dans bien des circonstances, accompagnée de phénomènes particuliers très-remarquables.

Ce qu'on appelle *le choc en retour de la foudre* en offre un exemple curieux. Supposons qu'un nuage soit très-vivement électrisé, il agit par influence sur les nuages qui l'entourent et qui se trouvent électrisés

comme de véritables conducteurs isolés. Cette influence peut se faire sentir à des distances assez grandes et sur des nuages qui, se rapprochant de la terre, peuvent à leur tour agir par attraction sur le fluide naturel de la terre et des êtres qui sont à sa surface. Si le nuage primitif, cause de toutes les charges électriques qui l'entourent, vient à se rapprocher assez de terre pour qu'une étincelle, c'est-à-dire la foudre en puisse jaillir, aussitôt tous les nuages environnants repassent brusquement à l'état naturel, et souvent à de grandes distances du lieu où la foudre est tombée on voit des animaux qui périssent par le choc brusque qui résulte de ces retours subits à l'état d'équilibre.

Si l'on suspend un pendule électrique entre deux corps voisins électrisés en sens contraire, le pendule ira vers l'un d'eux, puis sera repoussé par celui-ci après qu'il se sera recouvert d'une petite couche électrique de même nom ; il reviendra donc à l'autre et sera ensuite repoussé vers le premier, et après une série plus ou moins longue d'oscillations, portant à chaque corps un peu de l'électricité de l'autre, il opérera la réunion des deux électricités.

Si le pendule mobile et isolé est en métal, et que les corps électrisés contre lesquels il vient frapper soient des corps sonores, tels que des timbres d'horlogerie, on aura ce qu'on appelle le *carillon électrique*.

Le célèbre Franklin se servait d'un appareil de ce genre pour savoir quand un nuage, vivement électrisé, passait au-dessus de sa maison. Il disait plaisamment que la foudre en passant près de lui tirait la sonnette pour lui faire savoir sa présence.

Les physiciens regardent, d'après l'explication de Volta, le phénomène de la grêle comme produit par

l'électricité. D'après eux, lorsque deux nuages électrisés en sens contraire sont séparés par une couche d'air froid, les petites molécules aqueuses sont repoussées d'un nuage à l'autre, dès qu'elles se sont recouvertes d'une couche d'électricité exactement comme dans le carillon électrique. Traversant un air froid, elles s'y congèlent, et quand les nuages perdant ainsi leur charge électrique, n'exercent plus une attraction suffisante sur les grêlons devenus eux-mêmes plus lourds, ceux-ci tombent sur le sol. Cette explication rendrait compte du bruissement particulier qui précède la grêle.

Lorsqu'on prend une lame de verre telle qu'un carreau, et qu'on colle sur chacun des côtés une feuille très-mince d'étain, on pourra électriser en sens contraire les deux feuilles, et chaque électricité agissant à distance à travers la lame de verre pour attirer l'autre, on pourra ainsi des deux côtés accumuler une quantité d'électricité considérable. Si l'on touche avec le doigt une seule des feuilles d'étain, l'électricité qui s'y trouve y restera attirée vivement par l'électricité de nom contraire qui est sur la feuille d'étain opposée; mais si l'on mettait chacune des deux mains à la fois sur les deux côtés, les deux électricités se réuniraient vivement à travers le corps en produisant une secousse plus ou moins redoutable.

Au lieu de prendre une lame de verre, on se sert aussi de bouteilles, dans l'intérieur desquelles on met des lames d'or et à l'extérieur des feuilles d'étain : elles portent le nom de *bouteilles de Leyde*, parce que c'est dans cette ville que le physicien Muschembroeck les inventa.

La bouteille de Leyde permet d'accumuler de l'électricité en quantité considérable, surtout si la bouteille

est grande et en verre mince, pour que les fluides électriques puissent agir l'un sur l'autre à une moindre distance. Plusieurs bouteilles de Leyde réunies constituent une batterie électrique. Avec des batteries suffisamment puissantes, l'abbé Nollet a renversé un nombre assez considérable d'hommes qu'il soumettait à la commotion électrique. Les expériences les plus variées peuvent d'ailleurs être faites avec la bouteille de Leyde, aussi les charlatans ne s'en font pas faute.

Une expérience fort simple et fort curieuse est la suivante : prenez une pièce de monnaie, par exemple une pièce de cinq francs, frottez-la très-légèrement avec une poudre noire ou colorée, par exemple de la plom-bagine, de manière à mettre partout dans les creux de la pièce de la poudre sans qu'il y en ait sur les reliefs. Placez cette pièce doucement sur un carré de papier qui, lui, reposera sur une lame mince de verre, et cette lame sera placée sur une plaque métallique, touchez avec le bouton de la bouteille de Leyde la pièce de monnaie, et aussitôt l'on verra son empreinte remarquablement pure dessinée sur la feuille de papier, exemple curieux de répulsion électrique.

On peut faire bien simplement une machine électrique, en coulant de la résine dans un plateau circulaire et creux de bois ou de fer-blanc. On la laisse refroidir, puis en la frottant avec une peau de chat bien sèche, la résine s'électrise vivement. Si alors on vient placer au-dessus de ce gâteau de résine un disque de métal ou de bois, recouvert de feuilles d'étain aussi larges que possible, mais cependant d'un diamètre moindre que le gâteau de résine, si on a eu soin d'attacher au milieu du disque de bois soit des fils de soie soit un manche de verre, on verra, en enlevant le disque et approchant

le doigt, jaillir une étincelle électrique. On concevra la théorie de cet instrument, en remarquant que lorsqu'on place le disque métallique sur le gâteau, le disque s'électrise par influence, ses deux électricités sont séparées ; en le touchant avec le doigt pendant qu'il touche au gâteau on permet à l'électricité résineuse qui est repoussée de se rendre dans le réservoir commun, et lorsqu'on enlève le disque avec le manche isolant, le disque reste chargé d'un excès d'électricité positive. On peut répéter autant de fois qu'on le voudra la même expérience, sans que pour cela le gâteau de résine cesse d'être électrisé, car il ne donne rien, et par conséquent ne peut rien perdre.

On peut ainsi charger des bouteilles de Leyde. On appelle cet instrument *électrophore* (porteur d'électricité.)

QUESTIONNAIRE.

Qu'entend-on par propriété électrique? — Par qui cette propriété fut-elle découverte? — Nommez quelques-uns des corps qui la possèdent. — Pourquoi l'appelle-t-on électricité? — Comment divise-t-on tous les corps de la nature sous le rapport électrique? — Quelles sont les propriétés des fluides de même nom et de nom contraire? — Quel est le nom qu'on leur donne? — Qu'entend-on par fluide naturel et état naturel des corps? — Qu'est-ce que le réservoir commun? — Quelle est l'influence des pointes? — Qu'est-ce qu'un paratonnerre? — Qu'est-ce qu'une machine électrique? — Qu'est-ce que l'électricité à distance? — Qu'est-ce que le choc en retour? — Qu'est-ce que le carillon électrique? — Comment la grêle est-elle produite? — Qu'est-ce que la bouteille de Leyde? — Qu'est-ce que l'électrophore?

DIXIÈME LEÇON.

GALVANISME.

On appelle *galvanisme* cette partie de la physique dont les premiers phénomènes ont été découverts en 1789 par Galvani, médecin et professeur à Bologne. Ces découvertes furent accompagnées des discussions les plus vives à la suite desquelles le célèbre Volta, qui resta le vainqueur dans la lutte, enrichit la science d'une foule de faits et d'appareils de la plus haute importance. On donne aussi au galvanisme le nom d'*électricité développée au contact*. Lorsque deux corps de nature différente sont mis en contact, une force électro-motrice se produit aussitôt et les deux corps se chargent d'électricité contraire. On voit de suite toute la fécondité de cette loi, puisque le contact de deux corps hétérogènes suffira partout pour produire un mouvement électrique.

Le zinc et le cuivre sont des corps qui présentent cette propriété à un haut degré. On appelle *couple* ou *paire* la réunion des deux corps hétérogènes dont le contact produit le mouvement électrique.

D'après Volta il faut croire que la force électro-motrice agit pour décomposer le fluide naturel qui se trouve sur les surfaces de contact.

Les couples voltaïques peuvent être placés les uns à côté des autres, de manière à ce que leur action s'ajoute, et leur ensemble constituera un appareil électrique

plus ou moins puissant. Le premier de ce genre a été la pile à colonne, elle est formée de disques égaux de zinc et de cuivre superposés ; chaque couple de disques étant séparé par une rondelle de drap humide.

Considérons d'abord ce qui arrive dans un seul couple.

En vertu de la force électro-motrice, le disque de cuivre se recouvre d'une couche d'électricité négative et le disque de zinc d'une couche égale d'électricité positive ; le même effet aura lieu dans tout autre couple semblable. Mettons l'un au-dessus de l'autre deux de ces couples en les séparant toutefois par une rondelle de drap humide qui, par son contact avec les métaux, ne donne pas une force électro-motrice appréciable. Supposons que les métaux soient placés dans cet ordre :

1. Zinc.
2. Cuivre.
3. Rondelle de drap humide.
4. Zinc.
5. Cuivre.
6. Rondelle de drap humide.

Il faut comprendre qu'au contact du zinc et du cuivre il y a une force particulière qui sépare les deux électricités, obligeant l'électricité positive ou vitrée à aller du côté zinc, et l'électricité négative ou résineuse à aller du côté cuivre, et comme l'effet des couples s'ajoute, sur le zinc n° 1 il y aura une quantité d'électricité positive double, et sur le cuivre n° 5, une quantité d'électricité négative double aussi de celle qui aurait été sur ces disques s'il n'y avait en qu'un seul couple. Cette force agit sans cesse, de manière que si on enlève par le contact l'électricité développée sur chaque disque extrême, à l'instant même la perte se répare ; des surfaces de

contact métalliques devant être regardées comme des machines électriques qui décomposent perpétuellement le fluide naturel qui arrive à leur surface. On a rendu humides les rondelles de drap, car sèches, elles auraient isolé l'un de l'autre les couples agissant et auraient opposé obstacle à la marche du fluide.

Ces disques superposés formant une colonne (en latin *pila*), c'est de là que le mot *pile* a été donné à l'appareil de Volta.

Les formes de la pile sont très-diverses, et cette machine aujourd'hui est l'une des plus puissantes que les physiciens aient construites. Par son secours on obtient un courant électrique continu et d'une puissance qui n'a pas de limites. Ordinairement on fixe deux fils aux extrémités de la pile appelées pôles. En les réunissant on voit apparaître une série d'étincelles.

Si la pile est puissante et qu'on touche les deux fils avec des mains humides, on éprouve des commotions plus ou moins redoutables par suite de la recombinaison de l'électricité à travers le corps.

Si le courant électrique passe à travers des fils métalliques suffisamment fins, il peut les rougir, les liquéfier et même les réduire en vapeur.

Les corps peuvent être décomposés par la pile, la chimie a tiré le plus grand secours de la tendance qu'ont les éléments des corps décomposés à se porter plutôt à un pôle qu'à l'autre, et comme on appelle positif et négatif les pôles de la pile, on dit que tout corps composé est formé d'un élément électro-positif et d'un élément électro-négatif, qu'il est facile de connaître en les soumettant à la décomposition de la pile. C'est par ce moyen que le célèbre Humphry Davy a obtenu les métaux alcalins, le potassium par exemple, en

soumettant à l'action d'une pile très-énergique l'alcali appelé potasse. L'oxygène se portait au pôle positif et le métal au pôle négatif.

L'eau formée de deux éléments gazeux, l'oxygène et l'hydrogène, est décomposée par la pile : l'oxygène se porte au pôle positif, l'hydrogène au pôle négatif.

On appelle *oxygène* l'élément négatif, et *hydrogène* l'élément positif, car c'est en vertu des lois qui régissent les deux électricités que les deux gaz se rendent aux pôles qui ont une électricité différente de la leur.

Lorsque le courant électrique puissant passe entre deux pointes de charbon dans un ballon de verre parfaitement vide d'air, la température s'élève sans que la chaleur se consume et la lumière qui se produit est tellement éblouissante qu'on peut la comparer à celle du soleil.

Des tentatives d'éclairage ont été faites par ce moyen qui, s'il pouvait devenir économique, serait un grand bienfait ; car cette lumière produite sous une enveloppe de cristal ne donne pas à redouter l'incendie.

Dans les mines de houille elle ne ferait pas craindre les explosions ; enfin, dans nos appartements elle rendrait le renouvellement de l'air moins nécessaire, puisque cette lumière, n'étant pas produite par la combustion, n'appauvrirait pas l'air d'oxygène qui, dans les procédés ordinaires d'éclairage, est enlevé pour être remplacé par un gaz délétère, l'acide carbonique.

C'est encore au moyen de la pile que dans ces derniers temps on est parvenu à dorer, à argenter, à cuivrer, etc., tous les corps conducteurs de l'électricité en prenant seulement la précaution de les faire communiquer avec l'un des pôles de la pile et de les plonger alors dans une solution métallique convenable qui communique avec l'autre pôle.

Un courant électrique ne peut point passer à côté de l'aiguille aimantée d'une boussole sans la dévier de sa position d'équilibre. Ce fait curieux, découvert par le professeur OErstedd de Copenhague, a ouvert une route féconde aux physiiciens, et cette action de l'électricité sur le magnétisme a fait découvrir une branche nouvelle de la physique qu'on appelle *électro-magnétisme*. Réciproquement, lorsqu'un aimant est convenablement approché d'un fil de cuivre, il développe en lui immédiatement des courants galvaniques.

Une des plus curieuses découvertes de cette partie de la science est le télégraphe électrique : il est composé de fils de cuivre à travers lesquels circule un courant électrique qui agit avec la rapidité de la pensée pour dévier et mettre convenablement en mouvement des aiguilles aimantées mobiles sur des cadrans, et placées en des stations plus ou moins éloignées.

QUESTIONNAIRE.

Qu'est-ce que le galvanisme ? — D'où lui vient ce nom ? — En a-t-il un autre ? — Quel est le principe fondamental de l'électricité de contact ? — Qu'est-ce qu'un couple voltaïque ? — Qu'est-ce qu'une pile ? — Quels sont les principaux phénomènes auxquels cet appareil donne lieu ? — De quelle utilité a-t-il été pour la chimie ? — Y a-t-il de la lumière électrique produite par le passage d'un courant à travers deux pointes de charbon dans le vide ? — Qu'est-ce que l'électro-magnétisme ? — Qu'est-ce que le télégraphe électrique ?



ONZIÈME LEÇON.

OPTIQUE.

On appelle ainsi, d'un mot grec qui signifie *voir*, cette partie de la physique qui s'occupe de la lumière.

Supposons-nous pour un moment dans une obscurité profonde, dans une nuit complète, et placés dans la campagne : nous ignorons parfaitement quels sont les corps qui nous entourent, ce n'est qu'en les touchant que nous pourrions avoir sur eux quelques notions encore fort incomplètes ; nous sommes si petits par rapport au monde qui nous environne, que ce moyen serait fort borné ; mais supposons actuellement que le soleil vienne à se lever, aussitôt la scène change et immédiatement nous sommes mis en relation avec les objets rapprochés ou distants qui sont en quantité innombrable autour de nous ; un sens nouveau nous permet d'aller reconnaître tous les corps dont les plus petits détails de forme ne sauraient nous échapper. Qu'est-ce qui nous permet ce contact mystérieux ? Nous retrouvons encore ici comme pour la chaleur les deux hypothèses des physiciens ; les uns disent : le soleil a lancé dans l'espace un fluide particulier en rayons droits et divergents, ce fluide arrive directement à notre œil, il va aussi tomber sur tous les objets qui nous entourent. Là une circonstance merveilleuse se manifeste : les corps ainsi éclairés deviennent lumineux par eux-mêmes, c'est-à-dire émettent à leur tour des rayons lumineux, mais en im-

primant une modification singulière à chacun d'eux, et telle, qu'ils apprennent à notre organe quelle est la couleur du corps qui nous les envoie. Notre admiration augmentera encore si nous examinons l'horizon à travers un trou d'épingle pratiqué dans une carte, nous verrons encore le même spectacle; il faut donc que les rayons passent sans se gêner, sans se confondre, à travers cette ouverture très-petite pour venir atteindre notre œil. Chaque rayon lumineux porte avec lui l'empreinte du corps d'où il est parti, ce qu'on peut du reste rendre sensible, en se plaçant dans une chambre parfaitement obscure; en pratiquant une très-petite ouverture au volet et plaçant un tableau blanc sur le fond opposé de la chambre, on verra tous les objets du dehors s'y peindre renversés, chaque rayon lumineux qui a passé par le trou venant sur le tableau déposer la couleur du point lumineux d'où il émane. Le fluide ainsi émis par les corps lumineux est matériel mais impondérable pour nous. Telle est l'hypothèse dont Newton a été le plus ferme soutien sinon l'inventeur.

D'après Descartes, au contraire, la lumière serait un phénomène analogue à celui du son. Les corps lumineux posséderaient la propriété, au moyen de vibrations excessivement nombreuses, de produire des oscillations sur un corps appelé *ether*, analogue à l'air mais infiniment plus subtil, plus élastique, répandu partout, même dans tous les corps et le vide. Ces oscillations agiraient sur l'organe de la vue pour produire la vision exactement comme les oscillations de l'air agissent sur l'oreille pour produire l'audition.

Euler, Huygens, Grimaldi, Fresnel, etc., ont donné à cette hypothèse leur adhésion et l'appui de leur génie. Elle semble devoir aujourd'hui l'emporter sur la pre-

mière. Toutefois comme ici ce sont les faits qui nous préoccupent et que leur exposition sera plus facile dans le langage ordinaire pour lequel l'hypothèse de la matérialité du calorique semble une chose consacrée, nous suivrons l'opinion de Newton.

Les phénomènes de la lumière et de la chaleur se rapprochent beaucoup : en effet, élevez la température d'un corps, il devient lumineux par lui-même. La lumière se meut avec une énorme vitesse ; Røemer, en observant les éclipses des quatre lunes ou plutôt des quatre satellites de Jupiter, remarqua d'abord qu'il était possible de les prédire et d'en calculer le retour comme pour les éclipses de la lune, notre satellite. Mais aussi il vit que de la terre qui tourne autour du soleil, et par conséquent peut se rapprocher et s'éloigner beaucoup de la planète de Jupiter, on n'apercevait pas toujours les éclipses à l'heure prédite par le calcul ; on les voyait plus tôt lorsque la terre était plus rapprochée de Jupiter, et plus tard dans le cas contraire. En donnant à la lumière la vitesse de 70,000 lieues par seconde, tous les calculs se mettaient dans la plus parfaite harmonie avec l'observation, si bien qu'aujourd'hui les éclipses des satellites de Jupiter se prédisent avec une précision telle qu'elles deviennent pour les astronomes un des moyens les plus parfaits pour déterminer les longitudes.

Lorsqu'un corps lumineux éclaire un corps opaque, une partie de celui-ci n'est pas éclairée, c'est celle qui est opposée au corps lumineux ; elle est dite dans l'ombre. Supposons la terre immobile devant le soleil, et supposons un observateur qui marche vers le soleil en suivant la ligne de l'équateur. Tant qu'il sera sur le côté de la terre qui ne regarde pas le soleil, il sera dans l'ombre, mais s'il avance sans cesse, il commencera peu

à peu à apercevoir le soleil, d'abord un point du disque, puis ensuite une partie sans cesse croissante jusqu'au moment où il verra le disque entier. Tant qu'il ne verra qu'une partie du disque, on dira qu'il est dans la *pénombre*, et il sera dans la *partie éclairée* lorsqu'il verra le disque entier. Il n'y aurait pas de pénombre, si au lieu du soleil qui est un vaste corps il n'y avait dans le ciel qu'un point lumineux tel qu'une étoile pour éclairer la terre sur laquelle nous avons fait voyageur l'observateur.

On appelle *photomètres* (de deux mots grecs, *mesure de la lumière*) les instruments destinés à mesurer l'intensité de la lumière. Celle-ci, comme pour la chaleur, décroît à mesure qu'on s'éloigne du corps lumineux, et elle décroît en raison inverse du carré de la distance. L'intensité diminue aussi à mesure que la surface qui émet la lumière est plus inclinée par rapport à la surface qui la reçoit.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur une surface réfléchissante, il se réfléchit, c'est-à-dire qu'il se relève pour continuer sa route, et l'angle sous lequel il arrive sur la surface est le même que celui sous lequel il la quitte; ces deux angles sont dans un même plan perpendiculaire à la surface réfléchissante.

Cette loi que suivent les rayons lumineux suffit pour l'explication de tous les phénomènes de la lumière réfléchie qui constitue la partie de l'optique appelée *catoptrique*. Lorsqu'un rayon lumineux vient tomber sur un miroir et arrive ensuite à notre œil, celui-ci en est affecté sans avoir le sentiment du brisement que la lumière a éprouvé sur le miroir. Aussi, par l'habitude que nous a donnée l'expérience de placer le corps lumineux sur le prolongement du rayon que celui-ci envoie

à notre œil, nous croyons que l'objet lumineux est situé au delà et en arrière de la glace qui a produit la réflexion. C'est ainsi que lorsque nous sommes placés devant une glace, nous apercevons notre image placée derrière. Cette image n'est pas égale mais symétrique à nous-même. En effet, levez la main droite, et vous verrez l'image réfléchie lever la main gauche.

Deux glaces placées l'une devant l'autre et ayant entre elles un point lumineux en reproduisent chacune une image qui peut à son tour se reproduire dans la glace opposée, et il y aura ainsi dans chacune d'elles une suite indéfinie d'images produites par la réflexion successive des rayons lumineux. Comme la réflexion n'a jamais lieu sans qu'il y ait une certaine quantité de lumière absorbée et que l'image s'éloigne de plus en plus, on voit que son éclat diminue sans cesse.

L'instrument appelé *catélescope* repose sur ces propriétés des miroirs réfléchissants : deux glaces ou surfaces réfléchissantes sont placées côte à côte sous un angle particulier, un ou plusieurs corps lumineux sont placés entre elles, et l'œil peut recevoir facilement les images réfléchies multiples. Un léger mouvement imprimé à l'appareil dérangeant les corps éclairés modifie de mille manières les images envoyées à l'œil. Cet ingénieux appareil est dû au célèbre physicien anglais Brewster. Au lieu de s'opérer sur des miroirs plans, la réflexion peut se faire sur des miroirs concaves ou convexes qui sont presque toujours sphériques. On appelle *axe optique* du miroir la ligne qui, passant par le centre de courbure, est perpendiculaire au plan du cercle qui termine les bords du miroir. Si un point lumineux est placé sur l'axe optique du miroir que nous supposons concave, les rayons lumineux qui émanent de lui et qui viennent

tomber sur le miroir se réfléchiront tous sensiblement en un point unique placé sur l'axe optique à une distance du miroir qui variera avec la distance du point lumineux. Si celui-ci au lieu d'être placé sur l'axe optique l'eût été soit au-dessus soit au-dessous, son image lumineuse que la réflexion produit sera placée sur la ligne qui passe par le point et le centre du miroir, toujours le centre du miroir est placé entre l'objet et son image. Si au lieu d'un point lumineux on prend un objet lumineux, on voit que l'image de celui-ci ira se peindre renversée tantôt plus petite que l'objet lorsqu'elle se forme entre lui et le miroir, tantôt plus grande lorsqu'elle se forme derrière l'objet. Le lieu où se forme l'image s'appelle le *foyer des rayons* émis par l'objet lumineux. Si celui-ci était à une très-grande distance auquel cas les rayons lumineux sont sensiblement parallèles, l'image se reproduira à une distance en avant du miroir égale à la moitié du rayon de la sphère à laquelle ce miroir appartient, et ce lieu sera dit le *foyer des rayons parallèles* ou *foyer principal*. Si l'objet lumineux était une ligne droite, son image réfléchie au foyer principal devrait avoir tous ses points à la même distance du miroir. On conçoit donc que l'image réfléchie de la ligne droite sera nécessairement courbée. Cette déformation de l'image produite par la réflexion de la surface réfléchissante sphérique est due à ce qu'on appelle l'*aberration de sphéricité*.

Pour les miroirs concaves réfléchissants, les lois sont les mêmes, la position et la grandeur des images varient seules.

Lorsqu'un rayon lumineux tombe sur un corps transparent, une portion de ces rayons est, comme nous l'avons vu, réfléchie; mais il y en a une autre qui pénètre dans le corps où elle continue sa route en ligne droite. Seu-

lement, s'il arrive que la nature des deux corps que la lumière traverse ne soit pas la même, le rayon est brisé au moment où il quitte l'air pour entrer dans le corps transparent, à moins qu'il n'arrive à celui-ci sous l'incidence perpendiculaire.

Cette déviation de la lumière est ce qu'on appelle *réfraction*. Les lois de la réfraction ont été découvertes par Descartes.

Toujours le rayon incident et le rayon réfracté sont dans un même plan perpendiculaire à la surface que le rayon lumineux pénètre. De plus, lorsque le rayon incident s'éloigne de la perpendiculaire à la surface au point d'incidence, le rayon réfracté s'en éloigne aussi, mais dans un certain rapport qui étant toujours le même pour une même substance, varie lorsque le rayon lumineux traverse une substance différente.

Lorsqu'un bâton est à moitié plongé dans l'eau, la partie qui est dans l'air envoie directement des rayons lumineux à l'œil, mais pour celle qui est dans l'eau, les rayons lumineux émis éprouvent une réfraction à leur passage dans l'air pour arriver à l'œil qui croit ainsi apercevoir un bâton brisé.

Présentez à un faisceau de rayons lumineux émis par le soleil et perpendiculairement à leur direction un morceau de cristal bien transparent, taillé comme le légume appelé *lentille* (c'est aussi le nom qu'on donne à ces verres), et aussitôt chacune des parties du cristal modifiera la direction des rayons lumineux, de manière à les rendre convergents à leur sortie, et à quelque distance de la lentille ils iront former une petite image très-lumineuse du soleil. Si on recevait sur la lentille un faisceau de rayons émis par un autre objet lumineux, l'image de celui-ci irait également

se représenter en petit, mais avec la plus complète et la plus admirable perfection derrière la lentille. L'image qu'on appelle *aérienne* sera plus parfaitement aperçue si la lentille est adaptée au volet d'une chambre obscure, et que l'image tombant sur un écran de verre dépoli ou un tableau blanc très-uni soit examinée par l'observateur placé lui-même dans la chambre obscure. On conçoit que la perfection et la grandeur variable des verres contribueront à la perfection et à la grandeur variable de l'image. L'œil est une véritable chambre obscure, possédant une ouverture appelée *pupille*, en avant de l'organe, puis ensuite une lentille solide, transparente comme du cristal, et appelée *crystallin*; au delà, une chambre obscure dont les parois sont colorées en noir par une substance appelée *pigmentum*; l'image parfaite vient se dessiner sur une membrane ou toile délicate, blanche, appelée *rétine*, tendue au fond de l'œil et reposant sur un nerf qui conduit au cerveau les impressions reçues. Le liquide qui remplit l'œil est en avant du cristallin, dans la chambre antérieure de l'œil, l'*humour aqueuse*, et de l'autre côté, dans la chambre postérieure, l'*humour vitrée*. Ces noms ont été donnés à ces substances à cause de leur consistance. Pour qu'un objet puisse être nettement vu par l'œil, il faut que son image arrive se peindre précisément sur la rétine. Les objets qui sont très-éloignés donneront leur image au foyer principal du cristallin, tandis que les objets plus rapprochés auront leurs images formées plus loin dans l'œil, derrière le cristallin. Pour parer à cet inconvénient, il y a dans l'œil un mécanisme merveilleux qui présente encore des mystères à la science, et en vertu duquel l'œil s'adapte aux distances les plus diverses, et l'image vient toujours tomber sur

la rétine. Toutefois la puissance de ce mécanisme a des bornes : aussi lorsqu'on approche trop un objet de l'œil, son image va se peindre beaucoup au delà de la rétine, et nous n'avons plus qu'une notion confuse de l'objet. Pour que la vue soit distincte, il faut que l'objet soit au moins à 25 ou 30 centimètres. Cette distance varie avec les vues.

Les principes précédents sont ceux sur lesquels reposent presque tous les instruments d'optique.

Dans la plupart on emploie une ou plusieurs lentilles destinées à former des images aériennes, qu'on vient ensuite examiner avec des loupes ou des appareils grossissants particuliers. Si l'objet qu'on veut étudier ou voir est placé près de l'appareil, celui-ci s'appellera *microscope*, si au contraire il est au loin, l'appareil s'appellera *lunette*, *télescope* (de deux mots grecs, *loin* et *vue*).

On appelle *loupe* ou *microscope simple*, des lentilles de verre à court foyer, qu'on interpose entre l'œil et l'objet placé très-près de lui. Si l'objet seul était près de l'œil à une distance moindre que *la vue distincte*, l'œil, nous le savons, le verrait mal ; tandis que si nous nous servons de la loupe, celle-ci reçoit d'abord une plus grande quantité de rayons à raison de son diamètre plus grand que celui de la pupille ; les rayons lumineux sont déjà rendus convergents avant d'arriver au cristallin, alors l'office de celui-ci amène exactement sur la rétine une image très-lumineuse, et nous voyons l'objet agrandi, parce qu'étant plus près de l'œil, nous le voyons sous un angle visuel plus grand.

On appelle *angle visuel*, l'angle formé par les deux lignes qui partent des deux extrémités d'un objet et viennent se réunir à l'œil. L'expérience nous fait savoir

que de deux objets inégaux et placés à la même distance de nous, le plus grand sera celui qui aura le plus grand angle visuel. Ainsi augmenter l'angle visuel d'un objet c'est le grossir.

On appelle *microscope composé* un assemblage de loupes ou lentilles à court foyer qu'on peut diviser en deux systèmes ; le premier placé très-près de l'objet, et qui pour cette raison forme le *système objectif*, détermine une image de l'objet dans un tube, et au moyen d'un système convenablement approprié de loupes ou *lentilles oculaires*, c'est-à-dire placées près de l'œil, cet organe peut recevoir une image amplifiée de l'objet.

Le microscope solaire est formé d'abord d'un miroir placé en dehors et devant l'ouverture du volet d'une chambre obscure, et ramenant dans celle-ci un faisceau de rayons solaires qui, tombant sur une lentille, sont réunis par elle en un point sur un objet qui devient très-éclairé, et qui est traversé par les rayons lumineux.

On place des lentilles très-près de l'objet, entre lui et un tableau blanc placé au fond de la chambre. C'est sur celui-ci que va se peindre l'image de l'objet considérablement amplifiée, et facilement visible pour tous les spectateurs qui sont dans la chambre obscure.

Dans le microscope à gaz, le corps éclairant est, au lieu du soleil, un morceau de carbonate de chaux frappé par un gaz enflammé qui a la propriété de produire alors une lumière éblouissante.

La lanterne magique est exactement la même chose, seulement la lumière est, empruntée à une lampe au lieu de l'être au soleil, et les objets sont des peintures transparentes faites sur des lames de verre.

La fantasmagorie est composée des mêmes pièces que la lanterne magique ; seulement, au moyen d'un méca-

nisme particulier et en faisant mouvoir l'appareil sur des roulettes, on fait varier les distances respectives du foyer lumineux de l'objet et des lentilles, mais de manière à ce que toujours l'image se produise nettement sur le tableau, seulement elle varie considérablement de grandeur avec la position des verres.

Lorsqu'on dévie la lumière en lui faisant traverser une substance unique transparente, on remarque que le faisceau sort coloré.

On admet que le faisceau de lumière blanche n'est pas simple, mais composé de rayons de teintes très-variées, dont les sept principales sont : *rouge, orangé, jaune, vert, bleu, indigo, violet* ; et on admet encore que ces différents rayons ne sont pas également déviés par les corps diaphanes, qu'on appelle *milieux réfringents*. Ces rayons sont rangés plus haut par ordre de réfrangibilité : les rayons violets sont le plus, et les rayons rouges le moins réfrangibles.

Ce phénomène présenté par les rayons lumineux est appelé *dispersion de la lumière*. Ainsi les corps diaphanes qui dispersent le mieux la lumière sont ceux dans lesquels les rayons colorés qui composent la lumière blanche sont le mieux séparés après la réfraction. Lorsqu'on n'emploie qu'une seule substance, on ne peut pas dévier la lumière sans qu'elle soit colorée, mais si après avoir dévié un rayon lumineux on le fait passer à travers une autre substance qui, le déviant en sens contraire, soit taillée de manière à détruire complètement la coloration, elle n'aura pas détruit la déviation si les deux substances sont inégalement dispersives. Un pareil rayon dévié sans être coloré est ce qu'on appelle *achromatisé*, de deux mots grecs qui veulent dire *sans couleur*. Pour avoir des images

nettes dans les instruments d'optique, il faut nécessairement employer des lentilles achromatiques, c'est-à-dire qui dévient les rayons sans les colorer.

Les divers rayons colorés de la lumière blanche n'ont pas tous les mêmes propriétés ; les rayons les plus réfringibles, tels que le bleu, l'indigo, le violet, peuvent seuls exciter la phosphorescence. Présentez un mélange de chlore et d'hydrogène à un faisceau de rayons rouges, leur combinaison et la détonation n'auront pas lieu, elle sera au contraire instantanée avec des rayons violets. Ceux-ci sont encore ceux qui développent la couleur verte des plantes qui restent étiolées dans l'obscurité et en l'absence de ces rayons.

Dans le daguerréotype, les rayons violets paraissent être les seuls qui agissent avec énergie sur la substance sensible qui recouvre la plaque d'argent ; le vert et le rouge au contraire n'agissent pas, c'est ce qui explique la difficulté que présente la reproduction des objets verts et rouges, tels que les arbres, les personnes très-colorées, etc.

L'arc-en-ciel est dû à la décomposition de la lumière qui s'effectue lorsqu'en présence du soleil un nuage se résout en pluie. Les gouttelettes rondes transparentes qui tombent, il est vrai, mais se succèdent sans cesse, opèrent à chacune de leurs faces des réflexions et des réfractions qui renvoient la lumière et la dévient ; or, ce dernier phénomène ne peut avoir lieu par un corps transparent unique sans qu'il n'y ait dispersion, c'est-à-dire coloration. La forme d'arc est due à ce que si une série de gouttelettes décomposent les rayons lumineux qui émanent du soleil et sont réfléchis à l'œil du spectateur après avoir été réfractés, il y a une innombrable série de gouttelettes qui se trouvent dans

des positions analogues, efficaces pour que le phénomène ait encore lieu, et si on mène une ligne du centre du soleil au spectateur et qu'on la prolonge vers le nuage où l'arc-en-ciel est aperçu, on verra que cette ligne va atteindre exactement le centre de l'arc lumineux sur lequel sont situées toutes les gouttes d'eau qui, toutes identiquement placées par rapport au soleil et au spectateur, doivent toutes agir d'une manière identique.

Si dans les gouttes d'eau il n'y a qu'une seule réflexion et deux réfractions à l'entrée et à la sortie, il n'y a qu'un seul arc, mais si le nuage est assez étendu pour que la lumière dans d'autres gouttes puisse éprouver deux réflexions avec les réfractions d'entrée et de sortie, il y a un nouvel arc plus grand que le premier.

QUESTIONNAIRE.

Qu'est-ce que l'optique? — Comment sommes-nous en rapport avec les objets éloignés qui nous entourent? — Quelles sont les deux hypothèses au moyen desquelles s'expliquent les phénomènes de la lumière? — Quelle est la vitesse de la lumière? — Comment l'a-t-on trouvée? — Qu'entend-on par ombre et pénombre? — Quelles sont les lois de la réflexion? — Comment s'opère la réflexion dans les miroirs plans? — *Caléidoscope.* — Comment s'opère la réflexion dans les miroirs courbes? — Quelles sont les relations qui existent entre l'objet et l'image? — Qu'est-ce que l'aberration de sphéricité? — Qu'est-ce que la réfraction? — Quelles sont ses lois? — Qu'est-ce qu'une lentille? — Qu'est-ce que la chambre obscure? — Quel est le mécanisme de l'œil? — Comment s'opère la vision? — Qu'entend-on par distance de la vue distincte, par angle visuel, etc.? — A quoi se réduisent les instruments d'op-

tique appelés microscope et télescope? — Qu'est-ce que la loupe? — Expliquez le microscope solaire, à gaz; — la lanterne magique; — la fantasmagorie. — Qu'est-ce que la dispersion? — Qu'est-ce que l'achromatisme? — Quelles sont les propriétés des divers rayons colorés? — Qu'est-ce que l'arc-en-ciel?



ERRATA.

- Page 12, ligne 6, supprimez les mots : *dans l'expérience.*
» *ib.*, » 7, *compte*; lisez : *compteur.*
» *ib.*, » 25, *partant*; lisez : *partout.*
» 14, » 7, après *poussé*, ajoutez : *de bas en haut par*, etc.
» *ib.*, » 25, *des volumes*; lisez : *du volume.*
» 17, » 29 et 30, *était... fût*; lisez : *est... soit.*
» 19, » 6, après *baromètre*, ajoutez : *à mercure.*
» 20, » 8, après *temps*, ajoutez : *sur 1000 observations.*
» *ib.*, » 9, 10, 11, 13 et 14, au lieu de : 100, *un*, 1, *une chance*, lisez : 300, 3, 3, *trois chances.*

FIN.

TABLE ALPHABÉTIQUE.

A.		Décomposition.	84
Aberration de sphéricité.	92	Densité.	6
Accentuation.	65	Dilatation de l'air.	59
Acier.	68	Dispersion.	97
Achromatisme.	97, 98	Divisibilité.	4
Acoustique.	61	Dorure électrique.	85
Acuité du son.	62	E.	
Affinité.	8	Eau.	5
Aimant.	67	Eclairage électrique.	85
Ambre.	72	Echo.	63, 64
Angle visuel.	95	Electricité.	70
Arc-en-ciel.	98	Electrophore.	80, 81
Attraction magnétique.	68	Electro-magnétisme.	86
Aurore boréale.	70	Etat naturel.	74
Axe optique.	91	Eteudue.	3
B.		Ether.	88
Batterie électrique.	80	Etincelle.	76
Boussole.	69	F.	
Bouteille de Leyde.	79	Fantasmagorie.	96
Bruit.	61	Fil à plomb.	9
C.		Force.	2
Caléidoscope.	91	» coercitive.	68
Carillon électrique.	78	» électro-motrice.	82
Charge électrique.	75	Foudre.	70
Chimie.	2	Foyer principal.	92
Choc en retour.	77, 78	Fronde.	7
Cloche à plongeur.	4	G.	
Cohésion.	8	Galvanisme.	82
Commotion électrique.	75	Gaz.	5
Compressibilité.	4	Gomme laque.	73
Condensateur.	58	Gosier.	65
Conducteur.	72, 77	Gravitation.	7
Corps.	2	Grêle.	78, 79
Corps isolés.	75	H.	
Couleur verte.	98	Humeur aqueuse.	94
Couple.	82	Humeur vitrée.	94
Courant électrique.	84	Hydrogène.	85
Cristallin.	94	Hypothèses sur la lumière.	88
D.		I.	
Daguerréotype.	5, 98	Images aériennes.	94
Déclinaison.	69		
<i>Ph.</i>			10

Impénétrabilité.	3	Philosophie naturelle.	1
Inertie.	7	Phosphorescence.	98
Intensité lumineusc.	90	Photométrie.	90
L.			
Lanterne magique.	96	Physique.	1
Lentilles.	93, 97	Pointes.	75
Ligne moyenne.	67	Pôles.	9, 67, 84, 85
Liquide.	3	Pores.	5
Locomotives.	59	Poumons.	65
Loupes.	95	Pression.	57
Lunettes.	95	Pupille.	94
M.			
Machine à vapeur.	58	R.	
Machine électrique.	76	Rayons colorés.	97
Magnétisme.	67	Réflexion.	90, 91
Marmite de Papin.	60	Réfraction.	93, 97
Masse.	6	Réservoir commun.	74, 76
Matière.	2	Résine.	72
Mer.	8	Rétine.	94
Méridien magnétique.	69	S.	
Microscope.	93	Satellites de Jupiter.	89
" solaire.	96	Sensibilité de l'oreille.	62
" à gaz.	96	Soie.	75
Milieux réfringents.	97	Solide.	3
Mobilité.	4	Son.	61, 62, 63, 64
Molécules.	3	Soufre.	72
O.			
Objectif.	96	Sources de chaleur.	59
Océan.	8	Substances isolantes.	75
Oculaire.	96	T.	
Odeurs.	5	Télégraphe électrique.	86
OEil.	94	Télescope.	95
Ombre.	89	Tension.	57
Optique.	87	" électrique.	75
Or.	5	Timbre.	64
Oscillation.	9	Trachée artère.	65
Oxygène.	85	Trempe.	68
P.			
Paratonnerre.	76	V.	
Pendule.	9	Vapeur.	57
Pendule électrique.	75	Verre.	75
Pénombre.	90	Verticale.	9
Pesanteur.	8	Vibration.	62
Pigmentum.	94	Violon.	64
Pile.	85, 84	Vitesse de la lumière.	89
Phénomène.	2	Vitesse du son.	62, 63
		Voix.	65
		Volume.	4
		Vue distincte.	95

EN VENTE

CHEZ LES MÊMES LIBRAIRES

OUVRAGES DES MÊMES AUTEURS.

- RECHERCHES SUR LA RUBÉFACTION DES EAUX et leur oxygénation par les animalcules et les algues, par MM. Auguste et Charles Morren. 1 vol. in-4° avec planches coloriées. Bruxelles, 1841. 10 fr.
- DODONÆA ou Recueil d'observations de botanique et de physiologie végétale, par M. Charles Morren. 2 vol. in-8°. Bruxelles, 1841 et 1844. 6 fr.
- ANNALES DE LA SOCIÉTÉ ROYALE D'AGRICULTURE ET DE BOTANIQUE DE GAND, Journal d'horticulture et des sciences accessoires, rédigé par M. Charles Morren. Grand in-8°, papier superfin, 12 cahiers par an de 2 feuilles 1/2 d'impression, 48 planches coloriées, gravures noires en taille douce, vignettes en bois, etc., 1843. Par an, pour la Belgique, 22 fr.; pour l'étranger, 50 fr.
- ESQUISSES DES PREMIERS PRINCIPES D'HORTICULTURE, par John Lindley, professeur de l'Université de Londres, traduites de l'anglais et augmentées de notes explicatives ou additionnelles, par Ch. Morren, professeur à l'université de Liège. 2 fr.
- LOISIRS D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE, par le même, 1 vol. in-8° avec pl. color. Bruxelles, 1841. 10 fr.
- PRÉMIÈRES D'ANATOMIE ET DE PHYSIOLOGIE VÉGÉTALE, par le même, 1 vol. in-8° avec pl. color. Bruxelles, 1841. 8 fr.
- HISTOIRE DES TUBIPES, JACINTHES, NARCISSES, LIS ET FRITILLAIRES, par le même, in-12. Bruxelles, 1842. fr. 1,50.
-