Google

This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at http://books.google.com/



A propos de ce livre

Ceci est une copie numérique d'un ouvrage conservé depuis des générations dans les rayonnages d'une bibliothèque avant d'être numérisé avec précaution par Google dans le cadre d'un projet visant à permettre aux internautes de découvrir l'ensemble du patrimoine littéraire mondial en ligne.

Ce livre étant relativement ancien, il n'est plus protégé par la loi sur les droits d'auteur et appartient à présent au domaine public. L'expression "appartenir au domaine public" signifie que le livre en question n'a jamais été soumis aux droits d'auteur ou que ses droits légaux sont arrivés à expiration. Les conditions requises pour qu'un livre tombe dans le domaine public peuvent varier d'un pays à l'autre. Les livres libres de droit sont autant de liens avec le passé. Ils sont les témoins de la richesse de notre histoire, de notre patrimoine culturel et de la connaissance humaine et sont trop souvent difficilement accessibles au public.

Les notes de bas de page et autres annotations en marge du texte présentes dans le volume original sont reprises dans ce fichier, comme un souvenir du long chemin parcouru par l'ouvrage depuis la maison d'édition en passant par la bibliothèque pour finalement se retrouver entre vos mains.

Consignes d'utilisation

Google est fier de travailler en partenariat avec des bibliothèques à la numérisation des ouvrages appartenant au domaine public et de les rendre ainsi accessibles à tous. Ces livres sont en effet la propriété de tous et de toutes et nous sommes tout simplement les gardiens de ce patrimoine. Il s'agit toutefois d'un projet coûteux. Par conséquent et en vue de poursuivre la diffusion de ces ressources inépuisables, nous avons pris les dispositions nécessaires afin de prévenir les éventuels abus auxquels pourraient se livrer des sites marchands tiers, notamment en instaurant des contraintes techniques relatives aux requêtes automatisées.

Nous vous demandons également de:

+ *Ne pas utiliser les fichiers à des fins commerciales* Nous avons conçu le programme Google Recherche de Livres à l'usage des particuliers. Nous vous demandons donc d'utiliser uniquement ces fichiers à des fins personnelles. Ils ne sauraient en effet être employés dans un quelconque but commercial.

+ *Ne pas procéder à des requêtes automatisées* N'envoyez aucune requête automatisée quelle qu'elle soit au système Google. Si vous effectuez des recherches concernant les logiciels de traduction, la reconnaissance optique de caractères ou tout autre domaine nécessitant de disposer d'importantes quantités de texte, n'hésitez pas à nous contacter. Nous encourageons pour la réalisation de ce type de travaux l'utilisation des ouvrages et documents appartenant au domaine public et serions heureux de vous être utile.

+ *Ne pas supprimer l'attribution* Le filigrane Google contenu dans chaque fichier est indispensable pour informer les internautes de notre projet et leur permettre d'accéder à davantage de documents par l'intermédiaire du Programme Google Recherche de Livres. Ne le supprimez en aucun cas.

+ *Rester dans la légalité* Quelle que soit l'utilisation que vous comptez faire des fichiers, n'oubliez pas qu'il est de votre responsabilité de veiller à respecter la loi. Si un ouvrage appartient au domaine public américain, n'en déduisez pas pour autant qu'il en va de même dans les autres pays. La durée légale des droits d'auteur d'un livre varie d'un pays à l'autre. Nous ne sommes donc pas en mesure de répertorier les ouvrages dont l'utilisation est autorisée et ceux dont elle ne l'est pas. Ne croyez pas que le simple fait d'afficher un livre sur Google Recherche de Livres signifie que celui-ci peut être utilisé de quelque façon que ce soit dans le monde entier. La condamnation à laquelle vous vous exposeriez en cas de violation des droits d'auteur peut être sévère.

À propos du service Google Recherche de Livres

En favorisant la recherche et l'accès à un nombre croissant de livres disponibles dans de nombreuses langues, dont le français, Google souhaite contribuer à promouvoir la diversité culturelle grâce à Google Recherche de Livres. En effet, le Programme Google Recherche de Livres permet aux internautes de découvrir le patrimoine littéraire mondial, tout en aidant les auteurs et les éditeurs à élargir leur public. Vous pouvez effectuer des recherches en ligne dans le texte intégral de cet ouvrage à l'adresse http://books.google.com

LEÇONS

DE PHYSIQUE.

LEÇONS

DE PHYSIQUE.

La précipitation apportée dans la publication de ces leçons imprimées, que j'avais pris l'engagement de livrer au public deux ou trois jours au plus après les leçons orales, a dû rendre quelques erreurs inévitables. Je saurai beaucoup de gré aux personnes qui auront la complaisance de me les signaler, et je m'oblige à remettre un exemplaire de cet ouvrage pour chaque erreur que l'on me mettrait à même de corriger.

Un *erratum* général paraîtra dans le mois de septembre, aux adresses indiquées sur le titre.

Il est superflu d'ajouter que c'est à moi seul qu'il faut attribuer les erreurs qui peuvent s'être glissées dans ces leçons, malgré tout le soin que j'ai pris pour reproduire aussi fidèlement que possible les paroles des deux savans professeurs, MM. Gay-Lussac et Pouillet.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

LEÇONS

DE PHYSIQUE

DE LA FACULTÉ DES SCIENCES DE PARIS,

RECUEILLIES ET RÉDIGÉES

PAR M. GROSSELIN,

Sténographe.

PREMIÈRE PARTIE.

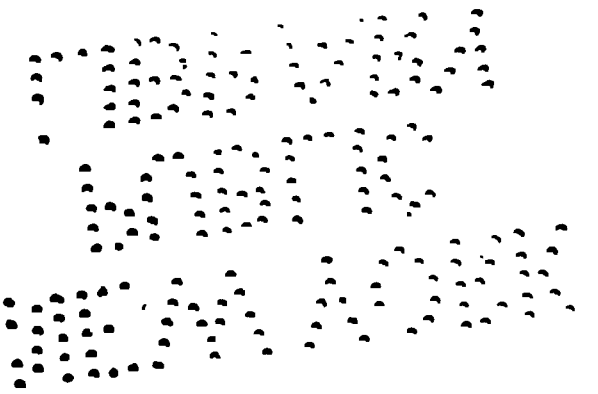
PROFESSÉE

PAR M. GAY-LUSSAC.

A PARIS,

Chez { GROSSELIN, rue des Saints-Pères, n° 75;
PAPINOT, rue de Sorbonne, n° 14;
HACHETTE, rue Pierre-Sarrazin, n° 12;
GAUTIER, à la Tente, Palais-Royal, galerie vitrée.

1828



élémens. Le chimiste se propose de reconnaître quels sont les élémens divers qui entrent dans la composition d'un corps; car les corps ne sont point formés d'une matière simple et unique, mais de plusieurs matières. Réciproquement, quand le chimiste est parvenu à isoler ces matières particulières et à les avoir dans un état de pureté parfaite, il peut les mettre en contact les unes avec les autres, et produire une foule de composés nouveaux qui ne se rencontrent pas dans la nature; ce qui ne tient pas à l'impuissance de la nature, mais uniquement à ce que le chimiste peut réunir dans son laboratoire ou dans les grands laboratoires des arts, des circonstances qui ne se présentent pas immédiatement dans la nature.

AGENS DE LA NATURE.

Si la matière était absolument inerte, en rapprochant des matières, elles ne feraient que se juxta-poser. Il n'en est pas ainsi : la vie est partout dans la nature; des causes particulières animent en quelque sorte la matière, et ces causes sont assez nombreuses. Elles sont les forces, les agens de la nature, agens d'une subtilité extrême, qui, pour cette raison, ont échappé pendant long-temps à l'observation.

CHALEUR.

Au nombre de ces agens qui entretiennent la vie autour de nous, et parmi les plus énergiques, se trouve la chaleur. Au printemps, en effet, lorsque le soleil la verse en plus grande abondance qu'en hiver, elle ranime la végétation qui était devenue languissante; les animaux se montrent également sensibles à son action : et au milieu des glaces du Nord, l'homme resterait engourdi, ou, pour mieux dire, il ne pourrait exister si, par une chaleur artificielle, il ne suppléait à celle que la nature lui refuse. Appliquée aux corps, la chaleur augmente leurs dimensions dans tous les sens, en longueur, en largeur, en profondeur; cette augmentation s'appelle dilatation. Il faut remarquer que ces agens, qui peuvent être inhérens à la matière, doivent nécessairement, pour produire des phénomènes variés, être susceptibles d'augmentation ou de diminution. Si la chaleur était toujours à un degré constant, nous n'aurions pas, par exemple, le phénomène de la pluie qui n'est produite que par une variation de la chaleur. C'est parce que les différens agens de la nature sont susceptibles d'augmentation et de diminution, que les

étude est des plus intéressantes, parce qu'il joue un grand rôle dans la physique du monde.

LUMIÈRE.

Le quatrième agent est aussi important que la chaleur et l'électricité : c'est la lumière. C'est elle qui nous fait voir les corps sous des couleurs très variées; la lumière est encore indispensable au développement de la végétation; dans l'obscurité, une plante s'étiole promptement, la végétation languit et bientôt le végétal périt. Les animaux ne peuvent point s'en passer, et il est certain que l'homme qui resterait plongé dans une obscurité profonde aurait une très courte existence.

Dans l'état actuel de nos connaissances, nous distinguons soigneusement la chaleur de l'électricité, et l'électricité de la lumière, quoiqu'on connaisse des rapports intimes entre ces divers agens.

PESANTEUR OU GRAVITATION.

Indépendamment de ces agens, il y en a un autre, qui est la pesanteur ou la gravitation, en vertu de laquelle les corps se portent les uns vers les autres. C'est la pesanteur qui fait qu'un corps suspendu dans l'air, et qu'on rend ensuite à la liberté, se précipite à la surface de la terre.

Cette propriété paraît d'abord ne dépendre que d'une action particulière de la terre sur les corps, parce qu'en effet par l'expérience que nous avons de ce phénomène, nous ne voyons point les corps aller se chercher réciproquement, ni tomber ainsi les uns vers les autres; nous les voyons tous tomber à la surface de la terre. Néanmoins, cette cause ne se borne pas uniquement à faire tomber un corps sur la surface de la terre; elle détermine tous les corps à se porter les uns vers les autres. Si nous concevions, à une distance un peu grande au-dessus de nos têtes, deux corps tombant librement, ces corps se rapprocheraient insensiblement, et, arrivés à la surface de la terre, ils auraient pu se toucher. Cette action réciproque des corps est remarquable; on peut la démontrer par des expériences qui sont très délicates et qui ne sont pas susceptibles d'être faites dans ces amphithéâtres. Mais le fait est constant, et nous devons en conclure que la pesanteur est aussi un agent qui est général dans la nature, qui étend son action, non-seulement sur les corps

progrès de la science. Ce n'est pas un fait nouveau, s'il a un analogue, qui peut avoir quelque intérêt; il n'y a que les faits qui ne se rangent pas dans une série de faits connus, qui méritent une attention particulière. Si l'imagination devait retenir tous les faits particuliers, elle ne pourrait y suffire, et la science n'existerait pas; mais lorsque ces faits peuvent être liés par des lois générales et par des théories, lorsqu'un grand nombre de ces faits peut être représenté par un seul, on peut les retenir plus facilement, on peut généraliser ses idées, on peut comparer un fait général à un autre fait général, et les découvertes peuvent se succéder. Ce n'est que lorsque les lois peuvent être introduites dans les sciences qu'elles prennent un véritable caractère de sciences.

C'est pour parvenir à découvrir les lois qui peuvent lier les phénomènes entre eux, qu'il est important de s'aider de l'instrument si puissant du calcul, au moyen duquel on peut saisir plus facilement les relations entre les corps. J'en préviens ici ceux qui veulent faire des progrès dans la physique, il est indispensable pour eux d'avoir les premières notions des mathématiques, pour pouvoir suivre facilement les phénomènes physiques.

Je ferai également remarquer dans l'intérêt du cours, et vous sentez que je ne puis y rester indifférent; je ferai remarquer à ceux qui ne sont pas familiarisés avec la manière d'acquérir des connaissances, qu'il est indispensable de recueillir quelques notes, et ensuite, avec ces notes, de faire une rédaction.

D'après ces observations que je viens de faire dans notre intérêt commun, nous allons nous occuper de l'objet principal de ce cours et entrer en matière.

MATIÈRE.

Nous avons déjà prononcé le mot de matière, et il faut définir ce que nous entendons par ce mot. On donne le nom de matière à tout ce qui nous paraît étendu, pesant, et qui produit en nous un certain nombre de sensations. Ainsi, tout ce qui nous fera éprouver une certaine résistance pour le déplacer, pour le soulever, qui nous paraîtra, par conséquent, pesant, qui nous paraîtra terminé, qui produira certaines sensations sur le sens du goût, de l'odorat, sera ce qu'on appelle de la matière. Nous avons dit un certain nombre de sensations, parce qu'il ne faudrait pas s'en rapporter uniquement à la vue.

qui présentent le tissu le plus serré. Si nous plongeons dans ce liquide un morceau de bois, dont l'œil peut à peine distinguer les vaisseaux, le gonflement de ce morceau de bois nous annoncera qu'il s'est laissé pénétrer par l'eau, et nous conclurons de cette expérience qu'il n'avait qu'un volume apparent. En général, nous constaterons qu'un corps n'occupe point tout le volume qu'il semble occuper, en cherchant à introduire dans ce corps un corps étranger, de l'eau, de l'air, un fluide élastique quelconque.

Telle est la manière simple de découvrir quand un corps a des vides entre ses particules ; ces vides sont appelés des pores. Ces pores sont grossiers dans une éponge : dans d'autres corps, comme les métaux, ils sont imperceptibles ; mais l'expérience démontre qu'ils existent. Si l'on fait passer une lame de métal entre deux cylindres, le métal s'écrouit et diminue de volume; par conséquent sa matière s'est rapprochée. De ce fait qui est général, nous devons conclure que les corps, même les plus compactes, n'occupent pas réellement tout l'espace qu'ils paraissent occuper. On doit faire une distinction extrêmement grande entre les premiers vides, qui sont des solutions de continuité, et les vides dont nous acquérons seulement la certitude par la compression. Tous les corps de la nature offrent des vides de la dernière espèce; il n'en est pas un seul qui, étant soumis à une pression convenable, ne puisse diminuer plus ou moins de volume. Nous concevons, par conséquent, que les particules matérielles des corps ne se touchent pas immédiatement ; car s'il n'y avait aucun vide entre elles, nous ne pourrions concevoir le rapprochement de ces particules. Mais, je le répète, il faut bien distinguer entre cette espèce de porosité, et celle qui constitue une véritable solution de continuité.

Les corps diminuent aussi de volume quand la chaleur les abandonne, ils augmentent par l'accumulation de la chaleur. Ce phénomène contribue encore à démontrer que les particules des corps ne sont pas en contact.

IMPÉNÉTRABILITÉ.

Une autre propriété générale dont nous allons parler, et qui est plus importante que la précédente, parce qu'elle sert mieux à bien constater l'existence des corps, est l'impénétrabilité. Ce n'est que par nos sens que nous pouvons acquérir la certitude de l'existence de la matière, et notre expérience nous apprend que si nous voulons mettre un corps dans la

cool, par exemple, de manière que ces deux liquides, avant le mélange, remplissent exactement tout le tube, et qu'ensuite on agite ce tube, on remarquera d'abord une élévation de température qui annonce l'action intime et réciproque de l'eau et de l'alcool; et l'on verra aussi que le volume de mélange se trouve moindre que celui que les deux corps occupaient avant d'être mélangés. Voilà le fait bien établi; il s'agit d'en donner l'explication. Nous admettons que les particules de l'eau et de l'alcool sont à une distance quelconque, déterminée par la chaleur : quand on mêle ces deux corps, ils se réunissent, il y a une combinaison, une action très intime; de cette action il résulte qu'une particule d'alcool et une particule d'eau se réunissent ensemble; mais comme cette réunion est déterminée par une tendance qu'elles ont à se porter l'une vers l'autre, il arrive qu'elles se rapprochent plus que les molécules de deux corps n'étaient rapprochées entre elles. En dernier résultat, vous avez le même nombre de molécules; mais ces molécules occupent un espace plus petit. Il n'y a point d'exception à cette règle; lorsqu'on mêle des corps qui peuvent se réunir chimiquement, il y a une diminution de volume. Cette pénétration ne contredit pas le principe que nous avons établi, que deux corps ne peuvent occuper en même temps le même espace.

Cette impénétrabilité, si évidente dans les corps solides, existe même dans les corps les plus subtils. L'air nous paraît pénétrable parce qu'il n'oppose aucune résistance à nos mouvemens : c'est là ce qui a fait que l'existence de l'air a été inconnue pendant si long-temps. Ce qu'on appelle le vent et qui produit souvent des chocs très violens, n'est que de l'air mis en mouvement; mais cette comparaison ne se présente pas immédiatement à l'esprit. Aujourd'hui il est démontré que l'air est un corps qui ne laisse point prendre sa place sans résistance; on ne pourrait jamais faire que de l'air fût réduit dans le même espace qu'un autre corps qui voudrait prendre sa place. Si l'on plonge dans un vase rempli d'eau une cloche que l'on tient renversée, cette cloche ne se remplira pas d'eau, à moins qu'il n'y ait dans la partie supérieure une ouverture par laquelle l'air puisse s'échapper. Si l'eau monte un peu dans la cloche, cela tient à ce que l'air est compressible; mais jamais on ne parviendra à le réduire à un espace qui serait entièrement nul.

cool, par exemple, de manière que ces deux liquides, avant le mélange, remplissent exactement tout le tube, et qu'ensuite on agite ce tube, on remarquera d'abord une élévation de température qui annonce l'action intime et réciproque de l'eau et de l'alcool; et l'on verra aussi que le volume de mélange se trouve moindre que celui que les deux corps occupaient avant d'être mélangés. Voilà le fait bien établi; il s'agit d'en donner l'explication. Nous admettons que les particules de l'eau et de l'alcool sont à une distance quelconque, déterminée par la chaleur : quand on mêle ces deux corps, ils se réunissent, il y a une combinaison, une action très intime; de cette action il résulte qu'une particule d'alcool et une particule d'eau se réunissent ensemble; mais comme cette réunion est déterminée par une tendance qu'elles ont à se porter l'une vers l'autre, il arrive qu'elles se rapprochent plus que les molécules de deux corps n'étaient rapprochées entre elles. En dernier résultat, vous avez le même nombre de molécules; mais ces molécules occupent un espace plus petit. Il n'y a point d'exception à cette règle; lorsqu'on mêle des corps qui peuvent se réunir chimiquement, il y a une diminution de volume. Cette pénétration ne contredit pas le principe que nous avons établi, que deux corps ne peuvent occuper en même temps le même espace.

Cette impénétrabilité, si évidente dans les corps solides, existe même dans les corps les plus subtils. L'air nous paraît pénétrable parce qu'il n'oppose aucune résistance à nos mouvemens : c'est là ce qui a fait que l'existence de l'air a été inconnue pendant si long-temps. Ce qu'on appelle le vent et qui produit souvent des chocs très violens, n'est que de l'air mis en mouvement; mais cette comparaison ne se présente pas immédiatement à l'esprit. Aujourd'hui il est démontré que l'air est un corps qui ne laisse point prendre sa place sans résistance; on ne pourrait jamais faire que de l'air fût réduit dans le même espace qu'un autre corps qui voudrait prendre sa place. Si l'on plonge dans un vase rempli d'eau une cloche que l'on tient renversée, cette cloche ne se remplira pas d'eau, à moins qu'il n'y ait dans la partie supérieure une ouverture par laquelle l'air puisse s'échapper. Si l'eau monte un peu dans la cloche, cela tient à ce que l'air est compressible; mais jamais on ne parviendra à le réduire à un espace qui serait entièrement nul.

Maintenant la division peut-elle aller à l'infini ? nous ne savons pas ce qui peut arriver à la matière divisée très loin ; mais tout semble nous prouver que la divisibilité a un terme, et je pourrais en donner des preuves. Ainsi, on peut faire à un vase une fêlure telle que l'eau qui sera renfermée dans ce vase ne s'échappera pas ; que l'air atmosphérique lui-même y restera confiné. Mais si l'on y met un gaz plus subtil, comme du gaz hydrogène, ce gaz s'en ira par la fêlure. Il faut conclure de là que les particules de l'air sont plus grossières que celles du gaz hydrogène.

ATOMES.

Pour exprimer cet état particulier de la matière qui ne pourrait se diviser au-delà d'un certain terme, les anciens employaient un mot qui est conservé dans le langage chimique et physique : c'est celui d'atôme, qui veut dire *qui ne peut être divisé.* Les atômes sont des corps que l'on ne peut plus diviser, qui sont insécables.

Ce mot d'atôme est pris maintenant dans un sens beaucoup plus général. Ainsi nous employons le mot d'atôme, non pas pour désigner les particules de la matière au moment où elles ne peuvent plus se diviser, mais pour désigner des particules de matière infiniment petites. Pour le chimiste et le physicien un atôme est comme l'infiniment petit du géomètre. Les atômes sont synonymes des molécules des corps ; cependant le mot atôme est employé en général pour exprimer des quantités plus petites.

On peut concevoir les atômes groupés ensemble au nombre de trois, de cent, de mille ; c'est cette réunion qu'on peut appeler plus proprement des particules. Les particules sont la réunion d'un nombre que l'on ne définit pas d'atômes ou de molécules.

Il faut bien entendre le sens des expressions ; atômes, molécules, particules, en général, sont appliqués à des quantités de matière extrêmement petites et de même nature. Atôme est le dernier terme de la division, ce qui est tout-à-fait hypothétique ; le mot de molécule est pris souvent pour atôme, et enfin le mot de particule nous représente une agrégation de plusieurs atômes réunis ensemble.

On a mis de l'importance à insister sur ce que les atômes n'étaient plus divisibles, parce que les atômes, en se réunissant entre eux, doivent nécessairement produire le corps. Or, si les molécules élémentaires pouvaient être divisées ou

altérées d'une manière quelconque, cette altération en produirait nécessairement une dans les corps qui résultent de leur union, et conséquemment la nature des corps changerait avec celle des élémens qui les composent. La permanence de la nature d'un corps suppose la permanence dans les élémens de ce corps.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N° 4.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON DEUXIÈME.

(Samedi, 10 Novembre 1827.)

RÉSUMÉ DE LA PREMIÈRE LEÇON.

Nous avons cherché, dans la dernière séance, à définir la physique et à vous faire bien comprendre ce qui la distinguait des autres sciences naturelles. Nous avons dit que son objet principal était l'étude des forces ou agens auxquels la matière inerte est soumise. Nous vous avons cité les principaux de ces agens : la chaleur, le fluide électrique, le fluide magnétique, la lumière, la pesanteur ou gravitation. Après être entrés dans quelques détails sur ces divers agens, nous avons défini la matière, et nous avons parlé ensuite des propriétés générales que l'on pouvait considérer dans la matière. Nous avons fait remarquer la différence qui existait entre les propriétés *communes* à tous les corps, et les propriétés particulières à quelques-uns d'entre eux.

Parmi les propriétés générales nous avons considéré l'étendue qui appartient à tous les corps, mais que l'on peut aussi concevoir sans les corps, et l'impénétrabilité, qui est le vrai caractère de l'existence de la matière. Nous avons aussi considéré une autre propriété qui appartient à tous les corps : c'est la divisibilité. Nous avons été conduits à une question sur laquelle nous avons dit qu'il était parfaitement inutile de s'arrêter : celle de savoir si la matière est divisible à l'infini. Nous avons fait voir que, physiquement parlant, un corps est divisible dans des limites très étendues. Nous l'avons prouvé, en mettant une matière colorante dans de l'eau. Nous avons cité également les odeurs, et ce sont même les odeurs qui nous ont présenté l'exemple de la divisibilité la plus parfaite que l'on puisse voir. Les particules des corps sont alors tellement ténues

tous en repos, et, en effet, nous sommes en repos relativement aux murs et au plafond. Cependant nous sommes emportés dans l'espace d'un mouvement très rapide: car la terre tourne sur elle-même et nous tournons avec elle; nous ne sommes donc pas réellement en repos.

Le mouvement peut aussi être relatif. Par exemple, un corps peut paraître en repos et être réellement en mouvement, et réciproquement. On sait que la terre tourne sur son axe et fait sa révolution en vingt-quatre heures; chaque point de sa surface est animé d'une vitesse d'autant plus grande que ce point est plus éloigné de l'axe. C'est sous l'équateur que cette vitesse est la plus considérable; aux pôles, au contraire, absolument parlant, il est un point tout-à-fait stable; mais, à partir de là jusqu'à l'équateur, la vitesse des points placés à la surface de la terre va toujours en augmentant. Si donc l'on conçoit que l'on tire un boulet de canon dans une direction tout-à-fait opposée au mouvement de la terre, le mouvement de ce boulet pourra n'être qu'un mouvement relatif, et le boulet être en réalité immobile dans l'espace. En effet, ce boulet est entraîné par la terre avec une certaine vitesse. Si on a lancé le boulet en sens contraire du mouvement qui lui est commun avec la terre, et que la vitesse qu'on lui ait imprimée soit justement égale à la première, il restera réellement en repos. Ainsi vous concevez très bien ce que l'on doit entendre par mouvement et par repos relatifs.

Lorsqu'on voit un corps, qui est dans l'état de repos, passer à l'état de mouvement, il faut nécessairement qu'il y ait une cause quelconque qui produise ce changement; et la règle qu'il n'y a point d'effet sans cause, reçoit ici une juste application. Cette cause qui met un corps en mouvement nous est inconnue dans son essence, dans sa nature intime. On la désigne par le nom de *force*. Ainsi, un corps n'est mis en mouvement que par ce qu'on appelle une force, et force est la cause inconnue qui produit le mouvement.

INERTIE.

Cette propriété fort remarquable que l'on peut observer dans un corps, et qui fait que ce corps, une fois qu'il est dans l'état de repos, persiste indéfiniment dans cet état, à moins qu'il n'y ait une cause étrangère qui l'en fasse sortir, et qui fait que lorsqu'il est une fois en mouvement, il persiste également dans cet état, à moins qu'il n'y ait aussi une cause

mettra ainsi en mouvement dans l'eau reviendra à l'état de repos long-temps avant la boule qui oscille dans l'air. Quelle différence y a-t-il relativement à l'eau et, à l'air, sous le rapport de notre expérience ? C'est que l'eau est plus pesante, dirait-on ; nous, nous dirons, c'est qu'elle a plus de matière, qu'elle est plus résistante. Voilà, en effet, ce qui arrive : la boule qui est dans l'air ne peut point marcher sans déplacer l'air qui est, nous pouvons le dire, un corps, une substance matérielle. Or, nous savons tous qu'un corps ne peut mettre un autre corps en mouvement qu'en perdant du sien ; parce qu'autrement on concevrait qu'au moyen d'une boule lancée avec la main, on pourrait mettre en mouvement une masse considérable ; et qu'un boulet de canon pourrait forcer la terre à se mouvoir, ce qui serait absurde. Ainsi donc, la boule qui marche dans l'air perd de son mouvement par les rencontres successives qu'elle fait des couches d'air.

La même chose arrive dans l'eau, c'est-à-dire, que la boule ne peut avancer dans le liquide sans le déplacer, sans lui communiquer du mouvement, et sans, par conséquent, perdre du sien. Mais sous un même volume, l'eau renferme une bien plus grande quantité de matière que l'air, et conséquemment la boule qui oscille dans l'eau doit perdre beaucoup plus de mouvement que celle qui oscille dans l'air, puisqu'à chaque instant elle en communique une plus grande quantité. Vous voyez donc que lorsqu'un corps rencontre des obstacles, et qu'il leur communique du mouvement pour les déplacer, il ne le fait qu'aux dépens du sien propre, et qu'à force d'en donner il finit par donner tout ce qu'il avait, et alors il reste en repos. D'après cette expérience, nous pouvons conclure, par analogie, que si un corps en mouvement nous paraît s'arrêter, c'est parce qu'une cause étrangère le détermine au repos ; et puisque le corps continue son mouvement d'autant plus long-temps que les obstacles qu'il rencontre sont plus petits, nous concevons très bien que si le corps ne rencontrait point d'obstacles, il continuerait toujours son mouvement. C'est là un résultat auquel nous nous élevons par l'analogie qui est une très bonne manière de raisonner.

A l'exemple que nous venons de citer, nous pourrions ajouter celui d'un boulet de canon qui sort d'une pièce avec une vitesse très grande, environ 500 mètres par seconde, et qui cependant finit par s'arrêter. La vitesse du boulet est différente à chaque point de sa course. Quand il sort de la pièce,

quitter Pise et d'aller reprendre le cours de ses expériences dans une autre ville.

Il s'agit maintenant de montrer pourquoi les corps ne tombent pas en même temps, car cela est un fait constant que tous les corps ne tombent pas en même temps. Un morceau de papier tombe très lentement, tandis qu'un morceau de métal se précipite, en un instant, à la surface de la terre. Expliquons cette difficulté, qui semble contredire le principe de Galilée. Je puis citer une expérience bien simple, que M. Prévost a indiquée, et qui démontre que c'est l'air qui est la cause de la différence que l'on observe dans le temps que des corps partant d'un même point mettent à tomber à la surface de la terre. Il suffit de mettre sur un disque d'argent, un morceau de papier posé et non collé, pour que le papier et le disque d'argent tombent en même temps, et ne se séparent pas dans leur chute.

On fait une expérience plus décisive encore à laquelle on ne peut opposer aucune espèce d'objection. On se sert à cet effet d'un tube que l'on a vidé d'air, après y avoir introduit de petits morceaux d'or, de plomb, et des matières très légères, comme le papier, le duvet. Si on renverse rapidement ce tube, toutes les matières qu'il renferme tombent en bloc, et l'on ne peut apercevoir aucune différence dans leur chute. C'est ici la même expérience que Galilée faisait d'une hauteur plus considérable; mais qu'il faisait dans l'air, ce qui pouvait produire quelque erreur. L'expérience peut acquérir plus de certitude par les circonstances nouvelles avec lesquelles on peut la répéter. Si l'on fait entrer un peu d'air dans le tube, on verra que les corps ne tombent plus en même temps : le papier et le duvet restent un peu en arrière. La différence devient plus grande à mesure qu'on laisse rentrer une plus grande quantité d'air; et enfin, si on laisse entrer dans le tube tout l'air qu'il peut contenir, on observe une différence très grande dans la chute des corps. Nous conclurons de là que si les corps ne paraissent pas tomber en même temps à la surface de la terre, la différence de leur chute est due uniquement à la résistance de l'air; car dès qu'on a enlevé cet air, les corps, légers comme le papier ou pesans comme l'or, tombent tous en même temps.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

Nous avons ensuite exposé les deux principaux mouvemens que nous avions à considérer pour en venir au phénomène de la pesanteur, qui était notre objet principal. Nous avons distingué deux espèces de mouvemens : le mouvement uniforme et le mouvement uniformément varié. Nous avons dit que le mouvement uniforme était celui produit par l'action d'une force qui agirait instantanément sur un corps, et qui cesserait aussitôt, comme un choc. Si l'on admet qu'il n'y ait pas de résistances qui s'opposent au mouvement de ce corps, d'après le principe de l'inertie, ce corps une fois en mouvement doit persister dans cet état de mouvement ; et, comme il n'y a point de raison pour qu'il se donne du mouvement ou qu'il s'en ôte, les espaces parcourus par ce corps, dans des temps égaux, doivent être parfaitement égaux.

Le mouvement uniformément varié est celui qui est produit par l'action successivement continuée d'une force sur un corps. Ainsi, nous pouvons concevoir que la terre, en vertu de cette force qu'on appelle la pesanteur, agit sur ces corps dans un premier instant, et lui imprime un mouvement qu'on peut regarder comme uniforme ; mais l'action de la pesanteur est toujours présente ; par conséquent, elle agit encore au second instant comme elle avait agi au premier, elle agit au troisième comme elle avait agi au second, et ainsi de suite. Or, comme le corps avait reçu d'une première action une certaine vitesse, il reçoit d'une seconde action une vitesse égale à la première, etc. ; de manière que dans ce mouvement, produit par une force toujours présente, toujours agissante, le corps reçoit, pendant qu'il est en mouvement, des surcroîts de vitesse à chaque instant, et par conséquent il doit en résulter une vitesse qu'on appelle accélérée.

Dans ce cas, il est évident que les espaces parcourus ne doivent plus rester proportionnels au temps ; cette loi n'a lieu que dans la première hypothèse. Lorsque la vitesse va en augmentant, il faut que les espaces parcourus suivent un rapport plus grand. On démontre facilement que les espaces sont proportionnels, non plus simplement au temps, mais au carré du nombre d'unités de temps.

Après avoir indiqué ces circonstances du mouvement, nous avons examiné la pesanteur comme propriété générale des corps, et nous avons fait voir qu'en effet elle appartenait à tous les corps ; c'est-à-dire que tous les corps abandonnés à eux-mêmes se précipitaient à la surface de la terre.

Nous avons cité quelques corps, comme la fumée, les vapeurs, qui semblent s'éloigner de la surface de la terre, et que,

Nous avons ensuite exposé les deux principaux mouvemens que nous avions à considérer pour en venir au phénomène de la pesanteur, qui était notre objet principal. Nous avons distingué deux espèces de mouvemens : le mouvement uniforme et le mouvement uniformément varié. Nous avons dit que le mouvement uniforme était celui produit par l'action d'une force qui agirait instantanément sur un corps, et qui cesserait aussitôt, comme un choc. Si l'on admet qu'il n'y ait pas de résistances qui s'opposent au mouvement de ce corps, d'après le principe de l'inertie, ce corps une fois en mouvement doit persister dans cet état de mouvement ; et, comme il n'y a point de raison pour qu'il se donne du mouvement ou qu'il s'en ôte, les espaces parcourus par ce corps, dans des temps égaux, doivent être parfaitement égaux.

Le mouvement uniformément varié est celui qui est produit par l'action successivement continuée d'une force sur un corps. Ainsi, nous pouvons concevoir que la terre, en vertu de cette force qu'on appelle la pesanteur, agit sur ces corps dans un premier instant, et lui imprime un mouvement qu'on peut regarder comme uniforme ; mais l'action de la pesanteur est toujours présente ; par conséquent, elle agit encore au second instant comme elle avait agi au premier, elle agit au troisième comme elle avait agi au second, et ainsi de suite. Or, comme le corps avait reçu d'une première action une certaine vitesse, il reçoit d'une seconde action une vitesse égale à la première, etc. ; de manière que dans ce mouvement, produit par une force toujours présente, toujours agissante, le corps reçoit, pendant qu'il est en mouvement, des surcroîts de vitesse à chaque instant, et par conséquent il doit en résulter une vitesse qu'on appelle accélérée.

Dans ce cas, il est évident que les espaces parcourus ne doivent plus rester proportionnels au temps ; cette loi n'a lieu que dans la première hypothèse. Lorsque la vitesse va en augmentant, il faut que les espaces parcourus suivent un rapport plus grand. On démontre facilement que les espaces sont proportionnels, non plus simplement au temps, mais au carré du nombre d'unités de temps.

Après avoir indiqué ces circonstances du mouvement, nous avons examiné la pesanteur comme propriété générale des corps, et nous avons fait voir qu'en effet elle appartenait à tous les corps ; c'est-à-dire que tous les corps abandonnés à eux-mêmes se précipitaient à la surface de la terre.

Nous avons cité quelques corps, comme la fumée, les vapeurs, qui semblent s'éloigner de la surface de la terre, et que,

sur lui, alors ce corps continue à se mouvoir avec la vitesse qu'il a acquise au moment où la pesanteur a cessé son action, et avec cette vitesse il parcourt un espace double, dans le même temps.

On peut démontrer les lois de la pesanteur au moyen du plan incliné, et varier le mouvement avec autant de facilité que dans la machine d'Atwood. Si le plan est parfaitement horizontal, alors le corps placé sur le plan ne se meut pas; c'est le cas des deux masses égales. Si l'on incline tant soit peu le plan, il en résulte une certaine vitesse, mais que l'on peut mesurer facilement; si l'inclinaison du plan devient plus grande, la vitesse devient aussi plus grande. Enfin, la vitesse peut toujours aller en augmentant jusqu'à ce qu'on arrive à la vitesse que la boule aurait si le plan était tout-à-fait vertical.

On peut calculer l'intensité de la pesanteur pour une inclinaison donnée, c'est un résultat très simple que je crois devoir vous indiquer. Cela me fournira d'ailleurs l'occasion de rappeler ce que je vous ai dit dans la dernière séance, sur la nécessité de savoir décomposer des forces.

Soit le plan incliné $A\,D\,E$: la ligne $A\,D$ sera ce qu'on appelle la hauteur du plan, la ligne $A\,E$ sera la longueur. Supposé qu'un corps soit placé à la partie supérieure du plan, au point A. Ce corps est soumis à l'action de la pesanteur, et cette force, si le corps pouvait tomber librement, le déterminerait à descendre le long de la ligne verticale $A\,D$, et au bout d'une seconde, lui aurait fait parcourir un espace que nous pouvons représenter par une ligne $A\,B$, qui mesurera aussi l'intensité de la pesanteur. Le plan s'opposant à la chute du corps le long de la verticale $A\,D$, la force de la pesanteur se décompose en deux autres forces, l'une perpendiculaire au plan et representée par la ligne $B\,C$, est détruite par la résistance de ce plan; l'autre, représentée par la ligne $A\,C$ tendant à pousser le corps en avant. Dans ce cas, l'action de la pesanteur est réduite dans le rapport de la ligne $A\,B$ à la ligne $A\,C$. Ce rapport étant supposé g', on a, en représentant la longueur par l et la hauteur par h, la proportion $g : g' :: l : h$, d'où l'on déduit :

$g' =$ g multiplié par la hauteur divisée par la longueur.

Par conséquent, lorsque la hauteur sera cent fois plus petite que la longueur, la vitesse g' sera égale au centième de la vitesse g, laquelle est la vitesse que l'action de la pesanteur tend à donner au corps.

On voit, d'après cette démonstration, qu'on peut, au moyen du plan incliné, atténuer autant qu'on veut l'intensité de la pesanteur, en conservant la loi qui, ainsi que nous l'avons dit, consiste en ce que les espaces parcourus sont proportionnels au carré des temps.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N° 4.

tions assez considérable. Ainsi on peut considérer les oscillations, de part et d'autre, comme étant absolument les mêmes, c'est-à-dire, qu'en vertu de la vitesse acquise le corps s'élève à une hauteur justement égale à celle dont il est tombé.

Nous pouvons généraliser ce fait et en déduire ce principe, que lorsqu'un corps tombe par l'action de la pesanteur, et qu'il cesse de lui obéir, ce corps, en vertu de la vitesse acquise, s'élèvera à une hauteur justement égale à celle de laquelle il est tombé

Le mouvement d'un pendule, une fois déterminé, continuerait à avoir lieu indéfiniment, sans la résistance de l'air et divers frottemens qui produisent à chaque instant une perte de forces.

Maintenant que vous concevez bien tout ce que je viens de vous dire, j'ajouterai une chose fort remarquable : quoique les amplitudes totales du pendule soient inégales, ces amplitudes, un peu plus grandes ou un peu plus petites, se font toutes dans le même temps. Cela néanmoins n'a pas lieu dans toutes les positions du pendule ; il faut supposer qu'on ne s'écarte de la verticale que d'une petite quantité. Cette propriété fort remarquable, qu'on appelle l'*isochronisme*, nous fournit un moyen fort simple de mesurer le temps, et de constater la durée de divers phénomènes d'une manière parfaitement exacte.

Il faut remarquer aussi que la pesanteur, faisant tomber tous les corps dans le même temps, comme c'est une véritable chute qui a lieu dans le mouvement du pendule, il en résulte que si, au lieu de prendre une boule d'ivoire, on prend une boule d'argent ou de platine, ces pendules feront le même nombre d'oscillations dans le même temps. C'est même là un des moyens dont Galilée s'est servi pour démontrer que la pesanteur agissait de la même manière sur tous les corps.

On peut supposer que la boule du pendule soit comme un bassin qu'on peut remplir de diverses matières ; dans ce cas on aura un pendule qui fait le même nombre d'oscillations dans le même temps, quelle que soit la nature des matières contenues dans le bassin ; et réciproquement on peut se servir de ces oscillations qui se font dans le même temps pour démontrer que l'action de la pesanteur sur tous les corps est absolument la même.

Les deux pendules *A*, *B*, fig. , qui ont des boules semblables, ne font pas leurs oscillations dans le même temps. Le petit fait ses oscillations beaucoup plus rapidement que le grand. Le calcul démontre que les durées des oscillations sont

C'est-à-dire, le corps abandonné à lui-même tombe pendant une seconde, d'un $\frac{1}{2}\ g$, de 4^m 9 dixièmes ; et au bout de cette seconde il a acquis une vitesse avec laquelle il parcourrait un espace égal à 9^m, 8088.

Quand on connaît le rapport que nous venons de déterminer, il est facile de trouver les variations de la pesanteur en différens points de la surface de la terre. En faisant osciller le même pendule, vers l'équateur ou vers le nord, on peut connaître le nombre d'oscillations qui s'y feraient dans un temps déterminé, ou bien, prenant le même nombre d'oscillations et le temps variable, connaître le temps pendant lequel se ferait un nombre donné d'oscillations.

Si on prend le même temps à Paris et sous l'équateur, on trouve que la pesanteur à Paris, est à la pesanteur sous l'équateur, comme le carré des oscillations faites à Paris, est au carré des oscillations faites sous l'équateur.

Si on prend le nombre des oscillations comme constant, on trouve que la pesanteur à Paris, est à la pesanteur sous l'équateur, comme le carré du temps des oscillations à Paris est au carré du temps des oscillations sous l'équateur.

Je n'en dirai pas davantage sur cet objet qui est du ressort du cours d'astronomie, enseignée d'une manière spéciale dans cet établissement. J'empiéterais sur les droits du professeur, en entrant dans plus de détails à cet égard.

Je ferai seulement observer qu'on a pu obtenir une très grande précision dans l'évaluation de l'intensité de la pesanteur. En effet, dans 9^m, 8088, nous avons le décimètre, le millimètre et le dixième de millimètre. On a poussé même plus loin l'observation, mais les fractions qui viennent ensuite sont si petites, qu'on peut les négliger.

Concevant comment on peut mesurer l'intensité de la pesanteur, nous allons résumer les principaux phénomènes qu'elle nous présente, et citer même quelques faits dont nous n'avions pas parlé.

La pesanteur agit entre tous les corps, dans quelque état qu'ils se trouvent, ce qui veut dire, soit qu'ils soient solides, liquides ou fluides élastiques; et nous ajouterons, soit qu'ils soient en repos, soit qu'ils soient en mouvement.

Cavendish est le premier qui ait démontré l'attraction réciproque des corps, par une expérience extrêmement délicate et qui a demandé toute la sagacité de cet habile physicien. Cette expérience n'est pas susceptible d'être faite dans cet amphithéâtre. Cavendish est parvenu à démontrer que quand on a deux corps librement suspendus, une boule de plomb

aux masses; maintenant nous ajouterons que l'action de la pesanteur est réciproque au carré de la distance.

Pour bien comprendre ceci, il faut concevoir que la masse entière de la terre s'est réunie à son centre, et alors l'action de cette masse, ainsi concentrée, serait la même sur un corps placé à une distance déterminée, que si la masse entière de la terre était placée à sa surface.

Nous venons de mesurer l'intensité de la pesanteur, nous avons vu qu'elle était exprimée par $9^{m},8088$. Si nous allions à une distance égale au double du rayon de la terre, la pesanteur ne serait plus simplement moitié, elle serait devenue quatre fois plus petite. Si nous supposons qu'on soit placé à une distance mesurée par trois fois le rayon, la pesanteur sera neuf fois plus petite. Elle diminue ainsi à mesure qu'on s'élève dans l'espace.

Sur la plus haute montagne, le Chimboraço, dont la hauteur est égale au 946e du rayon de la terre, la pesanteur diminue d'une quantité appréciable.

Ainsi que nous venons de le dire, une sphère matérielle attire absolument comme si toute sa matière se trouvait réunie à son centre.

Maintenant, si l'on conçoit une sphère creuse, formée de surfaces concentriques, un point matériel placé dans l'intérieur de cette sphère est en équilibre partout, et ne peut tomber.

Si nous concevons qu'on s'enfonce dans l'intérieur de la terre, l'action de la pesanteur ira toujours en diminuant, parce qu'en descendant on cesse d'être soumis à l'action de toutes les couches matérielles qu'on laisse au-dessus de soi.

Il nous reste maintenant à considérer la pesanteur comme caractère dans les corps. Nous avons dit que le véritable caractère des corps est l'impénétrabilité dont nous nous apercevons par la résistance qu'un corps oppose lorsqu'un autre corps veut prendre la place qu'il occupe lui-même. Ce caractère n'est pas toujours bien facile à constater, ni surtout facile à mesurer, au lieu que la pesanteur, que nous venons de démontrer appartenir à tous les corps au même degré, et qui peut être mesurée facilement, sera pour nous un caractère beaucoup plus précieux. C'est pourquoi nous considérerons désormais la pesanteur comme le véritable caractère servant à mesurer les corps.

POIDS DES CORPS.

La pesanteur, en agissant sur les corps, anime toutes les

aux masses; maintenant nous ajouterons que l'action de la pesanteur est réciproque au carré de la distance.

Pour bien comprendre ceci, il faut concevoir que la masse entière de la terre s'est réunie à son centre, et alors l'action de cette masse, ainsi concentrée, serait la même sur un corps placé à une distance déterminée, que si la masse entière de la terre était placée à sa surface.

Nous venons de mesurer l'intensité de la pesanteur, nous avons vu qu'elle était exprimée par $9^m,8088$. Si nous allions à une distance égale au double du rayon de la terre, la pesanteur ne serait plus simplement moitié, elle serait devenue quatre fois plus petite. Si nous supposons qu'on soit placé à une distance mesurée par trois fois le rayon, la pesanteur sera neuf fois plus petite. Elle diminue ainsi à mesure qu'on s'élève dans l'espace.

Sur la plus haute montagne, le Chimboraço, dont la hauteur est égale au 946e du rayon de la terre, la pesanteur diminue d'une quantité appréciable.

Ainsi que nous venons de le dire, une sphère matérielle attire absolument comme si toute sa matière se trouvait réunie à son centre.

Maintenant, si l'on conçoit une sphère creuse, formée de surfaces concentriques, un point matériel placé dans l'intérieur de cette sphère est en équilibre partout, et ne peut tomber.

Si nous concevons qu'on s'enfonce dans l'intérieur de la terre, l'action de la pesanteur ira toujours en diminuant, parce qu'en descendant on cesse d'être soumis à l'action de toutes les couches matérielles qu'on laisse au-dessus de soi.

Il nous reste maintenant à considérer la pesanteur comme caractère dans les corps. Nous avons dit que le véritable caractère des corps est l'impénétrabilité dont nous nous apercevons par la résistance qu'un corps oppose lorsqu'un autre corps veut prendre la place qu'il occupe lui-même. Ce caractère n'est pas toujours bien facile à constater, ni surtout facile à mesurer, au lieu que la pesanteur, que nous venons de démontrer appartenir à tous les corps au même degré, et qui peut être mesurée facilement, sera pour nous un caractère beaucoup plus précieux. C'est pourquoi nous considérerons désormais la pesanteur comme le véritable caractère servant à mesurer les corps.

POIDS DES CORPS.

La pesanteur, en agissant sur les corps, anime toutes les

venue les détruire, elles doivent exister encore, et que si elles ne paraissent pas, c'est qu'étant agglutinées les unes avec les autres par la solidification, elles ne peuvent se détacher.

Il en est de même à l'égard de la glace. Si vous attendez que l'eau soit tout-à-fait congelée, vous n'avez qu'une masse transparente, et vous n'apercevez, en la brisant, aucune apparence de cristallisation. Mais si vous brisez la glace avant que la congélation soit entière, vous distinguerez de très beaux hexaèdres.

Nous pouvons donc concevoir que les corps mêmes qui se présentent à nous, sans aucune espèce de cristallisation, n'en sont pas moins composés d'une infinité d'atomes qui ont une forme régulière et déterminée. C'était là ce que nous devions prouver.

MESURE DES CORPS.

Je vais maintenant dire quelques mots sur les moyens que nous emploierons pour mesurer les corps, non que je veuille rappeler le système nouveau des poids et mesures avec détails; ces notions doivent être familières à la plupart d'entre vous. Mon unique intention est de vous faire sentir l'importance et l'avantage de ce système, qui consiste à avoir adopté une seule unité qui, quoiqu'elle ne soit pas encore généralement adoptée en France, l'est du moins par toutes les personnes qui ont besoin de faire des calculs.

Pour se mettre à l'abri de la jalousie des peuples, on a conçu une grande idée, c'est de prendre l'unité de mesure dans les dimensions mêmes de la terre. La terre a été mesurée avec beaucoup d'exactitude par des académiciens français. Quoiqu'on ne soit pas parvenu jusqu'au pôle, on a pu, cependant, d'après la loi que suit la courbure de la terre, calculer rigoureusement le quart du méridien, c'est-à-dire la distance depuis le pôle jusqu'à l'équateur. Cette distance sera invariable aussi long-temps que la terre n'éprouvera point de catastrophes; si, donc, on perdait l'unité de mesure, il serait facile de la retrouver.

C'est la dix-millionième partie de cette distance du pôle à l'équateur qu'on a prise pour unité de longueur, et à laquelle on a donné le nom de *mètre*. La mesure de l'arc du méridien ayant été faite avec la toise, on a trouvé pour la longueur de cet arc, depuis le pôle jusqu'à l'équateur, 513,074 toises; le mètre étant égal à la dix-millionième de cette quantité, on a pour la valeur du mètre $0^t,513,074$, c'est-à-dire qu'il est à peu près égal à la moitié de la toise.

TEMPS.

Dans l'observation des phénomènes de la nature, le temps est un élément de la plus haute importance. Je n'entrerai pas dans le détail des instrumens qui servent à le mesurer : ces instrumens reposent tous sur l'habileté des artistes. Je rappellerai seulement à ceux qui veulent faire des expériences ce mot de Franklin : « Il faut qu'un physicien qui veut faire de la physique sache percer avec une scie et scier avec une vrille. » Cela est vrai jusqu'à certain point ; il faut qu'un physicien sache tirer parti de tout ce qu'il a sous la main. J'ai besoin de mesurer la durée d'un phénomène, je prends une balle de plomb, une pierre, une clé, ce qui me tombera sous la main, je le suspends par un fil que je fais plus ou moins long. Après cela je n'ai qu'à écarter ce fil de la verticale, aussitôt j'ai des oscillations qui sont isochrones, c'est-à-dire qui se font dans le même temps ; et comme dans les phénomènes de la nature ce sont des rapports que l'on cherche, et non le temps absolu, en comptant le nombre des oscillations qui ont lieu pendant deux phénomènes, le rapport entre ces oscillations donnera le rapport entre la durée des phénomènes.

Si vous trouvez que les oscillations sont un peu trop lentes, vous raccourcissez le fil, et vous avez des oscillations plus rapides ; vous trouvez que les oscillations se font trop vite, vous allongez le fil, et leur nombre diminue dans le même temps. Enfin, vous pouvez proportionner votre fil de telle sorte que vous pourrez mesurer en nombre rond la durée d'un phénomène.

On divise aussi le temps par l'écoulement des liquides. On a un vase qui a dans le bas une ouverture fermée par un robinet : en ouvrant ce robinet, l'eau coule, et l'on compte combien il faut de secondes pour vider ce vase, et l'on se fait ainsi une unité qui sert ensuite à mesurer la durée des phénomènes.

BALANCE.

Nous savons mesurer les longueurs, les volumes, les surfaces ; nous savons comment on mesure le temps : il nous reste à dire comment on peut mesurer les masses des corps, c'est-à-dire comment on prend les poids des corps. Cela se fait d'une manière bien simple avec un instrument que nous connaissons tous sous le nom de *balance*, fig. 1. Je prends, pour vous en donner une idée, la balance ordinaire, telle qu'on la construit, c'est-à-dire assez grossièrement, parce qu'il s'agit

de suspension et le centre de gravité sera plus considérable.

Enfin quand le centre se trouve exactement sur l'axe de suspension, la balance reste dans toutes les positions qu'on lui donne; elle est dite insensible.

Que faut-il faire au milieu de tous ces effets variés qui résultent de la position respective du centre de gravité et du centre de suspension? c'est de faire en sorte que la balance ne soit ni trop folle ni trop paresseuse. On obtient la sensibilité convenable en plaçant l'axe de suspension légèrement au-dessus du centre de gravité. Dans ce cas, lorsqu'on fait pencher un peu la balance, le centre de gravité déplacé tend à revenir dans la verticale, et il s'établit une série d'oscillations tout comme dans le pendule.

Il nous reste maintenant à parler des plateaux. Lorsqu'on a une force fixe qui doit agir sur un point, on peut appliquer cette force là où l'on veut, et l'on n'établit pas moins l'équilibre des plateaux soit que les fils qui les soutiennent soient plus longs ou plus courts. Ces fils sont supportés par des couteaux. Une condition nécessaire à remplir, c'est que la ligne qui joint les deux couteaux passe par l'axe de suspension. Je ne dis pas par le centre de gravité, parce qu'il faut remarquer que la matière que nous regardons comme ayant le plus de rigidité est encore très flexible. Si nous prenons, par exemple, une barre de fer d'un pouce d'épaisseur, qui par conséquent vous paraît devoir être très résistante, et que nous la mettions en équilibre sur une arête, cette barre ne restera pas en ligne droite, elle fléchira. C'est à cause de cette flexion nécessaire des matières même les plus rigides, flexion qui est déterminée dans une balance, par les poids qui chargent les plateaux, qu'il faut avoir le soin de mettre les points d'attache de ces plateaux sur la même ligne que le centre de suspension.

Il faut de plus qu'il y ait dans les points d'attache une mobilité parfaite. C'est pour cette raison que l'axe, déjà très mobile, porte un petit crochet également très mobile, auquel sont attachés les fils du plateau.

Supposons, par exemple, qu'au lieu de se mouvoir avec une grande facilité autour de leur axe de suspension, les plateaux soient attachés d'une manière invariable à l'extrémité du fléau. Que va-t-il arriver dans ce cas? si l'on met un poids dans l'un des plateaux, ce plateau va se rapprocher de la verticale, l'autre s'en écarter, par conséquent les plateaux exerçant leur action sur les extrémités du fléau à des distances inégales du centre de suspension, empêchent qu'on ne con-

d'un corps quelconque. Je me bornerai, dans cette séance, à énoncer ce principe.

Lorsqu'on a un liquide en repos, toute masse que l'on peut concevoir dans l'intérieur du liquide est elle-même en repos ; et comme elle est pesante, qu'elle tend à tomber et que cependant elle ne tombe pas, il faut nécessairement que cette masse de liquide soit soutenue, ou que son poids soit détruit par la réaction de toutes les parties environnantes. Puisque cette masse de liquide a ainsi perdu tout son poids ou pour mieux dire, que son poids est tenu en équilibre par les réactions, les pressions du liquide ; si nous concevons à la place de cette masse un corps solide quelconque que nous supposons, pour le moment, peser autant que l'eau elle-même, ce corps restera suspendu. D'où nous conclurons que ce corps aura perdu de son poids une quantité justement égale au poids du volume d'eau qu'il déplace. Si maintenant ce corps pesait davantage que l'eau, les actions dont je viens de parler, qui s'opposent à la chute du corps, seront les mêmes, c'est une quantité constante. Par conséquent un corps quelconque qui sera ainsi suspendu, pèsera moins, d'une quantité égale au poids de l'eau qu'il a déplacée.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON SEPTIÈME.

(Mardi, 27 Novembre 1827.)

RÉSUMÉ DE LA SIXIÈME LEÇON.

Dans la dernière séance, nous avons examiné les pressions qu'un liquide enfermé dans un vase exerce contre les parois de ce vase. En concevant que ce vase soit cylindrique et rempli de liquide, il est évident que les diverses particules matérielles qu'il renferme étant soumises à la pesanteur, chaque molécule pèse sur celles qui sont immédiatement au-dessous d'elle, de manière qu'en raison de la résistance qu'opposent les diverses molécules, le fond doit supporter les actions de toutes ces molécules. C'est ce qu'on exprime en disant que la pression exercée sur le fond d'un vase cylindrique est égale au produit de la base par la hauteur.

Ce premier fait, qui ne présente aucune espèce de difficulté, étant admis, nous avons cherché à démontrer quelle est la pression que le fond supporte lorsque les parois, au lieu d'être verticales, sont inclinées en dedans ou en dehors. Nous avons vu que le fond supporte toujours une pression qui est exprimée par le produit de la base pour la hauteur; de sorte que cette pression est absolument indépendante de la forme du vase, le fond restant le même. Nous avons dit que cette propriété résulte de ce que dans les liquides le mouvement se transmet dans tous les sens.

Nous avons dit que, par une conséquence de cette propriété dans les liquides, on pouvait, avec une très petite quantité de liquide, faire crever le vase le plus résistant; qu'il suffisait pour cela d'avoir un vase dont la paroi supérieure et la paroi inférieure fussent très rapprochées, et qui serait terminé par un tube vertical très étroit, qui, en raison de sa capillarité pourrait être prolongé à une très grande hauteur et ne contenir néanmoins qu'une très petite quantité

Lorsque des liquides de densités différentes seront simplement juxta-posés, qu'arrivera-t-il? Supposons, par exemple, que nous ayons de l'eau et du mercure renfermés dans un vase, et qu'ayant le même niveau, ils soient séparés par une cloison verticale. Si nous considérons une molécule de mercure en un point quelconque sur le diaphragme qui sépare les deux liquides, cette molécule sera pressée par une colonne de mercure qui a la même hauteur que la colonne d'eau, mais qui est treize fois plus pesante. Par conséquent, cette molécule cédera à cette pression et tombera au fond; on raisonnera de même à l'égard de toutes les autres molécules : et l'équilibre n'existera que lorsque toutes les molécules de mercure occuperont le fond du vase.

Si au lieu de supposer le diaphragme vertical, nous le supposons horizontal, et que nous mettions du mercure en haut et de l'eau en bas; dans ce cas, si nous considérons une molécule de mercure en un point quelconque sur le diaphragme, cette molécule sera plus pressée de haut en bas qu'elle ne le sera de bas en haut, et par conséquent elle se précipitera au fond du vase. On conçoit cependant qu'il peut exister une espèce d'équilibre, comme dans un corps suspendu; mais cet équilibre sera peu stable, et le plus léger mouvement suffira pour le détruire et déterminer les liquides à se placer au rang que leur assigne leur densité respective.

Ce fait rencontre des applications fréquentes dans la nature, et il se renouvelle tous les jours dans les appartemens. Si vous avez du feu dans une chambre, la chaleur ayant pour effet d'augmenter le volume des corps, il en résultera que l'air de la chambre sera moins dense que l'air extérieur. Aussitôt qu'on ouvre la porte, l'air froid du dehors vient se jeter par dessous l'air chaud de la chambre et forme un courant d'air froid, tandis que l'air chaud, qui est plus léger, s'élève et se déverse en sens contraire. Il s'établit ainsi deux courans opposés qui se continuent tant que l'équilibre n'est pas établi. Il est facile, au moyen d'une bougie allumée, de s'assurer de l'existence de ces courans. Si on tient cette bougie dans le bas, la flamme sera chassée du côté où se trouve l'air chaud; si vous élevez la bougie, la flamme sera chassée en sens contraire, car l'air froid ne peut entrer sans qu'il sorte de l'air chaud. Vous concevez, d'après cela, qu'il doit y avoir un point intermédiaire où il n'y ait pas de courant, et la bougie l'annoncera, parce que, placée dans ce point, la flamme restera droite.

rempli d'eau à la hauteur de 32 pouces et demi, au moyen d'un réservoir. Il fit à ce vase une ouverture de 18 lignes de diamètre. Il a remarqué d'abord que si l'on mettait à cette ouverture un tuyau ayant justement la forme de la veine, le résultat restait le même que s'il n'y avait pas d'ajutage; et, en effet, puisque l'eau toute seule prend cette forme, si vous lui donnez une enveloppe, cela ne changera rien. Il a mesuré, dans ce cas, quelle était la dépense de l'eau; il a trouvé que l'écoulement produisait 4 pieds cubes en 41 secondes. Il a ensuite mis à cette même ouverture un tube qui se prolongeait et qui avait pour longueur trois fois le diamètre de l'ouverture; l'écoulement est alors devenu beaucoup plus considérable, et pour obtenir les 4 pieds cubes, au lieu de 41 secondes, il n'en a fallu que 31.

Prenant donc pour terme de comparaison la quantité d'eau qui s'écoule en mince paroi, et qui est les 0,64 de ce que donne la théorie; et, multipliant 0,64 par 41 et le divisant par 31, nous aurons pour résultat 0,84, valeur qui, comme vous voyez, se rapproche de la théorie.

$$0{,}64 \times \frac{41}{31} = 0{,}84$$

Venturi a pris ensuite divers tuyaux; mais je ne vous citerai que celui qui a donné le résultat le plus marqué.

Il a pris un tuyau qui, au lieu d'être cylindrique, était conique, mais toujours ayant la forme de la veine au moment de la sortie. Voici quelles étaient les principales dimensions de ce tuyau: 18 lignes à l'entrée; 148 lignes, depuis l'étranglement de la veine jusqu'à l'extrémité; 27 lignes d'ouverture à la sortie. Avec un tuyau semblable, la dépense des 4 pieds cubes s'est faite en 21 secondes. Par conséquent, l'effet total est exprimé par 0,64, multiplié par 41 divisé par 21, c'est-à-dire, est égal à 1,25

$$0{,}64 \times \frac{41}{21} = 1{,}25$$

Ainsi, au moyen de ce dernier ajutage, la dépense, au lieu d'être un, comme le donne la théorie, s'est trouvée d'un quart plus considérable: c'est là le plus grand effet que Venturi a pu produire.

Remarquez un phénomène qui se présente constamment, tant que l'écoulement est augmenté au moyen des ajutages; si, par exemple, on met un ajutage, et que le tuyau ne soit pas entièrement plein, le résultat est le même que s'il n'y avait pas d'ajutage. On parvient facilement à remplir cette

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON HUITIÈME.

(Samedi, 1er Décembre 1827.)

RÉSUMÉ DE LA SEPTIÈME LEÇON.

Nous commencerons par rappeler en peu de mots les principaux objets de la séance dernière. Nous avons établi ce qu'on appelle le principe d'Archimède, et qui consiste en ce qu'un corps plongé dans un liquide, y perd une portion de son poids, égale au poids du volume d'eau qu'il déplace. Nous avons dit que si l'on se représentait une portion d'une masse liquide, comme, par exemple, un décimètre cube, ce décimètre cube était en équilibre, et que, puisqu'il ne tombait pas, quoiqu'il fût soumis à l'action de la pesanteur, il fallait nécessairement qu'il y eût des forces opposées qui pussent contrebalancer le poids de ce corps. Nous avons fait remarquer que ces forces étaient évidemment les pressions que le liquide exercait dans tous les sens, soit en haut, soit en bas, soit sur les côtés; qu'on pouvait même ne faire nulle attention aux pressions latérales qui se détruisaient évidemment.

Ce principe ayant été établi d'une manière incontestable, nous avons ensuite remarqué que lorsqu'on a des liquides dans des vases différens, mais qui sont en communication par un canal horizontal ou incliné, ouvert dans la partie inférieure, le liquide que l'on suppose ici de même nature, tend à s'élever à la même hauteur dans les deux réservoirs. Cela nous a conduits à donner une idée de la presse hydraulique, machine de la plus haute importance qui sert pour exercer des pressions considérables.

Nous avons examiné quelle était la vitesse avec laquelle un liquide devait s'écouler. Nous avons rappelé ce principe que lorsqu'un corps tombe librement d'une certaine hauteur, il arrive à la surface de la terre avec une vitesse telle

Voici l'avantage que ce baromètre a sur l'autre ; il est d'abord beaucoup plus léger ; car la cuvette est ici réduite à un tube qui a le même diamètre que l'autre. Il sera par conséquent d'un transport beaucoup plus facile.

Relativement à la mesure de la colonne, il faut d'abord remarquer que nous avons deux niveaux, l'un en *N*, l'autre en *nn* ; si vous menez un plan horizontal tangent au niveau inférieur, vous allez détacher deux parties *an*, *an*, qui vont se faire parfaitement équilibre. Mais la colonne qui s'élève en dessus de ce plan horizontal n'est plus soutenue que par la pression de l'air. C'est par conséquent cette colonne même, c'est-à-dire la différence entre la grande colonne *aN*, et la petite colonne *an*, qui mesure la pression de l'air ; et, en effet, si nous mesurons la longueur de cette colonne, nous la trouverons justement égale à celle qui s'élève dans le baromètre ordinaire.

Comme dans ce baromètre le niveau est variable à chaque instant, et que s'il y a une variation d'un millimètre en haut il y a en bas une variation aussi d'un millimètre, on a imaginé d'avoir une échelle qui va jusqu'en bas, et de placer le zéro au point o, par exemple ; et comme toute observation du baromètre se réduit à avoir la différence entre ces deux colonnes, on lit la hauteur de la grande colonne, on lit la hauteur de la petite, on retranche celle-ci de la première ; la différence donne la hauteur de la colonne qui fait équilibre à la pression atmosphérique.

D'autres fois, on place le zéro de l'échelle dans le milieu ou en un point quelconque au-dessus du niveau inférieur ; et alors pour avoir la hauteur de la grande colonne, on compte d'abord depuis le zéro en remontant jusqu'au niveau supérieur, et ensuite depuis ce même point zéro, en descendant jusqu'au niveau inférieur. On ajoute ces deux quantités, et on a la hauteur de la colonne qui mesure la pression atmosphérique. Dans ce cas, au lieu d'une soustraction, c'est une addition qu'il fant faire.

Cette dernière manière de calculer a un grave inconvénient, qui résulte de ce qu'on est obligé de compter les divisions dans deux sens différens. Aussi je vous conseille de vous servir de préférence, du baromètre où l'on trouve la pression atmosphérique au moyen d'une soustraction.

Néanmoins ce baromètre n'est pas parfait ; on est obligé, pour le transporter, de le tenir renversé, et alors il peut arriver que l'air pénètre à travers le mercure, et aille se loger dans le haut de la colonne barométrique. Lorsque cela arrive, le baromètre est tout-à-fait perdu. En effet, quand le baromètre

que peuvent le savoir ceux qui ont assisté à quelques leçons de chimie. Lorsqu'on écrit sur la physique ou sur la chimie, il faut nécessairement, pour pouvoir s'entendre, adopter une manière toujours uniforme de s'expliquer. Si, par exemple, l'un parlait de l'air sous la pression de 75 centimètres, si un autre en parlait sous la pression de 72 centimètres, si un autre enfin parlait de l'air sous la pression de 77 centimètres, tous ces résultats ne seraient pas comparables. On est donc convenu, lorsqu'on parle des fluides et de leur volume, de ramener toujours ces volumes à ce qu'ils seraient sous une pression constante que l'on suppose alors de 76 centimètres, qui est la pression moyenne de l'atmosphère. Ainsi, lorsqu'on dit que l'air pèse 770 fois moins que l'eau, cela suppose que l'air a été pesé lorsqu'il était sous une pression mesurée par une colonne de 76 centimètres. Si cette pression était deux fois plus petite, le même volume d'air pèserait moitié moins. Vous sentez donc combien il est important de faire attention à la pression sous laquelle on opère, et voilà pourquoi on est convenu de ramener à une pression constante les fluides et les gaz.

Cette réduction de volume n'éprouve aucune espèce de difficulté.

Soit, par exemple, un volume donné V d'un corps, sous une pression que nous supposerons, pour fixer les idées, de 71 centimètres de mercure. On veut savoir ce que deviendrait ce volume sous la pression de 76 centimètres.

Nous savons que les volumes sont en raison inverse des pressions; par conséquent, représentant par x le volume cherché, nous établirons la proportion suivante :

$$V : x :: 76 : 71.$$

D'où nous déduirons, pour la valeur de x,

$$x = V \times \frac{71}{76}$$

Il y a néanmoins à faire quelques corrections que nous citerons plus tard.

ÉLASTICITÉ OU RESSORT DE L'AIR.

Une portion quelconque d'air que nous isolons par la pensée, a ses molécules rapprochées, puisqu'elles sont comprimées de toutes parts par l'atmosphère, dont la pression nous est connue. Supposons, pour mieux fixer nos idées, que ce soit de l'air enfermé dans un flacon : toutes les molé-

comprimante. Ainsi donc, lorsque nous nous serons élevés à une hauteur telle que la pression atmosphérique serait réduite à moitié, la couche d'air aurait une densité moitié moindre. Nous reviendrons sur cet objet dans le résumé de cette séance.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

plus extensible, le fluide qu'il renferme et qui est plus léger que l'air extérieur, pourra le faire monter encore jusqu'à ce que la densité du gaz hydrogène qui ne peut plus s'étendre fasse équilibre avec tout l'ensemble du ballon au poids de l'air extérieur. Lorsque le ballon est tout-à-fait gonflé et qu'il monte encore, le ressort du gaz, augmentant continuellement à mesure qu'on s'élève, la pression intérieure devient plus grande que la pression extérieure, et alors le ballon pourrait finir par crever, si on n'avait la précaution d'ouvrir la soupape pour lâcher du gaz. Alors le ballon perdant du principe qui le tient suspendu, redescend, et il reviendrait jusqu'à terre; mais on referme la soupape, on jette du lest, et le ballon remonte. Comme vous le voyez, l'ascension des ballons est une chose extrêmement simple.

VIDE.

Maintenant que nous connaissons la pression de l'air, et que nous savons que l'air est partout, il s'agira de résoudre un problème fort important en physique, qui est de trouver le moyen d'ôter cet air des endroits où il se trouve; en un mot, de faire le *vide* dans un endroit déterminé. C'est de cette question dont nous allons nous occuper.

Le vide le plus parfait que l'on puisse obtenir est celui que l'on fait en construisant le baromètre de Toricelli. Effectivement, si ce baromètre a été bien fait, et s'il a été bien purgé, le mercure doit aller facilement contre la partie supérieure y frapper un corps sec, et l'on ne doit point apercevoir la moindre bulle. Voilà quel est le vide le plus parfait, mais ce n'est pas le vide absolu. Par vide absolu, on entend l'absence de toute matière. Or le mercure, qui entre en ébullition, mais seulement à un degré de chaleur trois fois et demie plus grand que celui qui fait bouillir l'eau, le mercure peut donner encore un peu de vapeur qui s'aperçoit, lorsque, par exemple, un baromètre est exposé au soleil. Cette vapeur qui existe alors dans l'espace, au-dessus de la colonne de mercure, est tellement rare, qu'elle ne ferait pas équilibre à un centième de millimètre, ni peut-être même à un millième de millimètre, ni peut-être à une quantité infiniment plus petite. Ce qui le prouve, c'est qu'on peut conserver pendant un temps indéfini du mercure dans un vase exposé à l'air, et nous verrons par la suite que le mercure se réduirait en vapeur tout aussi bien dans l'air que dans le vide, sans que le poids de ce mercure change sensiblement. Donc

vase qui, au lieu d'avoir une paroi supérieure très résistante, est fermé par une peau de vessie; à mesure qu'on fait le vide, la pression extérieure devenant à chaque instant plus forte que la pression intérieure, la peau se courbe et devient concave. En continuant à faire le vide, la vessie qui ne peut résister à une pression égale au poids d'une colonne de mercure qui aurait pour base la paroi du vase, et pour hauteur 76 centimètres, doit finir par se crever, et en effet elle éclate avec un bruit semblable à un coup de pistolet.

HÉMISPHÈRES DE MAGDEBOURG.

Une autre expérience, propre à montrer la pression de l'air, mais qui n'est pas nécessaire pour vous en convaincre, est une des premières expériences qui aient été faites après la découverte de la machine pneumatique, découverte due à un bourgmestre de Magdebourg, qui avait borné la machine pneumatique à une pompe qui était dans l'origine très grossière. Ce n'est que successivement que la machine pneumatique a été portée à ce degré de perfectiou qu'elle a aujourd'hui.

Cette expérience consiste à prendre deux moitiés d'une sphère creuse qu'on appelle les *hémisphères de Magdebourg*. Les bords de ces deux hémisphères sont usés de manière à s'adapter parfaitement l'un contre l'autre. Dans cette position on peut les séparer facilement avec un effort égal au poids du disque supérieur; mais si on fait le vide dans l'espace compris entre ces deux hémisphères, il faudra, pour les séparer, une force capable de faire équilibre à une pression mesurée par une colonne de mercure qui aurait pour base la surface des hémisphères et pour hauteur 76 centimètres, c'est-à-dire, par une colonne qui pèserait plus de 300 livres.

Enfin, la dernière expérience, par laquelle nous allons terminer, consiste à faire passer des liquides à travers des corps poreux en augmentant la pression d'un côté ou en la diminuant de l'autre. Je suppose que l'on prenne une rondelle de bois coupée perpendiculairement au fil. Le bois est poreux, les instrumens d'optique très précis permettent d'apercevoir ces pores; mais ils sont assez petits pour que du mercure ne puisse s'y introduire; de manière qu'un vase fait avec un morceau de bois ne laisse pas échapper le mercure. D'un autre côté il faut remarquer que le mercure est pressé à sa surface supérieure par tout le poids de l'air, et ensuite que

l'air passant par toutes ces petites ouvertures, le presse en dessous avec une force parfaitement égale.

Si, maintenant, on prend un tube fermé dans le haut par la rondelle de bois, qui forme le fond d'un vase; le mercure que nous mettrons dans cette espèce de coupe ne tombera pas. Mais si on met ce tube sur la platine de la machine pneumatique et qu'on fasse le vide, l'air extérieur pèsera seul sur le mercure, et cette pression que nous connaissons forcera ce mercure à traverser la rondelle de bois et à tomber dans le tube sous forme de pluie.

Ceci trouve naturellement une application dans le corps de l'homme et dans ce qu'on appelle l'écoulement des liquides par des tuyaux très fins.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

branche, je détache deux colonnes égales, et il reste une colonne qui tend à tomber, qui n'est tenue suspendue que par l'accroissement de force élastique de l'air dans le vase *A B*, et qui, par conséquent, peut servir à mesurer cet accroissement.

Cette espèce de monomètre appelé tube de *Welter*, qui en est l'inventeur, est d'un fréquent usage dans toutes les expériences de chimie, toutes les fois qu'on veut connaître la différence d'élasticité de l'air comprimé dans un vase avec la force élastique de l'air extérieur.

La boule qui fait partie du tube *a b* a des avantages extrêmement précieux; elle fournit la colonne qui s'élève en *b*, lorsqu'on augmente la force élastique de l'air intérieur. Si cette boule n'existait pas, vous concevez qu'à moins de faire l'autre branche du tube très longue, la colonne qui se trouve dans cette dernière branche serait de suite épuisée, lorsqu'on souffle dans le vase.

Cette boule a encore un autre avantage. Je suppose que je rétablisse la communication en débouchant le tube *c d* que l'on ferme toutes les fois qu'on introduit de l'air dans le vase *A B*, pour augmenter le ressort intérieur. Le niveau se rétablit aussitôt dans le tube *a b*; ce qui indique que l'air intérieur a la même force élastique que l'air extérieur. Maintenant je fais l'inverse de ce que j'avais fait tout à l'heure, c'est-à-dire, qu'au lieu d'introduire de l'air dans le vase *A B*, j'en extrais; pour cela il suffit d'aspirer par le tube *cd*. Alors la colonne qui s'était élevée dans la première expérience se déprime maintenant, et la boule reste toujours à moitié pleine, de manière à pouvoir fournir du liquide lorsque la pression intérieure vient à augmenter.

On adapte encore au même appareil un tube droit dont l'invention est également due à Welter. Il plonge, à travers un bouchon, dans le liquide à une profondeur de 1, 2, 3 ou 4 millimètres. Il sert également de monomètre et remplit le même objet que le tube en *S* dont nous venons de parler. Lorsqu'on augmente le ressort intérieur en soufflant dans le vase, le liquide monte dans le tube d'une certaine quantité qui mesure exactement l'augmentation de ressort que l'air a reçue. Le même tube peut aussi servir pour mesurer la diminution d'élasticité qui aura lieu. Lorsqu'il y a diminution de ressort, le niveau du liquide dans le tube se trouve au-dessous du niveau du liquide dans ce vase. Dans ce cas, la diminution d'élasticité est mesurée par la différence des niveaux.

On se sert souvent en chimie de séries de vases communi-

à tomber. Cette eau fera remonter le niveau, et le vase *A* ne se videra plus, jusqu'à ce qu'une seconde fois le niveau ait baissé au-dessous de l'échancrure. L'air s'élèvera alors dans le vase *A*, et de nouveau il forcera le liquide à tomber.

Ce mouvement ascensionnel des bulles d'air s'arrêtera et recommencera ainsi successivement, jusqu'à ce que le matras *A* soit complètement vidé.

Le jeu de ce petit appareil étant bien conçu, il vous sera facile de comprendre ce qui se passe dans la *fontaine intermittente*, fig. 8; cette fontaine consiste dans un réservoir, *A*, communiquant par sa partie inférieure, au moyen d'un tube, *a b*, échancré à sa partie inférieure, avec un premier bassin, *B'*, *t t'* sont les tuyaux d'écoulement; *C* est un second bassin qui se trouve au-dessus du bassin *B*, et il est destiné à recevoir l'eau qui s'écoule de celui-ci.

Lorsque l'échancrure, *e*, se trouve découverte, l'air pénètre dans le réservoir *A*, et produit l'écoulement du liquide par les tuyaux *t t*, qui fournissent au bassin *B* plus d'eau qu'il n'en reverse dans le bassin *C*. Par conséquent, le niveau s'élève de plus en plus dans le premier bassin, et l'eau finit par baigner entièrement l'échancrure. Dès ce moment, l'air ne peut plus s'introduire dans le réservoir *A*, et l'écoulement s'arrête. Pendant ce temps, le bassin *B* se vide, l'échancrure se dégage, l'air s'introduit de nouveau, et l'écoulement recommence, et ainsi de suite.

Des appareils analogues à ceux que nous venons de décrire se rencontrent dans la nature. Ce phénomène de l'intermittence dans l'écoulement doit se présenter pour les fontaines qui contiennent des fluides élastiques.

Nous ne nous arrêterons pas plus long-temps sur cette espéce de fontaine, qui a, d'ailleurs, très peu d'applications.

SYPHON.

Nous allons nous occuper d'un instrument beaucoup plus précieux, le *syphon*. Cet instrument, dont la théorie est extrêmement simple, est fondé en partie sur la pression de l'air.

On donne le nom de *syphon* à un tube recourbé, en verre ou en métal, qui a pour objet de vider un vase contenant un liquide, sans que l'on soit obligé de percer le vase dans la partie inférieure; ce qu'il est utile d'éviter en beaucoup de circonstances.

Soit un vase *V*, fig. 9, qu'il s'agit de vider; je commence par rem-

Cet appareil mérite de fixer notre attention plus que l'autre, parce que cette disposition est réalisée en quelque sorte dans les grands réservoirs de gaz inflammable pour l'éclairage.

GAZOMÈTRES.

Soit, fig. 13, la coupe d'un gazomètre *AB*, suspendu par une chaîne qui s'enroule sur une poulie. Le gazomètre repose sur une grande cuve d'eau, du fond de laquelle s'élève un tuyau vertical *T*, qui vient s'ouvrir au-dessus du niveau de l'eau. C'est par ce tuyau que le gaz s'écoule, pour ensuite parcourir les diverses rues que l'on doit éclairer. Je suppose que le niveau se trouve à une petite distance de l'orifice du tuyau, et qu'on vienne à soulever le gazomètre; en soulevant le gazomètre, on va nécessairement soulever en même temps la colonne d'eau que le gazomètre renferme; car l'air qui se trouve dans la partie *E* en se dilatant, va, d'après la loi de Mariotte, perdre de son ressort. Or la pression extérieure est restée la même; par conséquent la colonne d'eau va s'élever d'une certaine quantité pour compenser la perte d'élasticité de l'air intérieur; il peut même arriver que l'eau se soulève au point qu'elle vienne au-dessus de l'orifice du tube *T*, et dès l'instant que cela a lieu, l'eau se précipite dans ce tube, et la citerne se vide. Il faut, pour éviter un aussi grave inconvénient, avoir l'attention que l'orifice du tube se trouve toujours au-dessus du niveau de l'eau de la citerne.

ÉCOULEMENT CONSTANT.

Nous avons parlé déjà plusieurs fois de l'écoulement des liquides, et nous avons vu que cet écoulement qui a lieu dans un vase, est nécessairement variable, parce que la vitesse d'écoulement a pour expression la racine carrée de la hauteur, ou, pour mieux dire, que la vitesse d'écoulement est la même que celle d'un corps qui tomberait depuis le niveau supérieur du réservoir jusqu'à l'orifice. Or, à mesure que le liquide baisse, la hauteur diminue, et dès lors la vitesse va constamment en diminuant.

On peut se proposer d'avoir des écoulemens constans, c'est-à-dire de faire couler d'un vase des quantités d'eau égales dans des temps parfaitement égaux. C'est là la question dont nous allons nous occuper, sans rappeler toutefois les divers appareils dont on peut se servir pour obtenir ce ré-

Quant au liquide au-dessous de l'orifice du tube, ce liquide étant soumis à la pression atmosphérique, c'est comme si nous avions un vase ordinaire rempli d'eau jusqu'en *A B*, par conséquent l'écoulement aura lieu en vertu de la hauteur de la colonne liquide comprise entre le niveau *A B* et le niveau de l'ouverture. Mais à mesure que le liquide s'écoule, l'air qui a un libre accès dans le vase par le tube, le remplace, et nous pouvons supposer qu'il se forme une petite couche d'air en *A B*. Or l'air est spécifiquement plus léger que l'eau, par conséquent il traversera le liquide et ira se loger dans la partie supérieure du vase, en déplaçant une quantité correspondante de liquide, de telle sorte que le vase *A B C D* restera toujours plein. La hauteur du liquide étant toujours la même, nous aurons une vitesse d'écoulement constante. Car vous devez rappeler que les vitesses d'écoulement sont comme les racines carrées des hauteurs. Par conséquent, puisque nous avons ici une vitesse constante, nous aurons un écoulement qui sera aussi constant; la hauteur du liquide dans le vase *A B* et par suite la vitesse d'écoulement, étant dues à la différence du niveau entre l'orifice et l'extrêmité du tube, nous pourrons faire varier à volonté la vitesse de l'écoulement. Il suffira de remonter le tube, si nous voulons un écoulement plus rapide, et de le descendre si nous voulons avoir un écoulement plus lent. Cet appareil est dû à Mariotte.

La fig. 15 représente un appareil connu depuis long-temps, et qui est absolument fondé sur le principe que nous venons de démontrer. Ce vase sert comme encrier, il sert aussi pour donner à boire aux oiseaux. L'eau se tient constamment à la même hauteur dans le petit godet *a;* à mesure qu'on le vide, l'air gagne la partie supérieure et fait descendre une quantité d'eau correspondante.

On a tiré du vase, fig. 14, une heureuse application pour avoir un écoulement de gaz constant. Si nous avons un vase rempli de gaz, et que nous voulions procurer à ce gaz un écoulement constant, il suffira de faire entrer dans ce vase des quantités d'eau parfaitement égales dans des temps égaux. Il est évident qu'une certaine quantité d'eau forcera une pareille quantité de gaz à sortir du vase.

On obtient encore l'écoulement constant d'un gaz, au moyen d'un syphon dont la petite branche plonge dans un vase qui est disposé comme celui représenté, fig. 14.

l'effort que j'aurai à faire pour soulever le piston sera exprimé par la colonne d'eau soulevée en aspirant, c'est-à-dire 25 pieds; et l'effort que j'aurai à faire pour descendre le piston sera exprimé par la colonne d'eau que je devrai élever dans le tube, c'est-à-dire, par 25 pieds : ce qui me donne deux efforts parfaitement égaux.

Si on devait élever l'eau à 60 pieds, vous sentez bien qu'alors, comme on ne peut se placer à 30 pieds au-dessus du réservoir, il faudrait faire un effort plus grand pour élever l'eau dans le tube, que pour la faire arriver dans le corps de pompe; c'est-à-dire, que l'effort nécessaire pour faire descendre le piston serait plus grand que l'effort nécessaire pour soulever ce même piston. Mais toutes les fois qu'on doit élever l'eau jusqu'à 40 ou même 50 pieds, on peut rendre les efforts en montant et en descendant parfaitement égaux.

DÉTERMINATION DE LA DENSITÉ DES CORPS.

Nous ne nous étendrons pas davantage sur les machines qui se rapportent à la pression de l'air. Laissant de côté les divers instrumens qu'on pourrait encore présenter, mais dont les explications découleraient naturellement des principes qui ont été établis, nous allons passer à une autre question, et nous occuper de la détermination de ce qu'on appelle la *densité des corps*, ou bien de la détermination de la quantité de matière que les corps enferment sous le même volume.

L'expérience nous apprend que les corps, sous le même volume, ne contiennent pas la même quantité de matière. Je prends un morceau de plomb et un égal volume de liége, par exemple, et je trouve une différence extrêmement grande entre ces deux corps. C'est là un phénomène qui ne peut nullement nous échapper.

C'est une question fort curieuse de déterminer cette quantité de matière pour tous les corps. Généralement parlant, la densité d'un corps serait la quantité de matière renfermée dans ce corps, sous un volume constant, que l'on prend pour tous les corps. Autrement, cela ne voudrait rien dire.

Imaginez qu'on ait taillé en cube tous les solides, et que l'on ait rempli une capacité d'un décimètre cube des divers liquides et fluides élastiques; qu'on ait déterminé ensuite la quantité de matière que les solides, liquides ou fluides renfermaient sous ce volume; les nombres qui exprimeront cette quantité seront ce qu'on appelle, en général, la *densité d'un corps*.

FLACON A MESURER LES DENSITÉS.

Il y a un autre moyen de déterminer les densités qui demande une pesée de plus, mais qui ne donne lieu à aucune espèce d'incertitude, et peut s'appliquer à tous les corps.

Ce moyen extrêmement simple consiste à prendre un flacon, fig. 4, à large ouverture, que l'on ferme avec un bouchon conique. Ce bouchon s'adapte parfaitement dans l'ouverture du flacon, de manière que quand on le met sur le flacon rempli d'eau, il chasse constamment la même quantité de liquide, à un milligramme près. Par conséquent ce vase nous fournit une manière simple d'intercepter facilement un volume d'eau constant.

DENSITÉ DES SOLIDES.

Il s'agit, par exemple, de connaître la densité d'un morceau de bismuth. Je commence par en prendre le poids exact dans l'air, avec la balance ordinaire. Après cela, il faut trouver le poids du volume d'eau qu'il déplace. Je prends le flacon dont je viens de parler, je le remplis d'eau distillée, et je le ferme avec le bouchon conique. Cela fait j'enlève l'eau qui mouille l'extérieur du vase avec un linge ou avec du papier brouillard ou papier à filtrer : car c'est une condition indispensable qu'il ne reste pas d'eau autour du vase ; il faut même attendre quelque temps pour que la couche d'humidité qui reste, quoiqu'on ait bien essuyé, ait été enlevée par l'air. Lorsque l'extérieur du flacon est bien sec, on en prend le poids. Si maintenant j'enlève le bouchon, sans perdre de l'eau, et si je mets dans le vase le morceau de bismuth, n'est-il pas évident que ce corps tient la place d'un volume égal d'eau ; par conséquent, si je remets le bouchon, il faudra nécessairement qu'il s'en aille de l'eau, de manière que j'aie dans le vase une quantité d'eau moindre que celle qui y était, de tout le volume du corps.

Je suppose que l'eau qui est sortie du flacon ne se soit pas perdue, et qu'elle se soit logée dans un appendice autour du col du vase. Il est évident qu'en pesant le flacon il doit être plus pesant de tout le poids du corps qui est dedans. Mais si je laisse tomber l'eau, le flacon avec le corps sera plus léger de toute la quantité d'eau qui s'est échappée, c'est-à-dire du poids d'un volume d'eau égal au volume du corps.

Je suppose, par exemple, qu'on ait pris un morceau de

densité. L'expérience a été faite avec soin, et l'on a trouvé qu'il n'y avait pas de différence sensible. D'où il faut conclure que quand l'eau mouille le verre, la condensation qu'elle éprouve est infiniment petite. Si elle était tant soit peu notable, le corps paraîtrait plus dense. A présent supposons que l'eau restant constante, ce soit le corps qui ait éprouvé ce changement. C'est comme si effectivement il avait éprouvé une augmentation de densité. Or on n'a trouvé pour le verre rien de semblable, il faut donc en conclure que l'action chimique est assez faible pour ne pas diminuer le volume du verre.

On a pris les densités des corps, vous en trouverez des tables qu'il vous sera facile de comprendre, dans les ouvrages de physique et de chimie. On a pris la densité de la glace ou de l'eau qui se congèle. La glace a une densité exprimée par 914, la densité de l'eau étant 1000, ou, si nous prenons la densité de l'eau pour 1, celle de la glace est exprimée par 0,914. C'est pour éviter ces fractions décimales qu'au lieu d'exprimer la densité de l'eau par *un*, on l'appelle *dix, cent, mille.*

DENSITÉ DES LIQUIDES.

Nous venons de parler de la densité des solides, passons maintenant à la densité des liquides.

Il s'agit également d'avoir le poids du corps liquide et le poids d'un pareil volume d'eau. Pour cela, je prends un flacon dont le bouchon soit bien fait et ferme hermétiquement le flacon. On commence par dessécher le flacon intérieurement; ce qui se fait en le faisant chauffer et en y portant, lorsque la vapeur est formée, un courant d'air qui chasse la vapeur. Voilà un moyen bien simple, mais qui est indubitable pour dessécher complètement un vase.

Quand ce vase est bien sec, il faut le laisser refroidir. Car si vous le pesiez dans cet état, vous le trouveriez plus léger, tant à cause de la dilatatiou de l'air par la chaleur, que parce qu'il s'établit au-dessus du vase des courans produits par les différentes densités de l'air échauffé.

Nous voulons prendre, par exemple, la densité de l'huile de vitriol ou acide sulfurique. Je remplis le vase d'huile de vitriol, j'applique le bouchon exactement, j'essuie le vase et je le pèse. Il est évident qu'en retranchant du poids du vase contenant l'acide sulfurique, le poids du vase vide, la différence me donne le poids de ce liquide.

Cette opération faite, j'enlève tout l'acide sulfurique et je mets à la place de l'eau distillée, j'applique le bouchon, j'essuie le vase et je pèse. Il est clair que retranchant du poids

Lorsque les corps diffèrent peu en densité, la correction a moins d'influence. Lorsque, par exemple, on pèse des liquides qui diffèrent peu de l'eau, vous concevez que, comme ce sont des quantités égales qu'on ajoute au dénominateur et au numérateur, on ne change pas sensiblement le rapport.

Mais lorsque les corps sont très différens, la correction a d'autant plus d'influence que la différence de densité est plus grande.

Il est assez curieux, en faisant l'application de ce que nous venons de dire, de rechercher quel serait le véritable poids d'un homme dont la densité est à peu près la même que celle de l'eau. Supposons un homme qui pèse dans l'air 75 kil., environ 150 livres. Cet homme pèse dans l'air moins que dans le vide. De quelle quantité pèse-t-il moins? Pour déterminer la perte de poids qu'il éprouve, il faut se rappeler que l'homme a la même densité que l'eau, c'est-à-dire qu'il a le même poids que l'eau sous le même volume. Or, puisque cet homme pèse 75 kilog., il déplacera 75 kilog. d'eau, ou, ce qui est absolument la même chose, un volume d'eau de 75 décimètres cubes.

Par conséquent, quand il est dans l'air, il déplace un volume d'air de 75 décimètres cubes, et comme l'air est 770 fois plus léger que l'eau, nous aurons pour le poids du volume d'air déplacé 75 kilog. divisés par 770, c'est-à-dire à peu près 97 grammes 42 centièmes, ou plus de 3 onces $\frac{1}{2}$. L'homme dans l'air pèse moins, de toute cette quantité, que s'il était dans le vide. Lorsqu'il s'élève sur une montagne, il déplace toujours le même volume d'air, mais la densité de l'air diminuant à mesure qu'on s'éloigne de la surface de la terre, il en résulte que l'homme perd d'autant moins de son poids qu'il s'élève davantage.

Nous sommes conduits par tout ce que nous venons de dire à avoir la capacité réelle d'un vase; ce qui est utile dans quelques circonstances, particulièrement en chimie. Je suppose, par exemple, que je veuille prendre la densité du chlore. Ce gaz attaque avec la plus grande facilité tous les métaux; de sorte que si on se servait pour peser le chlore d'un ballon armé d'un robinet en cuivre, le chlore ayant le contact du métal se combinerait avec lui; et il entrerait dans le ballon une quantité de gaz plus grande que celle qui y serait entrée sans cette circonstance. On est donc obligé d'éviter l'emploi des métaux; et on prend un flacon dont le bouchon a été bien travaillé, bien usé. Comme nous ne pouvons nous servir d'un robinet en métal, mais seulement d'un robinet en verre, nous

au lieu d'aller en croissant, comme dans l'aréomètre de Beaumé.

Dans l'aréomètre dont nous avons donné la description, lorsqu'on met l'instrument dans un liquide plus léger que l'eau, il marque, par exemple, 101, 102, etc. C'est toujours la même échelle qui se prolonge en dessus et en dessous; au lieu que Beaumé, pour les liquides plus légers que l'eau, pour les esprits, par exemple, a pris une eau salée formée de 10 parties de sel et de 90 parties d'eau. Et il a construit une échelle qui ne coincide pas avec l'autre. De sorte qu'on a l'inconvénient d'avoir une échelle différente pour les liquides plus denses et pour les liquides moins denses.

Voilà quels sont les graves inconvéniens de l'aréomètre de Beaumé; inconvéniens qui, cependant, ne sont point sentis dans le commerce, puisque cet instrument continue à y être en usage.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

terme de comparaison la densité de l'air. On appelle cette densité de l'air *un*, et l'on exprime ensuite avec cette unité les densités de tous les autres fluides. C'est ainsi qu'on trouve pour la densité de l'acide carbonique 1,524, c'est-à-dire que cet acide pèse 1,524 fois plus que l'air.

Pour la densité de l'oxigène, on trouve. . . . . 1,036.
Pour la densité de l'azote . . . . . 0,976.
Pour la densité de la vapeur d'eau . . . . . 0,623.
Ainsi de suite.

Il est facile, en connaissant les densités des fluides élastiques comparées à celles de l'air, de rapporter ces densités à celle de l'eau.

DENSITÉ DE LA TERRE.

En terminant les densités, je ne dois pas omettre de parler d'un objet extrêmement intéressant pour la physique générale; c'est la détermination de la densité de la terre. Il est assez difficile, au premier abord, de concevoir comment on a pu déterminer la densité de la terre, et on n'entend pas par là la densité d'un morceau de terre, d'un minéral, par exemple; on n'aurait, dans ce cas, que la densité du minéral: mais on entend par là la densité moyenne de toute la matière qui compose la terre, et l'on y comprend l'eau et les diverses pierres que l'on connaît, ainsi que celles qu'on ne connaît pas, et qui sont à une certaine profondeur dans les entrailles de la terre. On peut supposer que toutes ces diverses substances soient fondues en une seule, de manière qu'il en résulte un tout homogène, et c'est la densité de ce mélange supposé qu'on appelle densité moyenne de la terre.

Si la terre était homogène, il suffirait d'en prendre une partie, et la densité de cette partie serait celle de la terre. Mais la terre n'est pas homogène; il faudrait donc, pour en avoir la densité, en nous servant des méthodes auxquelles nous avons eu recours jusqu'à présent, la prendre dans son ensemble; ce qui est impossible.

Il s'agit cependant de parvenir à trouver cette densité moyenne de la terre. Nous avons eu besoin, pour trouver les densités, d'avoir la quantité de matière sous un volume déterminé. Cette quantité de matière, il nous a été facile de la fixer, parce qu'elle est proportionnelle au poids, et qu'avec la balance on mesure les poids.

Ne pouvant connaître le poids de la terre, cherchons s'il n'est pas une autre propriété de la matière dont les effets

d'une chandelle pour fondre le verre et fermer le thermomètre. On coupe ensuite, au moyen de la lampe d'émailleur, l'extrémité filée du tube laquelle est tout-à-fait inutile, et qu'il y aurait même des inconvéniens à laisser, et l'on a alors un tube arrondi à son extrémité.

Il ne reste plus pour achever l'instrument que d'avoir deux points pour déterminer la longueur des degrés. Pour cela nous prendrons de la glace qui fond ou de l'eau qui se congèle; et je fais remarquer de suite qu'il faut que la glace ait été formée avec de l'eau pure, de l'eau de rivière, par exemple : si l'on prenait de l'eau impure, nous aurions une erreur. Après avoir laissé un peu refroidir notre thermomètre, nous le plongerons dans la glace, en ayant le soin de l'enfoncer jusqu'à la hauteur de la colonne de mercure, parce que ce n'est pas seulement le mercure renfermé dans la boule qui doit se dilater par la chaleur ou se contracter par le froid, c'est aussi le mercure contenu dans le tube. Le froid ne se communiquant pas brusquement à travers la matière du verre et du mercure, il faut un certain temps pour que la colonne soit devenue parfaitement stationnaire. Lorsqu'elle se sera arrêtée, nous ferons un petit trait à l'encre rouge, ou, si nous voulons avoir un instrument précis, avec la pointe très fine et allongée d'un diamant.

Voilà un de nos deux points déterminés : il s'agit d'en avoir un second. Pour cela nous ferons bouillir de l'eau dans un vase, fig. 5, qui consiste dans une espèce de boîte surmontée d'un tube creux qui a deux ouvertures latérales pour laisser échapper la vapeur. Le thermomètre est placé dans ce tube, et il est retenu au moyen d'un bouchon. Lorsque l'eau bout, la vapeur qui se produit a le même degré de chaleur que l'eau qui la donne : de sorte que nous pourrions nous dispenser de faire plonger la boule dans l'eau ; cependant, en général, il vaut mieux faire plonger la boule dans le liquide; mais seulement d'une profondeur égale à l'épaisseur de cette boule. Il est nécessaire que toute la colonne soit exposée à la température de la vapeur qui sort. Lorsque la colonne est devenue stationnaire, ce qui a lieu après deux ou trois minutes, on marque l'endroit où la colonne s'est arrêtée au moyen d'un second trait fait avec la pointe de diamant, et l'on a deux points déterminés, l'un par le moyen de la glace, l'autre par le moyen de l'eau en pleine ébullition ; et ces deux points vont suffire pour déterminer l'*échelle thermométrique*.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON QUINZIÈME.

(Samedi, 29 Décembre 1827.)

RÉSUMÉ DE LA QUATORZIÈME LEÇON.

Nous nous sommes occupés dans la dernière séance de la construction et de la graduation du thermomètre. Nous avons défini le *thermomètre centigrade* fig. 1, et le thermomètre de Réaumur fig. 2.

Enfin il y a une troisième échelle qu'il faut connaître également, c'est celle des Anglais, fig. 3. Elle est construite de la manière suivante. Supposez qu'on ait également déterminé un point dans la glace fondante, et qu'au lieu de marquer zéro, on ait marqué 32 ; qu'ensuite on ait déterminé un point à l'eau bouillante, et qu'au lieu de marquer 100 ou 80, on ait marqué 212.

Vous me direz : Pourquoi ces nombres qui paraissent n'avoir de rapport avec rien ? C'est que Farenheit, lorsqu'il fit son thermomètre, avait pris, pour déterminer le point zéro, un froid très considérable qui avait lieu à Dantzig, et qu'il avait reproduit en faisant un mélange de sel ammoniac et de neige, qui, par leur action chimique, se fondent et produisent du froid. Ainsi le zéro de Farenheit se trouve à 32 degrés au-dessous du point qui correspond au zéro du thermomètre centigrade et du thermomètre de Réaumur.

Si donc nous voulions comparer le nombre des degrés de l'échelle de Farenheit au nombre des degrés des deux autres échelles, à partir d'un même point, nous retrancherions 32 de 212, et il resterait alors, pour l'étendue de l'échelle de Farenheit, 180 degrés. On tire de là un moyen facile de graduer le thermomètre de Farenheit. Il suffit de prendre l'espace compris entre le point de la glace fondante et celui de l'ébullition de l'eau, de diviser cet espace en 180, et de prolonger l'échelle en-dessous de manière qu'on ait 32 degrés inférieurs égaux aux degrés supérieurs.

Le thermomètre centigrade est celui qui est généralement adopté par les savans.

Je veux, par exemple, diviser l'espace *AB* d'un tube, fig. 5, en deux parties d'égale capacité. J'introduis dans le tube une colonne de mercure que je tâche de faire égale à la moitié de la capacité du tube. Mais vous sentez que cela est, pour ainsi dire, impossible, et que ma colonne sera un peu plus grande ou un peu plus petite. Supposons qu'elle soit plus grande, elle viendra, par exemple, au point *C*, lorsqu'elle s'appuiera en *A*. Je fais ensuite glisser la colonne dans le tube de manière que la tête *C* de cette colonne vienne se placer en *B*. Alors la colonne, puisque je l'ai supposée plus grande que la moitié de *AB*, va dépasser le point *C* et venir en *C'*. Il faut faire en sorte que la quantité dont les deux colonnes *AC*, *BC'* se croiseront, soit la plus petite possible. Si elle est trop grande, il suffit de faire sortir un peu de mercure du tube. Lorsque je suis parvenu à avoir la distance *CC'* très petite, je puis supposer le tube cylindrique de *C* en *C'* : et alors, en divisant cette distance *CC'* en deux parties égales, je pourrai dire que mon tube est partagé en deux capacités *AE*, *BE* égales. Ces deux divisions *AE*, *BE*, étant tracées, on pourra opérer sur chacune de ces divisions, comme on a opéré sur le tube entier, et l'on aura quatre parties égales. On opérera sur ces nouvelles divisions comme sur les précédentes, et on aura huit parties égales : c'est là ordinairement le plus grand nombre de divisions que l'on cherche.

TABLES THERMOMÉTRIQUES.

Ce serait un cas tout particulier et un pur effet du hasard, que les divisions que vous auriez tracées par les méthodes que nous venons d'indiquer, correspondissent avec celles qui vous seraient données en prenant les deux points fixes, le point *zéro* et le point *cent*. Aussi ne s'en inquiète-t-on pas. On suppose que l'on a un thermomètre que l'on a divisé en 40, en 60, en 80 parties égales, avant de prendre les points fixes. Ainsi vous commencez par diviser votre tube en autant de parties que vous voudrez ; vous y faites bouillir le mercure, vous le fermez, vous prenez ensuite les points fixes. Je suppose qu'en plongeant votre thermomètre dans la glace fondante le *zéro* corresponde à la division $15\frac{4}{10}$, et qu'en le plongeant dans l'eau bouillante, le point où le mercure s'arrêtera corresponde à la division 78. Nous aurons ainsi un espace compris de $15\frac{4}{10}$ à 78, que nous pourrons diviser en cent parties égales ; c'est-à-dire que nous aurons 62 parties $\frac{6}{10}$, pour l'étendue de l'échelle allant de *zéro* à *cent*.

degrés au-dessus. Ainsi nous pouvons mesurer avec le thermomètre à mercure une quantité de chaleur qui serait à peu près quatre fois plus grande que celle qui est nécessaire pour porter l'eau de la glace fondante à l'eau bouillante; mais nous ne pouvons aller plus loin, parce qu'au-delà le mercure se réduit en vapeur, en fluide élastique; le verre se ramollit, et alors les capacités de l'instrument changent entièrement.

Je dois vous faire remarquer que ce que nous entendons par zéro n'est qu'un point de départ, et que cette expression que le thermomètre est à zéro ne veut nullement dire qu'il n'y a point de chaleur dans le corps. Tout le monde sait en effet que la chaleur peut être plus bas qu'au moment où la glace se fond; on a dans nos climats des froids de 15 degrés, de 20 degrés; on a des froids bien plus grands encore dans le nord.

THERMOSCOPE.

Pour apprécier des quantités de chaleur qui sont très petites, nous nous servirons d'un instrument appelé *thermoscope,* qui est un thermomètre qu'on ne se donne pas la peine de graduer, parce qu'il n'est destiné qu'à constater la présence de la chaleur dans les corps. Voici en quoi consiste cet instrument, fig. 6. C'est une boule plus ou moins grosse que l'on a soufflée à l'extrémité d'un tube. L'air dont cette boule est remplie est beaucoup plus dilatable que le mercure et a très peu de masse, de manière que la plus légère chaleur que l'on peut produire, par exemple, en touchant la boule avec la main, fait aussitôt monter la colonne d'air que nous pouvons concevoir dans le tube.

Afin de rendre sensible la dilatation de l'air, on introduit dans le tube une petite colonne de liquide coloré. Pour cela, on échauffe légèrement la boule avec la main; en dilatant l'air, on en chasse une partie du tube; on plonge ensuite l'extrémité du tube dans le liquide. Lorsque la boule est refroidie, les molécules d'air se rapprochent; il se fait par conséquent un vide, et le liquide entre dans le tube en vertu de la pression extérieure.

On fait de ces instrumens qui sont tellement sensibles qu'ils peuvent donner des millièmes de degrés, quantités que l'on ne peut apprécier avec le thermomètre ordinaire. J'ai dit qu'on ne graduait point ces instrumens parce qu'ils étaient destinés uniquement à faire connaître quand il y avait variation de chaleur, et non à mesurer cette variation; on pourrait cependant les graduer.

CALORIQUE.

A présent que nous avons formé un instrument qui nous avertira des variations de la chaleur, qui nous permettra même de la mesurer, nous allons tâcher de découvrir ce que c'est que la chaleur, c'est-à-dire, nous occuper de l'étude de ses propriétés ; et avant d'étudier un corps échauffé, nous allons chercher à voir si réellement nous ne pouvons pas observer la chaleur hors des corps. Vous allez voir qu'on peut la saisir, pour ainsi dire, un instant hors des corps. Pour cela, il n'y a qu'à supposer un corps échauffé et examiner attentivement tout ce qui se passera autour de ce corps. Prenons, par exemple, un boulet de fonte que l'on fait chauffer; personne ne doute qu'en s'approchant très près de ce corps, on ne reçoive l'impression de la chaleur; mais tout le monde n'a pas observé, ou plutôt ne s'est pas rendu raison d'un phénomène bien singulier, que l'on remarque aussitôt qu'on en est averti; c'est qu'à une certaine distance tout autour de ce corps, dans quelque position qu'on se place, on éprouve la sensation de la chaleur. J'ai déjà dit que nos organes sont des juges très imparfaits et qui nous trompent souvent. Il faut avoir recours au thermomètre, et nous verrons que dans quelque position qu'on le mette autour du corps échauffé, le mercure va monter peu à peu, ce qui est le résultat de sa dilatation produite par la chaleur.

Ainsi nous avons expliqué deux faits : l'un la sensation de la chaleur qui nous avertit de l'existence de la chaleur dans les corps, mais sans pouvoir nous servir à la mesurer, et un second fait plus général, plus constant, qui est la variation de volume que la chaleur produit dans les corps.

C'est une vérité qu'il faut admettre, qu'en général un corps ne peut agir là où il n'est point. Puisque nous sentons à distance le corps échauffé, il faut nécessairement qu'il s'échappe de ce corps quelque chose qui vienne nous frapper et produire sur nous la sensation de la chaleur, ou vienne frapper le thermomètre et le fasse monter.

Donc d'un corps échauffé il s'échappe tout autour, dans toutes sortes de directions, quelque chose qui est la cause de la sensation de la chaleur, et qui est aussi la cause de la dilatation des corps. C'est ce quelque chose que l'on a désigné par le nom de *calorique*.

Si l'on met la main au-dessus d'un corps échauffé, on éprouve une sensation de chaleur plus forte que si on la met-

sur le mur, et la lumière ira toujours le frapper d'une manière semblable.

C'est ainsi que la lumière qui arrive du soleil traverse l'air sans en être absorbée, si l'on ne considère que des masses peu considérables; car celle qui traverse tout notre atmosphère est réellement absorbée en partie, et cela d'autant plus que l'air est moins pur. Quand il y a des vapeurs, des corps étrangers dans l'air, il y a beaucoup de lumière qui est détournée, réfléchie; mais quand l'air est parfaitement pur, alors il arrive beaucoup plus de lumière à la surface de la terre; de sorte qu'on peut dire que, dans une étendue de mille mètres, l'air n'absorbe pas sensiblement la lumière ou le calorique.

VITESSE DU CALORIQUE.

Le calorique se transmet du corps échauffé au corps qui le reçoit, avec une vitesse égale à celle avec laquelle la lumière nous arrive du soleil. Or c'est en 8 minutes de temps que la lumière parcourt les 34 millions de lieues qui nous séparent de cet astre; vous pouvez juger par l'immensité de cet espace parcouru en si peu de temps, de l'énorme rapidité dont sont animés les rayons lumineux. Le calorique a une vitesse semblable; car il nous arrive aussi du calorique du soleil avec les rayons lumineux.

L'expérience, au moyen de laquelle on démontre cette grande vitesse du calorique, ne peut être faite que d'une manière bien grossière; car ce que nous pouvons appeler un instant serait pour la lumière un temps suffisant pour parcourir un espace immense. Néanmoins il est utile de faire cette expérience pour bien graver dans votre mémoire un fait important. Voici quel est l'appareil que l'on emploie: un thermoscope est placé devant le foyer de l'un des miroirs sphériques; au foyer de l'autre miroir se trouve un corps échauffé; si l'on interpose un écran entre les deux miroirs, il arrête les rayons de calorique. Dans cette situation, le thermoscope ne change pas. Il pourrait cependant varier au bout d'un certain temps, si on avait laissé à l'écran le temps de s'échauffer lui-même. Si l'on ôte aussi rapidement que possible cet écran, aussitôt vous voyez la colonne de liquide monter dans le thermoscope, et cependant il a fallu à la chaleur le temps de traverser le verre pour arriver jusqu'à l'air.

duit de l'eau bouillante. On peut concevoir, pour plus de simplicité, que la température soit toujours à 100 degrés, point où il est facile de la maintenir, en faisant arriver dans le cube un courant de vapeur par un tube qui communique avec l'intérieur d'une chaudière. Le cube est formé par quatre surfaces différentes; l'une en argent, une autre en cuivre, une troisième en fer, et enfin une quatrième surface métallique qui a été charbonnée, noircie. Après cela, rien ne sera plus facile que de changer la nature de ces surfaces, en y appliquant une peinture. Nous pourrons, par exemple, prendre du minium délayé avec un peu de gomme, ce qui donnera une peinture rouge, etc.

Pour bien concevoir ce phénomène, il faut le supposer indépendant des miroirs qui peuvent quelquefois compliquer en apparence les appareils, et qui n'ont d'autre objet réel que de multiplier les effets pour les rendre plus sensibles. Concevons donc que nous ayons simplement un thermomètre placé à distance, et que nous présentions successivement à ce thermomètre la face noire, la face de cuivre, la face d'argent, la face de verre. Il est clair que si ces surfaces avaient la propriété d'envoyer justement la même quantité de calorique, il est clair, dis-je, qu'il serait indifférent pour le thermomètre, que ce fût la face noire qui fût en face, ou bien que ce fût la face d'argent. Vous verrez qu'il n'en est point ainsi : avec telle surface nous aurons tel effet; avec telle autre surface, nous aurons un effet différent. Donc, nous conclurons de là, que les diverses surfaces n'ont point la propriété de renvoyer dans le même temps, la même quantité de calorique. Voilà un fait général qui est extrêmement important, et rien n'est plus simple que de le constater. L'effet produit est proportionnel à l'excès de température du corps échauffé sur l'air environnant. Je suppose que la température soit de 100 degrés, et que nous ayons pour l'air ambiant 10 degrés, l'excès est de 90. Dans ce cas, nous aurons un certain effet sur le thermomètre qui sera marqué par 15 degrés. Pour faciliter les calculs, nous supposerons que la température de l'air soit zéro ; nous aurons par conséquent une différence de température exprimée par 100 degrés, et l'effet sur le thermomètre sera par exemple de 15 degrés. Si la température du corps chaud baisse jusqu'à 50 degrés, l'effet produit sur le thermomètre ne sera plus que la moitié, c'est-à-dire, que l'effet sur le thermomètre sera toujours proportionnel à l'excès de température. D'après cette loi on pourrait prendre de l'eau à diffé-

Plomb parfaitement net.	19
Fer poli.	15
Etain poli.	15
Or, cuivre, argent.	10

Pour obtenir une surface en eau, il suffit de prendre une surface métallique sur laquelle on dirige l'haleine.

Il s'agit maintenant de savoir si les surfaces des corps, exposées aux émanations du calorique, le recevront de la même manière. Pour arriver à la solution de cette seconde question, nous supposerons une source constante de calorique; et en présentant aux rayons de ce calorique des surfaces de nature variable, nous examinerons comment les choses se passeront. Nous prendrons, par exemple, une surface noire, celle qui produit le plus grand effet, et nous imaginerons qu'on présente à cette surface une boule de thermomètre, qui sera tantôt nue, tantôt noircie, dorée, argentée, tantôt recouverte de papier, de mousseline, etc.; nous aurons ainsi la même boule de thermomètre, dont la surface sera constamment variable. Si maintenant nous présentons ce thermomètre au corps échauffé, ou directement ou par l'intermédiaire d'un miroir, nous trouverons que le thermomètre s'arrêtera à des hauteurs très différentes, en raison de la surface qui lui sera présentée. Quand ce sera la boule noircie, le thermomètre marquera le *maximum;* quand ce sera la boule recouverte d'une feuille métallique, le thermomètre marquera le *minimum*. Enfin, si nous faisons une série d'expériences en donnant à la boule du thermomètre des surfaces qui seront comme celles-ci : noir de fumée, eau, papier blanc, etc., nous aurons une échelle dont le résultat sera exactement le même que celui de l'échelle précédente; c'est-à-dire que si nous rangeons les surfaces d'après la propriété qu'elles ont de recevoir le calorique, nous trouverons que c'est la surface noire qui reçoit le plus, ensuite la surface de papier, la surface de verre, et ainsi de suite; nous aurons, en un mot, une série tout-à-fait semblable à la première.

Ainsi, nous reconnaîtrons que les corps qui émettent le plus de calorique sont aussi ceux qui en reçoivent le plus; de sorte que ces deux propriétés sont parfaitement corrélatives. Mais nous n'établissons pas par-là que ces deux propriétés sont parfaitement identiques en intensité. De ce que les deux séries marcheront dans le même ordre, nous ne pouvons conclure l'égalité entre les deux propriétés. Je veux dire seu-

lement que lorsque nous aurons rangé les corps dans la première série, les corps seront rangés dans la seconde série suivant le même ordre. Maintenant les deux propriétés se correspondent-elles de manière que la propriété d'émettre soit parfaitement égale à celle de recevoir? c'est ce qu'il nous reste à examiner.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N° 4.

fig. 1, est formé par deux boules égales réunies par un tube creux; une goutte de liquide coloré renfermée dans le tube, et servant d'index, sépare l'air de droite et l'air de gauche. Tant que les deux boules sont exactement à la même température, l'index, qui est dans le milieu de la branche horizontale du tube, ne doit pas bouger; mais si on échauffe l'une des boules seulement, l'index courra aussitôt vers l'autre boule. Ce n'est point en faisant marcher l'index que l'expérience se fait, c'est au contraire en le tenant parfaitement stationnaire. Voici en effet comment le comte de Rumford faisait son expérience : il avait deux surfaces parfaitement égales en grandeur, mais de nature différente; pour obtenir ces surfaces, il avait pris deux cylindres creux terminés perpendiculairement de chaque côté; il collait sur les faces de ces cylindres tantôt une feuille d'or, tantôt une feuille d'argent, tantôt une feuille de papier, tantôt une feuille de baudruche, etc.; il plaçait le thermoscope entre les deux cylindres remplis d'eau à la même température, et il isolait les deux boules du thermoscope au moyen d'un écran, afin que chacun des cylindres ne pût agir que sur une seule des boules. Supposant qu'on ait d'un côté une surface de papier et de l'autre une surface d'étain, si ces deux surfaces renvoient exactement la même quantité de calorique, en les plaçant à égale distance des deux boules, il est évident que l'index ne doit pas bouger; mais si l'une des surfaces, celle de papier, envoie plus de chaleur, la boule du thermoscope exposée à cette surface recevra plus de rayons de calorique que la boule exposée à la surface d'étain; par conséquent l'air de la première boule s'échauffera plus que celui de la seconde, et l'index sera poussé du côté de la boule qui sera le moins échauffée. Il s'agit de ramener cet index à occuper le milieu du tube, et voici comment on peut y parvenir : nous savons que l'intensité du calorique est en raison inverse du carré de la distance; de sorte qu'il suffira d'éloigner le corps le plus chaud jusqu'à ce que son effet soit tellement diminué par la distance, qu'il soit égal à l'effet du corps le moins chaud. Ainsi en supposant que le corps qui envoie le moins de rayons de calorique soit à une distance constante que nous appellerons *un*, et que nous devions mettre l'autre corps à une distance double pour que son effet sur le thermoscope soit égal à l'effet produit par le corps le plus chaud, cela prouve que ce dernier corps a une intensité de chaleur quatre fois plus grande que celle de l'autre corps. Tel est le principe sur lequel sont fondées les expériences du comte de Rumford. On peut par ce moyen obtenir

corps opaques le repoussent entièrement, ou qu'au moins la profondeur à laquelle il pénètre dans ces corps est beaucoup plus petite.

ÉMISSION DU CALORIQUE PAR DES SURFACES INCLINÉES.

Dans l'examen des diverses propriétés de la chaleur que nous avons fait jusqu'à présent, nous n'avons eu à considérer qu'une surface se présentant toujours dans la même direction; car lorsqu'on a plusieurs phénomènes à considérer, il faut tâcher de rendre toutes les circonstances semblables, moins celle qu'on examine.

Il s'agit maintenant de savoir si, étant donné une surface échauffée, composée de points qui tous sont échauffés pour leur propre compte, tous ces points envoient du calorique également dans toutes sortes de directions. Lorsque nous n'avons qu'un point mathématique échauffé, nous concevons qu'il est un centre duquel partent des rayons de calorique dans toutes sortes de directions. Nous pouvons nous représenter une surface comme composée d'une série de points, et on demande ce qui arriverait relativement à l'émission ou à la réception du calorique par ces divers points. Il est aisé de faire sentir que l'intensité du calorique lancé par les divers points qui forment la surface d'un corps, n'est pas la même dans toutes les directions. En effet, je suppose que nous ayons un thermomètre qui regarde une surface échauffée, et ne la regarde qu'à travers une petite ouverture; c'est comme si nous regardions par un trou qui nous permettrait de voir la campagne; le trou forme ce qu'on appelle la projection de tout ce que nous pouvons voir à l'extérieur. Si maintenant, derrière ce trou, se trouve un plan perpendiculaire au rayon visuel, nous ne verrons qu'une étendue, une apparence qui sera grande comme l'ouverture faite dans le mur, ou, pour mieux dire, dans une paroi mince comme un carreau. Si la surface, au lieu de rester perpendiculaire, prend de l'obliquité de plus en plus, nous verrons un nombre de points qui ira toujours croissant. Si chaque point envoyait des rayons lumineux tout autour, dans les diverses directions, avec la même intensité, une surface inclinée, par rapport à notre œil, nous devrait paraître infiniment plus lumineuse que si nous la regardions en face; car si nous la regardions en face, nous verrions une étendue beaucoup moindre; par conséquent, nous ne recevrions que les rayons lumineux envoyés

omplète, au moins pour les rayons de chaleur que nous avons à notre disposition. Il y a deux portions, une portion qui passe librement et continue sa route, tandis qu'une autre portion est absorbée par le corps; de manière que si l'on veut mesurer le calorique ainsi transmis à travers les corps, au moyen d'un thermomètre qui reçoit les rayons qui traversent, il faut nécessairement pouvoir tenir compte des rayons qui sont renvoyés ou absorbés par l'écran.

Ainsi les rayons passent immédiatement à travers le verre, mais seulement une partie; il y en a le dixième qui passe, il y en a donc les neuf dixièmes qui sont retenus ou réfléchis. Mais le résultat de l'absorption du calorique par le verre est nécessairement d'échauffer le verre. Or, une fois que le verre est échauffé, il rayonne à son tour, et ses effets vont s'ajouter à ceux des rayons qui sont transmis directement. Afin de distinguer ce qui est dû à la transmission de ce qui est dû ensuite à la chaleur émise par l'écran lui-même, voici comment il faut procéder.

Imaginons un corps échauffé, par exemple, un boulet rouge, et ayons un thermomètre à une certaine distance. En ne mettant pas d'écran, il y a un certain effet sur le thermomètre, on observe cet effet qu'on appelle l'*effet direct*; on met ensuite l'écran, et on trouve que l'effet est devenu beaucoup plus petit; on note ce second effet. Enfin, l'on met sur le côté de l'écran opposé au corps une couche noire, et alors, au moyen de cette couche, les rayons sont arrêtés en totalité et ne peuvent plus arriver jusqu'au corps. On défalque l'effet produit dans cette nouvelle circonstance de celui qui était produit lorsque l'écran n'était pas noirci, et la différence donne l'effet immédiat produit par le calorique transmis à travers l'écran.

Cette propriété du calorique, de traverser les corps, a été observée il y a fort long-temps, mais les résultats les mieux étudiés et les plus complets sur cette matière sont dus à Laroche, physicien, qui est mort depuis plusieurs années, étant encore fort jeune. Le résultat le plus important auquel Laroche est parvenu, est que le calorique peut traverser certains corps, et qu'il les traverse en quantité qui croît dans un plus grand rapport que leur température.

Lorsque le corps a une température de 100 degrés, il passe à travers le verre une quantité de chaleur que nous représentons par A; en élevant la température du corps à 200, à 500 degrés, il devrait passer $2A$, $5A$, si la quantité de chaleur qui passe à travers le verre était proportionnelle à l'élévation de la température. Mais tel ne serait point le résultat

obtenu, et on trouvèrait que la quantité de chaleur transmise croîtrait dans un plus grand rapport.

En effet, en prenant un cube rempli de mercure bouillant qui était à 346 degrés, et ensuite du cuivre chauffé à 960 degrés: voici les résultats obtenus par Laroche.

Température des corps chauds.	Effet sans écran.	Effet avec écran transparent.	Effet avec écran noirci.	Différence.	Rapport.
346°	16°, 33	1°, 36	0°, 17	1°, 19	$\frac{1}{139}$
960°	38°, 97	11°, 83	0, 43	11, 43	$\frac{1}{34}$

Voilà un résultat de la plus haute importance qu'on énonce en disant : *la quantité de chaleur qui traverse immédiatement le verre*, ce sont les expressions de Laroche, *est d'autant plus grande relativement à la totalité de celle qui est transmise dans le même verre, que la température de la source est plus élevée.*

Un autre résultat fort curieux et que je ne ferai qu'énoncer, c'est que le calorique qui a déjà traversé un écran éprouve une diminution relativement moindre lorsqu'il traverse un second écran.

Enfin lorsqu'on prend des écrans de diverses épaisseurs, on conçoit très bien que les épaisseurs doivent avoir une influence; en effet, Laroche a trouvé qu'un écran d'un verre épais qui était au moins aussi transparent qu'un autre écran très mince, laissait passer beaucoup moins de calorique que l'écran mince, mais que la différence était d'autant moindre que la température était plus élevée.

Voilà les principaux résultats que Laroche avait obtenus en 1812; résultats qu'on trouve dans le *Journal de physique* pour cette année 1812, *tome* 75.

Mariotte, dans son *Traité des couleurs*, fait cette remarque qu'un carreau de verre mis devant un miroir destiné à être exposé aux rayons du soleil pour les concentrer, n'empêchait pas que ce miroir n'enflammât également bien les corps placés à son foyer: et il observa que cela n'a pas lieu pour le feu d'un foyer; de sorte que Mariotte avait reconnu une différence entre le calorique envoyé du soleil et le calorique qui sort de nos foyers; il considérait celui-ci comme étant composé en quelque sorte de parties plus grossières.

Néanmoins, l'échauffement se fait suivant les mêmes lois dont nous avons parlé : c'est toujours par du calorique rayonnant qui part du corps échauffé. On peut concevoir les molécules rayonnant comme le corps; car le rayonnement d'un corps n'est que l'ensemble du rayonnement des molécules qui sont à sa surface. On conçoit alors très bien combien l'échauffement doit être très rapide lorsque les corps sont en présence molécule à molécule.

Il faut bien distinguer dans l'échauffement les diverses manières dont cet échauffement peut avoir lieu. Dans les cas ordinaires, l'échauffement se fera immédiatement par le calorique rayonnant, qui émane du corps chaud; mais le corps pourra aussi être échauffé par d'autres corps qui agissent d'une manière intermédiaire. Ainsi, concevons quelques charbons embrasés placés dans un foyer; les corps placés autour de ce foyer vont être échauffés par les rayons de calorique qui partent dans toutes sortes de directions. Cependant il y a une position plus favorable pour l'échauffement des corps, c'est celle où ils sont placés immédiatement au-dessus des charbons; car alors ils reçoivent la même quantité de calorique rayonnant que s'ils étaient placés au-dessous ou latéralement; mais, de plus, l'air qui touche les charbons par toutes leurs surfaces, qui prend par conséquent une température très élevée et acquiert une grande dilatation, s'élève et vient rencontrer le corps placé au-dessus des charbons, et l'échauffe par le rayonnement de ses molécules.

ACTION DU CALORIQUE SUR LES CORPS.

Maintenant que nous connaissons les propriétés du calorique dans son état de liberté, nous supposerons que nous avons des réservoirs, des magasins de chaleur, et nous n'aurons plus à nous occuper que de l'action du calorique sur les corps. Un des premiers effets que nous chercherons à étudier sera le changement que la chaleur produit dans les corps. Nous savons déjà qu'il y a trois états bien distincts dans les corps : l'état solide, l'état liquide, l'état de fluide élastique. Nous verrons que ces trois états sont donnés immédiatement par la chaleur. Ainsi, si l'on prend un corps comme de la glace, et qu'on l'expose à l'action de la chaleur, il se transforme en eau, et enfin, si on l'échauffe davantage, cette eau va nous donner un fluide élastique.

Nous connaissons les propriétés de l'état solide et celles

de l'état liquide; nous connaissons aussi en général celles de l'état de fluide élastique; mais nous aurons à établir une différence très importante entre les fluides élastiques: nous les distinguerons en *fluides élastiques permanens* et en *fluides élastiques non permanens*.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

les qui se comportent d'une manière analogue; nous
s des éthers, et particulièrement l'éther sulfurique qui
t à une température de 35° et même de 30° centigrades.
conséquent avec une faible chaleur nous pouvons le ré-
re en vapeur et étudier sur cette vapeur les propriétés
nérales qui appartiennent à cette classe de corps : car ce
e nous dirons de la vapeur d'éther s'appliquera à la vapeur
tous les autres corps.

On emploie, pour cette expérience, une espèce de *tube de Mariotte, fig.* 1, mais dont les deux branches ne sont pas parallèles; elles convergent entre elles. On pourrait croire, en voyant ce tube, que c'est par suite d'une maladresse de l'ouvrier qu'il a pris cette forme; vous allez voir que c'est à dessein qu'elle lui a été donnée. En effet, cette forme permet de faire arriver facilement le liquide sur lequel on veut opérer dans le haut de la petite branche. On commence par remplir entièrement le tube de mercure, en laissant seulement une petite distance que l'on achève de remplir avec de l'éther; on met ensuite le doigt sur l'extrémité du tube et on le renverse; l'éther qui est plus léger que le mercure s'élève aussitôt dans la partie *B* du tube; il est facile après cela de le faire arriver à l'extrémité de la petite branche en *A*; il suffit de tenir la longue branche dans la position de la fig. 2. Une fois que l'éther est passé en *A*, on peut verser le mercure, sans que l'éther change de place, au lieu que si les deux branches eussent été parallèles, en rendant le tube horizontal, l'éther se serait échappé. Pour verser le mercure, on tient le tube dans la position de la fig. 3.

En plongeant le tube ainsi préparé dans un vase où il y a de l'eau chaude à peu près à 40 degrés, l'on voit aussitôt le fluide élastique se produire et exercer une pression beaucoup plus grande que son poids. En effet c'est ce fluide qui soutient non-seulement toute la colonne de mercure, mais encore la pression atmosphérique qui plane au-dessus, car nous savons qu'il n'y a point d'air dans la petite colonne qui puisse contrebalancer la pression de l'air extérieur. C'est donc évidemment un fluide élastique qui se produit. C'est la conséquence qu'on doit déduire lorsqu'on voit un corps qui exerce contre la paroi du vase une pression qui est plus grande que son poids.

Le fluide que nous venons de produire se distingue encore en ce que, par le froid, il va redevenir liquide; il suffit de refroidir l'appareil du milieu chaud, et l'on verra peu à peu le fluide diminuer de volume. Nous pouvons même obtenir ce résultat plus promptement, en versant de l'eau froide

quantité de chaleur ; car autrement, s'il ne lui fallait point de chaleur, on concevrait que, dès que l'on aurait une masse de glace, une légère addition de chaleur suffirait pour la fondre. Ainsi donc la glace ne se fond qu'en se combinant avec une quantité très notable de chaleur, et cette quantité de chaleur est proportionnelle à la quantité de glace, c'est-à-dire que si vous avez un kilogramme de glace, il faudra, pour la faire fondre, une certaine quantité de chaleur ; si vous avez deux, trois... kilogrammes, il faudra, pour les faire fondre, une quantité de chaleur double, triple... ; en un mot, il faudra des quantités de chaleur proportionnelles au poids de la glace qu'il s'agit de fondre.

Cela admis, si vous mettez un corps échauffé avec de la glace, ce corps échauffé va nécessairement communiquer sa chaleur à la glace, et finira par prendre la même température qu'elle, c'est-à-dire par venir à zéro. Le résultat de cette communication de la chaleur par le corps échauffé à la glace sera une certaine quantité d'eau.

Si tous les corps pris sous le même poids avaient la même capacité, c'est-à-dire s'il leur fallait, pour aller de zéro à 100°, la même quantité de chaleur, n'est-il pas évident qu'ils fondraient tous des quantités égales de glace ? Maintenant un corps qui aura une capacité de moitié seulement, ne pourra fondre que la moitié de la glace que fondent les autres corps. Un corps qui aura une capacité vingt fois plus petite ne pourra donner que vingt fois moins de chaleur, et ainsi de suite.

Dans cette manière de mesurer les capacités des corps, la quantité de glace fondue sera proportionnelle aux capacités, et réciproquement les capacités seront proportionnelles aux quantités de glace fondue.

D'après ce principe, on peut employer une méthode très simple pour déterminer les capacités des corps. Mais, je le répète, pour le concevoir d'une manière aussi simple que possible, nous n'aurons qu'à nous figurer tous les corps sous le même poids, qui sera le kilogramme, par exemple ; si vous prenez des poids différens, vous les ramènerez au kilogramme par le calcul.

Ayant donc pris tous les corps sous le même poids, nous les supposerons échauffés à une température déterminée, que je supposerai ici de $37° \frac{1}{2}$, et, ainsi échauffés, nous les mettrons en contact avec de la glace La manière la plus simple d'opérer ce contact, est de concevoir qu'on ait un morceau de glace creux, fig. 5 ; ce qu'il est facile de se procurer en hiver, en

tin qui soit parcouru par une quantité de gaz ou d'air atmosphérique dont le volume et le poids sont déterminés. L'enveloppe de la masse d'eau est un métal dont on connaît la capacité par rapport à celle de l'eau, et par conséquent on peut facilement supposer que c'est sur une seule masse d'eau qu'on opère et qu'il n'y a pas de métal. L'air chaud arrive dans la masse liquide d'eau et l'échauffe peu à peu. Pendant le temps assez long que dure l'expérience, le vase se refroidit à chaque instant; il faut se mettre à l'abri de cette perte de chaleur, et voici comment l'on y parvient: je suppose que le milieu ambiant soit à la température de 10°, je prends le calorimètre à la température de 8°, et je commence alors l'expérience; je l'arrête quand le calorimètre est monté à 12°. Voici ce qui a lieu dans ce cas : pendant que le calorimètre monte de 8° à 10°, il reçoit du calorique et de l'air ambiant et en même temps des corps qui sont plus éloignés ; de sorte que sa température va s'élevant continuellement ; mais une fois qu'il a dépassé 10°, il va perdre nécessairement ce qu'il avait gagné avant d'arriver à 10°. Ainsi vous concevez qu'en s'abaissant d'un certain nombre de degrés au-dessous de la température ambiante, et en s'élevant ensuite d'un pareil nombre au-dessus de la même température, il y a compensation. Ce moyen dispense de faire les corrections, seulement il faut avoir soin d'arrêter l'expérience au moment précis où le thermomètre, qu'on choisit très sensible, marque exactement 12°. On sait qu'il est passé dans le serpentin une certaine quantité d'air, dont le volume et le poids se trouvent parfaitement connus. D'un autre côté, on connaît la quantité d'eau ; nous aurons par conséquent la quantité d'air ou de gaz mis en contact avec l'eau, et la température du mélange étant connue, il ne reste plus à faire qu'un calcul très simple pour connaître la capacité du gaz par rapport à celle de l'eau.

En supposant que l'on ramène la capacité de l'air et des autres fluides élastiques à celle de l'eau, on trouve :

Pour l'eau.....	1,0000;	Pour l'oxigène.....	0,2361;
l'air.	0,2669;	l'azote.	0,2754;
l'hydrogène...	3,2936;	le gaz oléfiant.	0,4207;
l'acide carbon.	0,2210;	la vapeur aq..	0,847.

Il résulte de ce tableau que la capacité de l'air est à peu près quatre fois plus petite que celle de l'eau, et que celle de l'acide carbonique est un peu plus petite que celle de l'air. Cette dernière capacité est très importante à connaître pour

Quoique les expériences à ce sujet n'aient pas été trés multipliées, on peut cependant en conclure ce résultat général que la capacité des fluides élastiques augmente avec leur température; résultat qui est conforme à la loi que nous avons admise pour les corps solides; de sorte que si l'on prend deux masses d'air égales en poids, que l'une soit échauffée à 40°, et que l'autre le soit à zéro; si les capacités étaient égales, on devrait trouver, en les mêlant, une température moyenne de 20 degrés, puisqu'il faudrait autant de chaleur pour porter la masse de 0° à 20° que pour abaisser celle de 40° à 20°. Or on ne trouve pas cette moyenne; la moyenne se rapproche toujours davantage du corps qui est échauffé; elle sera, par exemple, de 23 degrés. Je me borne à vous citer le résultat général, parce que les expériences ne présentent pas assez de certitude pour donner des nombres exacts.

Nous avons pris les fluides élastiques sous la pression de 76 centimètres ou à peu près, et nous avons supposé cette pression constante pour tous les gaz. Nous allons maintenant supposer une pression beaucoup plus élevée, et nous demander alors comment variera la capacité. MM. La Roche et Bérard ont fait à cet égard des expériences et les ont faites avec beaucoup de soin. Ainsi ils ont pris un volume d'air dont la capacité était représentée par l'unité, sous la pression de 0,$^{mètr.}$7405. Ils ont pris ensuite de l'air qui était sous la pression de 1,0058, et ils ont déterminé la capacité de cet air ainsi comprimé par le même procédé que celui qui a été indiqué. Ils ont trouvé que cette capacité était égale à 1,2396, celle de l'air sous la pression de 0$^{m.}$ 7405 étant égale à l'unité. Il s'agissait de voir comment la capacité variait relativement à la pression. Le rapport des pressions, qui s'obtient en divisant la plus grande pression par la plus petite, est 1,3583; le rapport des capacités, qu'on obtient en divisant aussi la plus grande des capacités par la plus petite, est 1,2396. D'où il résulte que le rapport des pressions est plus grand que celui des capacités. Ce résultat ayant été vérifié plusieurs fois par l'expérience, on peut regarder comme démontré qu'en général la capacité n'est point proportionnelle à la pression, elle reste plus petite. Réciproquement si vous prenez un certain volume d'air qu'on suppose dilaté, la capacité augmente; mais elle ne sera pas non plus proportionnelle au volume.

Si l'on prend ensuite un volume constant, au lieu d'une masse constante, alors la capacité de ce volume ira continuellement en diminuant; lorsque nous serions parvenus à avoir de l'air qui ne pourrait soutenir qu'un millième de la

l'eau qui était primitivement à zéro soit venue à 25° après qu'on y a mis le boulet dont on ne connaît pas la température. Nous ne pourrons encore rien conclure de là, parce que nous n'avons qu'un terme dans notre échelle. Mais prenons le même corps, portons-le à une température déterminée comme de 100°, et après l'avoir plongé dans une masse d'eau pareille à la première, et qui soit également à la température de zéro, cherchons de combien il a élevé la température de cette masse d'eau. Je suppose que la température de l'eau soit venue à 2°. Ici la capacité intervient nécessairement, mais nous la supposerons constante, et nous dirons: quand le corps est exposé à la température de 100°, il élève la température de 2°, on le porte à une température x; il élève la température de 25°, et nous ferons par conséquent cette proportion :

$$2 : 100 :: 25 : x$$

$$\text{d'où } x = 25 \times \frac{100}{2} = \frac{2500}{2} = 1250.$$

C'est-à-dire que nous aurons 1250° pour la température de la source de chaleur à laquelle le boulet était exposé.

Ce n'est là qu'une approximation, parce que la capacité du fer varie d'une manière très notable; ce moyen peut néanmoins recevoir des applications dans quelques circonstances.

CALORIQUE LATENT.

La chaleur, en agissant sur les corps, détermine leur changement d'état et les fait passer de l'état solide à l'état liquide et de l'état liquide à l'état de fluide élastique. Nous avons examiné ces trois états et les variations de volume qui en résultent; nous avons cherché à déterminer la quantité de calorique nécessaire pour produire ces variations. Maintenant nous allons revenir sur un phénomène très important qui a lieu lorsque les corps changent d'état.

Pour qu'un corps passe de l'état solide à l'état liquide, il faut le chauffer : de même pour le faire passer de l'état liquide à l'état de fluide élastique, il faut lui donner de la chaleur. Pendant le changement d'état, il y a une absorption de calorique plus ou moins considérable, en raison des corps, qui n'est pas rendue sensible au thermomètre et que l'on appelle, à cause de cela, *chaleur latente*, *calorique latent*. On acquiert la preuve de l'absorption de ce calorique qui n'est pas accusé par le thermomètre, en prenant de la glace pilée, que l'on met sur un feu très ardent. Tant qu'il y a de la glace à fondre,

Le calorique que nous venons de désigner par le nom de calorique latent doit être distingué soigneusement de ce qu'on appelle le calorique sensible. Tant qu'un corps ne change pas d'état et qu'on le soumet à une source de chaleur, il tend à prendre la température de la source, et sa température s'élève. Alors le calorique devient sensible et il est mesuré, accusé par le thermomètre ; mais quand le calorique entre dans un corps, se combine avec lui, et que le thermomètre n'annonce pas l'existence de ce calorique, on a alors ce qu'on appelle du calorique latent.

APPLICATIONS DE LA VAPEUR.

Les applications de la vapeur sont très étendues et très importantes ; nous aurons occasion d'y revenir en parlant des machines à feu. En attendant je me bornerai à quelques réflexions sur ce que nous venons de dire. Nous avons vu que lorsque l'eau est en ébullition, le thermomètre ne s'élève pas, et que l'eau reste constamment à la même température. Par conséquent, l'ébullition rapide ou lente est une chose inutile, à moins que l'on n'ait intérêt à produire de la vapeur.

Réciproquement lorsque l'eau se réduit en vapeur, elle absorbe du calorique qu'elle rend latent, et par conséquent, elle empêche la température des corps environnans de pouvoir s'élever. Il vous sera impossible, tant que vous aurez de l'eau dans un corps, d'élever sa température au-delà de 100°.

Si au lieu d'avoir l'ébullition à 100°, vous avez une ébullition à 40°, par exemple (il est possible de faire ainsi bouillir l'eau au-dessous de 100°), dans ce cas, la température ne pourra s'élever. On a tiré de là un moyen de tempérer la chaleur dans les pays chauds.

La principale application de la vapeur est celle qu'on en fait au chauffage. De l'eau en ébullition prend, comme nous l'avons établi, un volume 1700 fois plus grand que celui qu'elle occupait à l'état d'eau, et elle peut alors, lorsqu'on la reçoit dans des tuyaux d'une longueur indéfinie, aller à des distances de 50, de 100 mètres, et même au-delà : de sorte que si on la reçoit à l'extrémité d'un tuyau et qu'on la condense, elle abandonne tout le calorique qu'elle avait absorbé. Un kilogramme d'eau réduite en vapeur renferme 531° de calorique latent, ce qui veut dire que ce calorique latent peut élever 5 kilogrammes 31 de zéro à 100 degrés, ou,

en d'autres termes, qu'avec un kilogramme de vapeur nous pouvons faire bouillir 5 kilogrammes 31 d'eau, et comme un kilogramme de vapeur à 100°, donne un kilogramme d'eau à 100°, un kilogramme de vapeur donne 6 kilogrammes 31 d'eau à 100°. Vous concevez qu'en faisant arriver ainsi de la vapeur, nous pourrons faire bouillir de l'eau sans feu dans un vase en bois, au lieu d'avoir une chaudière en métal et un fourneau, ce qui est un grand avantage. Ce procédé est employé dans les grandes manufactures et particulièrement dans les teintureries. On a une vaste chaudière dans laquelle on fait bouillir de l'eau; des tuyaux partant de cette chaudière portent la vapeur dans des cuviers placés au loin, qui renferment de l'eau. Lorsqu'on veut échauffer l'eau de ces cuviers, on ouvre une soupape, et aussitôt la vapeur arrive et détermine l'ébullition en moins d'un quart-d'heure. Il faut avoir soin d'envelopper les tuyaux; car autrement l'eau se condenserait avant d'arriver dans le cuvier.

On a fait récemment une belle application de la vapeur. Il s'agissait d'échauffer la Bourse de la manière la plus avantageuse. En plaçant des calorifères dans cet immense édifice, peu de personnes se seraient ressenties de la chaleur, parce que les poëles, en raison de leur surface, échauffent la colonne d'air qui pèse sur eux, cette colonne échauffée s'élève et porte toute la chaleur dans le haut. On a pensé que dans un pareil local le mode le plus utile et le plus commode de chauffage serait de chauffer le sol, parce que quand on a les pieds chauds, on se ressent très peu du froid. On a donc pratiqué une galerie d'un mètre de large, sur laquelle quatre cents personnes peuvent se placer à la fois. Au-dessous de cette galerie se trouve un espèce de canal, ayant un mètre de côté. Ce canal qui est fermé en dessus par une plaque en fonte au niveau du sol, est traversé par trois tuyaux, dans lesquels passe la vapeur. La plaque se trouve échauffée et par le calorique rayonnant et par l'air qui s'élève après avoir été échauffé par son contact avec les tuyaux. Cette plaque peut avoir une température de 40° à 60°; chaleur qui se fait sentir facilement à travers les chaussures. On a joint à cela des bouches de chaleur ouvertes le long des pilastres, et qui donnent passage à des courans d'air qui se sont échauffés par leur contact avec les tuyaux. Ce système de chauffage est sans contredit le meilleur qu'on pouvait appliquer à une localité comme la Bourse.

position verticale; mais pour éviter l'influence de l'air chaud qui monte, il est mieux de faire l'expérience en tenant les fils horizontalement, comme le représente la figure 4. Cet appareil n'est bon que pour donner une idée générale du résultat de l'expérience; il ne suffirait pas pour des expériences rigoureuses, parce qu'en mettant une couche de cire sur les fils d'or, d'argent, etc., nous changeons le pouvoir rayonnant de ces corps.

Pour avoir des résultats parfaitement exacts, il faut prendre les corps tels que la nature nous les donne. Les physiciens qui ont déterminé la conductibilité en n'ayant pas égard à cette circonstance ont dû nécessairement commettre des erreurs. Ainsi donc il faut que la conductibilité soit étudiée sur les corps tels que nous les trouvons dans la nature; si nous ne remplissons pas cette condition, c'est que nous ne voulons que donner un résultat général, et montrer qu'il y a de très grandes différences entre les corps sous le rapport de la conductibilité, plutôt que déterminer ces différences d'une manière exacte.

Pour faire l'expérience dont nous venons de parler, on verse de l'eau bouillante dans une espèce de boîte *B*, sur le côté de laquelle sont fixées les extrémités des fils; on pourrait pour maintenir l'eau à l'état d'ébullition faire arriver de la vapeur dans cette boîte au moyen d'un tuyau communiquant avec une chaudière. La chaleur se propage à travers les parois du vase et ensuite dans les fils, et l'on voit la cire dont ces divers fils sont revêtus fondre à des distances plus ou moins grandes; c'est la différence qui existe entre ces distances qui nous fait connaître la différence de conductibilité des fils.

Je suppose que nous ayons fait l'expérience exactement, nous trouverions que parmi ces métaux il y en a un qui est beaucoup meilleur conducteur que les autres, c'est l'or. Nous le prendrons pour type, et représentant sa conductibilité par 100
nous trouverons pour la conductibilité

de l'argent	97, 3.
du cuivre	89, 8.
du fer	37, 4.
du plomb	17, 9.
du marbre	2, 3.
de la terre, des fourneaux et de la porcelaine	1,

Vous pouvez voir par ces nombres quelles différences énormes existent entre les corps sous le point de vue de la con-

ductibilité. Les corps ont été pris pour cette expérience, sous les mêmes dimensions, avec les mêmes longueurs, enfin dans les mêmes circonstances. C'est la distance à laquelle la même température, celle qui opère la fusion de la cire, est parvenue, qui a donné les nombres que nous venons de citer.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

former très facilement, et avec beaucoup de précision, une table de la force élastique de la vapeur, correspondant à des températures variables, par exemple de 100° à la température zéro. Quand nous porterons la température à 100°, nous remarquerons qu'alors le mercure sera entièrement déprimé, et qu'il sera de niveau dans le tube qui renferme la vapeur, et à l'extérieur : par conséquent, à 100°, qui est le point où l'eau entre en ébullition, la force élastique de la vapeur fait seule équilibre à tout le poids de l'atmosphère ; par conséquent, la force élastique est égale au poids de l'air ou à la colonne barométrique.

Maintenant il importe de connaître la force élastique de la vapeur d'eau au-dessous de zéro et en même temps au-dessus de 100°. Une fois que l'eau est à zéro, si le froid continue, elle se gèle; il s'agit de savoir si la glace produit encore de la vapeur, et de le déterminer à 5, à 10, à 15, à 20° au-dessous de zéro, ce qui est très facile.

Pour déterminer cette force élastique, on fait usage d'un appareil très simple, figure 1, qui se compose d'un tube de baromètre ordinaire, renfermant une colonne de mercure qui nous donne ce qu'on appelle la hauteur du baromètre, et d'un second tube qui se recourbe à angle droit. La branche recourbée entre par une tubulure dans un vase de fer-blanc ; on remplit ce vase d'un mélange de glace et de sel, ce qui donne une température de 20° au-dessous de zéro. Avant qu'on ait mis ce mélange réfrigérent, la vapeur d'eau renfermée dans le tube recourbé étant à la température ordinaire, sa tension est mesurée par la différence des deux colonnes. En refroidissant ensuite cette vapeur, la tension de la vapeur sera toujours déterminée par la température qui sera dans le vase. Pour bien fixer votre attention sur cette circonstance qui se présente souvent dans les machines à feu, je suppose que nous ayons, figure 2, un tube en verre dans lequel nous ayons mis de l'eau, et nous supposerons par hypothèse qu'il n'y ait pas d'air, et que ce tube plonge par chacune de ses extrémités dans deux vases V et v dans lesquels nous ferous varier la température. Nous nous arrangerons, par exemple, de manière à avoir dans l'un de ces vases la température de 15°, et nous mettrons dans l'autre de la glace que nous donnera la température de zéro. La vapeur à 15° a, comme nous l'avons dit, une certaine tension; à zéro, elle a une tension plus faible. La tension sera, par exemple, de 5 millimètres à 0°, tandis qu'à 15° elle sera de 12 millimètres.

Quelle sera la tension de la vapeur dans ce tube, exposé à des températures différentes ? Sera-ce la tension qui correspond à 15° ou bien la tension qui correspond à zéro ? ce sera toujours la tension correspondante à la plus petite température. Ainsi, quand nous avons un espace vide renfermant un liquide pouvant former de la vapeur, si cet espace est échauffé inégalement, c'est la partie dont la température est la plus basse qui détermine le *maximum de tension* qu'on peut avoir. Vous concevez, en effet, que, si tout le tube était à 15°, nous aurions une tension uniforme de 12 millimètres. Mais puisque, par hypothèse, nous avons une partie qui est à 5 millimètres de tension, la vapeur ne peut conserver cette tension de 12 millimètres à zéro; et, par conséquent, il se condense une certaine quantité de vapeur, de manière que ce qui reste supporte simplement une pression de 5 millimètres.

Revenons à notre appareil, fig. 1. Nous avons la partie *a b* du tube qui est échauffée, par exemple, à 12°, qui est la température ambiante, et la partie *c d*, qui plonge dans le vase de fer-blanc, est à la température de 20° au-dessous de zéro. Par conséquent, nous n'aurons dans ce tube, qui est soumis à deux températures différentes, que la tension correspondant à la température la plus basse, à celle qui est exprimée par — 20°; et on peut en avoir facilement la preuve. Car si, avant d'avoir mis le mélange réfrigérent, on a remarqué l'endroit où s'arrêtait le mercure, on voit, après qu'on a mis le mélange, que la colonne de mercure a remonté et que, par conséquent, la tension de la vapeur a diminué, et cette tension est précisément celle qui correspond à la température du réfrigérent. On laisse ensuite le mélange se réchauffer peu à peu et passer par les températures successives de 18, 15, 10 degrés, et enfin venir à zéro, et on tient note des tensions correspondantes à toutes ces températures. On remarque dans cette expérience que la vapeur, formée en *a b* à la température de 12°, passe en *c d* où elle se condense; de sorte que bientôt il ne reste plus d'eau; il y a là une véritable distillation. Pour obtenir avec exactitude la mesure de la tension de la vapeur aux diverses températures, on se sert d'une lunette qu'on pose sur un plan horizontal et que l'on dirige alternativement sur le sommet de la colonne barométrique et puis sur le sommet de l'autre colonne; de sorte qu'on lit très exactement la différence de ces deux colonnes. C'est par ce procédé qu'on parvient à déterminer la force élastique de la vapeur à des températures très basses et même

plus basses que celles que nous avons ordinairement dans nos climats, même pendant les hivers les plus froids.

Il s'agit maintenant de déterminer la tension de la vapeur au-dessus de 100°. On y parvient au moyen d'appareils assez simples, lorsqu'on ne s'éloigne pas beaucoup de cette température de 100°; mais si l'on veut aller à 160°, à 180°, il faut alors avoir recours à des appareils assez compliqués. Cette détermination de la tension des vapeurs à des températures élevées est l'objet des recherches d'une commission dont MM. Arago et Dulong font partie, d'après une invitation de l'Académie, invitée elle-même par le ministre de l'intérieur à faire faire des recherches pour tout ce qui est relatif aux machines à feu.

Voici comment on peut opérer à des températures au-dessus de 100°. Concevez un réservoir formé par une marmite en métal remplie de mercure jusqu'à une certaine hauteur, et dans laquelle on ait mis de l'eau. Concevez ensuite un tube latéral, également en métal, qui s'élève verticalement jusqu'à 10, 20, 30, 40 mètres, s'il est possible, et, pouvant au moyen d'une colonne de mercure servir à mesurer directement la force élastique de la vapeur. Un tel appareil présenterait une assez grande difficulté. On a préféré se servir d'un manomètre à air.

Quoi qu'il en soit, nous pourrons figurer l'expérience avec le tube, fig. 3, dont il faut supposer la plus longue branche prolongée indéfiniment. On remplit ce tube de mercure et on introduit ensuite de l'eau dans la courte branche. En plongeant cet appareil dans un bain d'huile, d'acide sulfurique ou de mercure, on peut aller jusqu'à des températures de 200°; lorsqu'on n'a qu'une chaleur de 100°, les deux colonnes de mercure sont parfaitement égales, ce qui annonce que la pression intérieure est égale à la pression extérieure; mais si nous allons seulement jusqu'à 122°, l'eau renfermée dans la petite branche produit une vapeur qui a une force élastique double de celle de l'eau à 100°; par conséquent elle fait effort contre le mercure beaucoup plus que l'air extérieur; il y a donc dépression du mercure dans la petite branche et élévation dans la longue branche, justement d'une colonne de 76 centimètres, de sorte que la vapeur ainsi enfermée fait équilibre à la colonne de mercure soulevée par le poids de l'air qui presse sur cette même colonne. La force élastique de la vapeur au-dessus de 100° sera toujours mesurée par la pression atmosphérique, c'est-à-dire par la colonne barométrique, plus la colonne de mercure qui sera soulevée au-dessus du niveau.

Nous allons voir la marche que suit la force élastique de la vapeur quand on l'expose ainsi à des températures différentes. Nous prendrons l'eau pour exemple, et nous citerons de loin en loin quelques résultats, en commençant par la température de 20° au-dessous de zéro.

Degrés du thermomètre.	Force élastique en millimètres.	Degrés du thermomètre.	Force élastique en millimètres.
— 20°	1,mm. 33;	50°	88,mm. 74;
— 10	2, 63;	60	144, 7;
0	5, 06;	70	229;
10	9, 47;	80	352, 1;
20	17, 31;	90	525, 3;
30	30, 64;	100.	760.
40	53;		

Voilà une table de la force élastique de la vapeur depuis — 20° jusqu'à 100°. Si nous voulons continuer notre échelle, nous pourrons supposer qu'on marche par atmosphères, et vous connaissez bien ce que signifie cette expression, sur laquelle nous nous sommes expliqués. Nous entendons par atmosphère une pression mesurée par la pression moyenne de l'atmosphère, c'est-à-dire par 76 centimètres. Vous voyez, par le tableau que je viens de vous présenter, que, lorsque la vapeur est à 100° (et alors l'eau est en pleine ébullition), sa force élastique est égale à 760mm., c'est-à-dire à la colonne barométrique; au lieu de cette expression, nous disons une atmosphère.

Degrés du thermomètre.	Nombre d'atmosphères.	Degrés du thermomètre.	Nombre d'atmosphères.
122°	2;	161°, 5	6;
135	3;	168	7;
145, 2	4;	173	8.
154	5;		

Voilà les nombres les plus précis qu'on ait obtenus jusqu'à présent; il y a des nombres intermédiaires, et j'aurais pu marcher par demi-atmosphères. En jetant un coup d'œil sur cette table, on remarque tout de suite que la force élastique de la vapeur est bien loin d'être proportionnelle à la température; car, si nous allons depuis zéro jusqu'à 10°, nous avons simplement une différence de 4 millim. d'augmentation pour 10° de température; si nous prenons des termes plus éloignés et que nous allions, par exemple, de 90 à 100°, nous avons une différence de 35°. En effet, les variations de

pératures, la densité de la vapeur comparée à la densité de l'air offre toujours le même rapport de 10 à 16. Il faut bien faire attention que quand on compare la densité des fluides élastiques, il est nécessaire de les supposer soumis à la même pression.

Quand on a fait cette correction, on trouve que la densité des vapeurs est toujours dans le même rapport relativement à celle de l'air.

A la même température et sous la même pression, la vapeur qui se forme dans le vide, et, en général, dans l'air et dans un fluide élastique quelconque, a une tension constante, parfaitement déterminée, et invariable pour une température donnée; de sorte que, si vous voulez comprimer, c'est-à-dire si vous voulez, en d'autres termes, réduire l'espace dans lequel elle se trouve, dans ce cas elle conserve encore la même force élastique; mais alors il y a une portion de vapeur qui se précipite, proportionnelle à la réduction de l'espace.

Tel est le principe d'où il faut partir, et qui ne vous égarera jamais; c'est que la vapeur pour une température déterminée a une force élastique déterminée. Augmentez-vous la température, il se forme de nouvelle vapeur, nouvelle force élastique. Diminuez-vous la température, il se précipite une quantité de vapeur pour satisfaire à ce qui est voulu par la température. Au lieu de faire varier la chaleur, vous faites varier l'espace; vous réduisez, par exemple, l'espace de moitié. Dans ce cas, la vapeur ne suivra pas la loi de la compression de l'air; car, si elle suivait cette loi, à la même température, vous auriez des forces élastiques différentes, tandis que vous devez avoir des forces élastiques constantes. En cherchant à comprimer la vapeur qui se trouve saturant un espace, il s'en précipite une quantité justement proportionnelle à la quantité de l'espace. C'est pour cela qu'on dit que la vapeur ne se laisse pas comprimer, dans les circonstances que nous entendons, c'est-à-dire lorsqu'il existe constamment de la vapeur en contact avec le liquide, ou qu'il y a un excédant de liquide.

Ainsi, pour chaque température, il y aura une force élastique constante. Il y a une autre manière d'exprimer cette condition de la vapeur; c'est que pour chaque température constante vous avez un certain nombre de molécules dans l'espace, nombre qui détermine la force élastique. Dans ce cas, nous pouvons dire que pour une température déterminée, les molécules des vapeurs sont à une distance détermi-

née les unes des autres. Si maintenant nous cherchons à comprimer ces molécules, nous les forçons à se rapprocher, et alors la distance diminue; mais en diminuant la distance, les molécules rentrent dans leur sphère d'attraction, elles se constituent en liquide, et il en disparaît une certaine quantité, pour que les molécules qui restent se trouvent toujours à une distance constante, celle qui est voulue par la température.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

sphère d'oxigène est comme un espace vide pour l'azote qui est en dissolution dans l'eau. Or l'azote dans le vide s'échapperait ; il doit, par conséquent, s'échapper dans un espace occupé par du gaz oxigène. Il en résulte que l'azote sortant de l'eau pour aller se mêler avec l'oxigène, ce dernier gaz se trouve altéré. C'est pour éviter cet inconvénient, qu'il faut recueillir le gaz oxigène sur de l'eau qui a bouilli.

Je vais terminer cet objet par quelques expériences sur de l'eau qui tient en dissolution du gaz acide carbonique et qu'on appelle de *l'eau aérée*. Cette eau ayant été chargée de gaz sous plusieurs pressions, mousse comme le vin de champagne, cela se conçoit facilement. Cette eau ayant été saturée sous une pression de 4 atmosphères, a pris quatre fois plus de gaz que sous la pression ordinaire. Par conséquent, aussitôt que nous détruisons cette pression énorme, à laquelle la saturation avait été faite, l'excédant du gaz s'échappe jusqu'à ce que l'eau ne se trouve saturée que comme elle doit l'être à la pression d'une atmosphère. Ainsi il s'échappe violemment les trois quarts du gaz, et, de plus, si cette eau reste exposée à l'air sans être bouchée, le gaz finit par se répandre tout-à-fait dans l'air ; mais il faut, pour que la diffusion du gaz soit complète, un temps assez notable.

La même chose arrive pour tout ce qu'on appelle liquides mousseux : le vin de champagne, la bière, etc. Une fois qu'on a débouché la bouteille qui contient ces liquides, si la bouteille reste ouverte, le gaz acide carbonique s'échappe entièrement et le liquide devient *plat*, suivant l'expression consacrée pour exprimer cet état d'un liquide qui a perdu le gaz qu'il tenait en dissolution.

Si on expose à un vide partiel, par exemple, sous une pression deux fois plus petite, une eau qui est saturée d'acide carbonique à la pression atmosphérique, alors cette eau se trouve *sur-saturée*, relativement à la nouvelle pression à laquelle elle se trouve exposée ; et comme cette nouvelle pression n'est que moitié de la pression atmosphérique, il faudra que la moitié de l'acide carbonique s'en aille. C'est ainsi qu'un liquide qui n'était pas mousseux à la pression ordinaire, devient mousseux lorsqu'on le place sous le récipient de la machine pneumatique et qu'on donne quelques coups de piston. C'est une expérience analogue à celle que nous avons faite en débouchant la bouteille ; car, dans ce dernier cas, nous avions fait le vide relativement à la pression que nous avions d'abord.

que l'on pourrait faire bouillir de l'eau à zéro. Cependant à zéro vous ne verriez pas de bulles partir du fond du vase. Il faut remarquer ce qui arrive dans cette circonstance. C'est en général sur les parois des vases que la vapeur se forme; il est rare qu'elle se forme dans le milieu, à moins qu'il n'y ait des solutions de continuité.

Or nous savons tous que l'eau mouille les solides, et cette propriété de mouiller ou d'adhérer, indique nécessairement une affinité entre l'eau et le corps solide. Cette affinité s'oppose au déplacement du liquide par la vapeur. Si cette affinité est assez grande, alors l'eau ne pourra bouillir à zéro, parce que la force élastique de la vapeur, à cette température, ne sera pas suffisante pour vaincre la force d'affinité du liquide pour le corps solide dont sont formées les parois du vase.

Il est une autre manière encore de faire bouillir de l'eau au-dessous de 100°. On fait bouillir de l'eau dans un matras, fig. 2, et le vase étant rempli à peu près, on y applique un bouchon qui le ferme hermétiquement. L'espace qui est au-dessus du liquide est vide d'air, mais il est rempli par la vapeur. Or, la vapeur se condense facilement par le froid ; par conséquent si l'on verse de l'eau froide sur le matras, la vapeur qu'il renferme se condense aussitôt ; il se fait dès lors un vide, et l'eau du matras n'éprouvant plus de pression, entre en ébullition.

Nous avons vu comment on pouvait accélérer l'ébullition en diminuant convenablement la pression ; nous allons voir maintenant comment on peut la retarder, en rendant l'atmosphère plus pesante, c'est-à-dire en augmentant la pression; car, d'après notre définition, l'ébullition est la formation de la vapeur au fond du vase, lorsque la vapeur a une force élastique suffisante pour faire équilibre au poids de l'atmosphère. Par conséquent, si nous avons une atmosphère double, il faudra que la vapeur soit portée à 122°, puisque ce n'est qu'à 122° de chaleur qu'elle acquiert une force élastique suffisante pour faire équilibre à deux atmosphères. Si nous avions une atmosphère qui exerçât une pression dix fois plus grande, l'eau ne bouillirait plus qu'à 173° ; de sorte qu'en augmentant ainsi la pression, l'eau deviendra de plus en plus chaude. On remplit aisément cette condition en prenant un vase dont les parois soient très résistantes, et en le fermant de manière qu'il n'y ait aucune communication entre l'air extérieur et l'air intérieur.

nous l'avons vu, a une force élastique suffisante pour faire équilibre à une atmosphère. Ainsi, nous aurons dans l'intérieur de l'appareil deux atmosphères, l'une d'air, l'autre de vapeur. Pour simplifier la question, supposons que la soupape soit ouverte un instant et que l'air ait pu s'en aller, de manière qu'il ne reste qu'une atmosphère aqueuse. Supposons maintenant que la température soit élevée à 122°. A cette température nous savons que la force élastique de la vapeur peut faire équilibre à 2 atmosphères; si enfin nous avons une température égale à 173°, la vapeur aura une force élastique exprimée par 8 atmosphères. En un mot, si vous échauffez de l'eau dans un espace fermé, vous pourrez échauffer indéfiniment. Lorsqu'il arrivera que l'eau prendra une température quelconque, la vapeur aura, dans l'espace resté vide, une tension qui sera correspondante à la force élastique qu'elle doit avoir pour la température donnée, que nous connaissons d'avance.

Lorsqu'après avoir ainsi obtenu une force élastique de la vapeur égale à l'atmosphère, par exemple, et qu'on ouvre la soupape, que doit-il arriver? Nous avions de la vapeur comprimée; elle s'échappe nécessairement par l'issue qu'on lui donne, parce qu'elle ne trouve pas dans l'air une résistance suffisante, et il sort une certaine quantité de vapeur pour que l'équilibre entre les tensions extérieure et inférieure ait lieu. Mais puisque nous avons de l'eau à 173°, il doit, en raison des 73° en sus, se produire continuellement une quantité de vapeur pour absorber toute cette chaleur: en sorte que la sortie de la vapeur dure, non pas un instant, mais un temps qu'on peut apprécier, en raison de ce qui sort, comme étant déjà produit, et, en raison de ce qui est produit, par l'abaissement de la température de l'eau, qui finit par descendre à 100°.

Si au lieu d'offrir à la vapeur qui sort de l'appareil une petite ouverture, nous employons une large soupape, l'eau étant très échauffée, la vapeur qui se dégagerait du fond et des parois du vase le ferait brusquement, et il y aurait comme une explosion dans l'intérieur de la masse. C'est là une des causes des explosions qui arrivent quelquefois dans les machines à feu.

Vous concevez l'avantage qu'il est possible de tirer d'appareils où on peut ainsi élever l'eau à de très hautes températures. On peut, avec de tels appareils, produire un grand nombre d'effets qui ne sauraient être produits à une basse température.

D'après ce que nous venons de dire, vous voyez que l'ébullition qui paraît un phénomène ordinaire, est cependant riche en conséquences et en effets assez importans. Nous reviendrons sur cet objet dans la séance prochaine.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON VINGT-SEPTIÈME.

(Mardi, 12 Février 1828.)

RÉSUMÉ DE LA VINGT-SIXIÈME LEÇON.

Dans la dernière séance nous avons examiné comment les gaz qui sont en dissolution dans l'eau se dégagent, lorsque cette eau est exposée dans le vide ou dans l'air atmosphérique. Nous sommes partis de ce fait, qui a été constaté, que la dissolution d'un gaz dans l'eau est proportionnelle à la pression, c'est-à-dire, que l'eau dissout toujours le même volume du gaz, quelle que soit la pression sous laquelle on opère; ou, en d'autres termes, que le rapport de la densité du gaz qui forme atmosphère au-dessus de l'eau à la densité du gaz dissous est constant. Nous avons dit que la seule différence qui existait dans le dégagement des gaz dissous, dans l'air et dans le vide, était uniquement dans le temps que les gaz emploient pour se dégager. Nous avons fait remarquer que ce dégagement s'opérait beaucoup plus promptement dans le vide que dans l'air; nous avons dit aussi que ce dégagement dépendait d'une autre cause, qui est le mouvement plus ou moins rapide de l'air.

Nous avons établi comment les gaz pouvaient s'altérer, quand ils étaient en contact avec de l'eau, en raison de l'oxigène et de l'azote qui sont en dissolution dans l'eau.

Nous nous sommes ensuite occupés du phénomène de l'ébullition. Nous vous avons montré comment on pouvait accélérer ou retarder l'ébullition. Nous avons expliqué pourquoi la température de l'eau reste constante à partir du moment où elle est entrée en ébullition.

Nous avons dit que de ce qu'à une certaine température une différence d'une fraction de degré suffisait pour déterminer une pression d'une atmosphère, il ne fallait pas conclure que pour avoir une atmosphère en sus, il ne fallait que

d'avoir une température de 100°; parce que le liquide n'est pas un assez bon conducteur, et que les mouvemens ne se font pas assez vite pour que la chaleur se propage en un instant dans l'intérieur de la masse liquide. Les bulles de vapeur qui s'élèvent, venant à rencontrer de l'eau froide, se condensent sur-le-champ, c'est cette brusque condensation qui occasionne ce bruit dont nous avons parlé, et qui ressemble à un petit coup de marteau. Ce bruit diminue ensuite à mesure que la vapeur peut s'élever davantage.

PHÉNOMÈNE DE L'ÉVAPORATION.

Nous allons nous occuper d'un autre phénomène qui a beaucoup de rapport avec l'ébullition, qui s'en distingue cependant sous quelques autres; c'est le phénomène que nous désignons par le nom d'*évaporation*.

L'évaporation, de même que l'ébullition, consiste dans une formation de vapeur; mais l'ébullition dépend toujours de la pression; tandis que l'évaporation en est indépendante. C'est là la grande distinction, la différence réelle qu'il y a entre l'évaporation et l'ébullition.

Voici en quoi consiste le phénomène dont nous nous occupons. Vous avez une masse liquide qui peut être dans un espace vide ou bien dans un espace occupé par un gaz.

Lorsque le liquide est dans le vide, il fournit de la vapeur à sa surface; et, en effet, puisqu'il ne supporte plus la pression atmosphérique, il est évident que c'est à la surface et non dans le fond que la vapeur doit se former. Cette vapeur se produit en raison de la température; plus le liquide est échauffé, plus il donne de la vapeur qui a une force élastique ou une densité plus grande.

Comme nous savons que les vapeurs se forment dans un espace occupé par un gaz aussi bien que dans un espace vide, nous en conclurons, que la vapeur en contact avec un gaz, pouvant se loger dans les interstices de ce gaz, ne doit pas être considérée comme supportant la pression atmosphérique. Et, en effet, pourvu que les molécules de vapeur soient à la distance déterminée par la température, peu importe que ces molécules soient dans le vide ou dans un gaz; en un mot, le phénomène de l'évaporation se passe, sauf le temps, absolument de la même manière dans le vide et dans l'air.

Nous avons parlé d'une différence dans le temps de l'évaporation, suivant qu'elle a lieu dans le vide ou dans un gaz. En effet, la vitesse de la vapeur dans le vide est extrêmement

parler d'une circonstance qui mérite toute votre attention. Nous avons vu que l'eau à zéro produit une vapeur dont la force élastique est égale à 5 millimètres. Si l'on construit une ligne horizontale, fig. 3, représentant les températures, et qu'ensuite on représente par des verticales *Aa*, *Bb*, *Cc*, *Dd* la force élastique correspondant à chaque température, la ligne courbe *a b c d* qui passera par les points *a b c d*, fera la ligne marquant la gradation de la force élastique. Eh bien, il n'y a jamais en un point de cette ligne une solution brusque de continuité. Si, au lieu d'eau, nous prenons de la glace à zéro et ensuite à — 5° à — 10° — 15°, etc., alors la courbe se prolonge d'une manière continue, comme si nous avions de l'eau, c'est-à-dire que vous pouvez concevoir que l'on prend de l'eau à 0° et ensuite à — 5° — 10°, etc.; cette eau donnera exactement la même force élastique que la glace à la même température; d'où il faut conclure nécessairement que le changement d'état de l'eau, passant de l'état liquide à l'état solide, n'apporte aucun changement dans le phénomène de la production de la vapeur, c'est-à-dire que la vapeur est réellement indépendante de l'état d'agrégation des molécules; agrégation qui est incomparablement plus grande dans la glace que dans l'eau; car une goutte d'eau ne peut supporter la pression d'une autre goutte; tandis qu'un fil de glace du même diamètre que la goutte peut supporter une pression qui est assez considérable.

Ce résultat singulier nous conduit à admettre ce fait général que la quantité de vapeur qui peut se former dans un espace déterminé est indépendante de l'état du corps, pourvu que la température reste la même. Ainsi, de l'eau qui sera à — 1° donnera une vapeur dont la force élastique sera la même que celle de la vapeur fournie par de la glace également à — 1°.

DISTILLATION.

Nous allons laisser le phénomène de l'évaporation pour dire deux mots de la *distillation*. On a pour objet, dans la distillation, de séparer une substance d'avec une autre. Ainsi, vous avez de l'eau impure, de l'eau de puits, de l'eau salée, et vous désirez séparer les matières étrangères que renferme cette eau, c'est ce que vous faites par le procédé connu sous le nom de distillation.

Le cas le plus simple qu'on puisse supposer est celui où l'eau serait mêlée avec des matières qui sont absolument *fixes*

lement avoir l'attention d'employer une couche d'essence assez épaisse pour que la vapeur d'eau ait le temps de s'en saturer.

Quand il s'agit de distiller un mélange d'eau et d'alcool, le phénomène devient plus compliqué, en raison de l'affinité particulière qui a lieu entre les deux liquides. L'eau et l'alcool ont, en effet, une telle affinité, qu'en les mêlant il se produit de la chaleur. Quand ces deux corps sont exposés à une température convenable, les vapeurs restent comme si elles n'avaient pas d'action l'une sur l'autre, mais le liquide lui-même, qui est en contact avec la vapeur, modifie la quantité de l'eau ou de l'alcool qui peut rester à l'état de fluide élastique. C'est ainsi qu'on trouve que, si la vapeur d'alcool et la vapeur d'eau étaient deux corps tout-à-fait indifférens de même que leurs liquides, on ne pourrait alors parvenir par la distillation qu'à avoir un mélange qui contiendrait à peu près les 88 à 90 centièmes d'alcool absolu ; ce serait le *maximum* de l'esprit de vin qu'on pourrait obtenir. Mais on va plus loin, et on peut obtenir par la distillation poussée au dernier terme, en prenant les produits distillés pour les distiller de nouveau, jusqu'à ce qu'on ait un produit qu'on ne puisse pas dépasser, on peut obtenir, dis-je, un liquide qui contient les 94 centièmes $\frac{1}{2}$ d'alcool. Ainsi, en raison de l'affinité qui a lieu entre les liquides, on obtient, par des distillations réitérées, un esprit plus fort et plus riche en alcool que si les deux liquides étaient absolument sans action l'un sur l'autre. Il serait trop long d'entrer dans une foule de petits détails relatifs à ce phénomène.

FROID PRODUIT PAR L'ÉVAPORATION.

Nous allons revenir sur le phénomène de l'évaporation et fixer votre attention sur le froid produit dans cette circonstance.

Dans l'ébullition, la vapeur reçoit la chaleur qui lui est nécessaire pour se former d'une source étrangère, du feu sur lequel le liquide se trouve exposé. Dans l'évaporation, au contraire, telle que ce phénomène se produit naturellement, la chaleur est fournie par le liquide lui-même, et dès lors la température de ce liquide baisse plus ou moins ; en un mot, il se produit du froid. Ce fait mérite une attention particulière, parce que c'est par lui que nous pouvons concevoir plusieurs phénomènes qui ont lieu dans la nature.

La présence d'un gaz modifie les résultats de l'évaporation,

à cause de l'obstacle qu'il oppose au mouvement de la vapeur, et le froid produit est tout-à-fait différent dans un gaz et dans le vide ; il est plus considérable dans le vide. Considérons d'abord l'évaporation dans le vide : la vapeur, en se détachant du liquide, ne peut aller prendre ailleurs qu'au liquide lui-même tout le calorique latent qu'elle absorbe. Par conséquent, vous pouvez concevoir que la température doit baisser à mesure que l'évaporation a lieu et peut aller jusqu'à un froid même considérable. En effet, une fois que l'eau, que nous pouvons supposer d'abord à 10°, se sera refroidie de 5°, elle pourra encore fournir de la vapeur, car nous supposons, faites-y bien attention, que le vide est un vide infini, que par conséquent l'espace n'est jamais saturé. Dans ce cas, à mesure que la vapeur se forme elle trouve à se répandre dans l'espace où elle ne trouve aucun obstacle à sa diffusion ; puisque la seule chose qui pourrait s'opposer à la formation de la vapeur ce serait le cas où la vapeur qui est au-dessus du liquide parviendrait à avoir son *maximum* de force élastique. Ainsi, l'eau qui est descendue à 5° donne encore de la vapeur ; par conséquent il y a encore la même cause de production de froid. L'eau arrive à zéro et se gèle ; la glace se réduit encore en vapeur, et il y aura encore production de froid ; ainsi de suite, de manière qu'on ne voit pas de raison pour que le froid n'aille indéfiniment en augmentant.

Puisque la force élastique de la vapeur décroît à mesure que la température s'abaisse, il est bien clair que la cause de production du froid va continuellement en diminuant. Mais si on voit clairement que la cause du froid doit diminuer continuellement, rien jusqu'à présent ne nous démontre que le froid ne puisse aller néanmoins à l'infini ; et c'est ici qu'il convient de vous faire remarquer une cause étrangère qui empêche la température de baisser indéfiniment, et par conséquent, empêche la cause du froid de se prolonger aussi indéfiniment. En effet, aussitôt que l'eau est un peu au-dessous de la température ambiante, les corps environnans lui envoient du calorique rayonnant, de sorte que, à mesure que la température de l'eau s'abaisse, elle reçoit de la chaleur, et elle en reçoit d'autant plus, que sa température s'abaisse davantage ; de manière qu'il arrivera un terme où nécessairement, ce que l'eau perd par l'évaporation sera exactement compensé par le calorique qu'elle reçoit des corps environnans ; à ce terme la température devient stationnaire. C'est un phénomène analogue à celui qui a lieu dans les expériences de MM. Berard et Laroche sur la capacité des fluides élastiques.

Mais vous devez concevoir qu'il sera possible de reculer pour ainsi dire indéfiniment ce *maximum* de froid que nous pourrons obtenir. Car si lorsque nous partons de 50° par exemple, nous n'allons qu'à 10° au-dessous de zéro, ce qui fait une différence de 40°, en partant de 0°, nous n'irons pas jusqu'à — 40°, mais nous pourrons approcher de ce terme. Ainsi en abaissant de plus en plus la température du milieu ambiant, nous pourrions porter le froid indéfiniment, ou du moins le porter extrêmement loin.

Cette belle découverte a été faite par M. Leslie, professeur de physique à Edimbourg; cette découverte excita un très grand étonnement. Nous terminerons cette séance par l'expérience qui fut faite par M. Leslie pour démontrer cette production du froid par l'évaporation. On cherche d'abord à avoir un vide indéfini, et pour cela on se sert de l'acide sulfurique concentré, qui a une très grande affinité pour l'eau. En mettant dans un espace très limité de l'eau d'une part et de l'acide sulfurique à côté, et en faisant ensuite dans cet espace un vide aussi parfait que possible, vous aurez comme un vide indéfini pour le résultat. La vapeur d'eau va remplir l'espace; à mesure qu'elle vient toucher la surface de l'acide sulfurique, elle se condense. Voici donc en quoi consiste l'expérience. On met sous le récipient de la machine pneumatique un peu d'eau dans un vase, *v*, fig. 5, et au-dessous de cette eau on place un autre vase *V* rempli de gaz sulfurique concentré. En faisant ensuite un vide aussi parfait que possible, il suffit de quelques minutes pour que l'eau se gèle complètement. La principale condition pour bien réussir est d'avoir une bonne pompe; car si vous ne faisiez le vide qu'à un centième près, par exemple, la vapeur déposerait ce centième d'air sur l'acide sulfurique, et il ferait comme un diaphragme qui empêcherait le contact de la vapeur avec l'acide.

L'expérience ne réussit pas toujours. Lorsqu'on a une bonne pompe, cela ne peut provenir que de ce que l'acide sulfurique n'est pas assez concentré. Il faut, pour écarter toutes les causes de perturbation, se servir d'acide sulfurique qui n'ait pas été long-temps exposé à l'air; parce que l'acide, en raison de sa grande affinité pour l'eau, se charge de l'humidité contenue dans l'air, il s'en sature, et n'a plus alors d'action sur la vapeur.

On peut faire ainsi geler de l'eau dans les plus fortes chaleurs de l'été. Avec de l'eau à 30° centigrades, l'expérience réussit parfaitement. M. Leslie a fait son expérience en par-

diquer comment on pourrait opérer. Ce serait toujours par l'action du vide; avec une pompe qui ne serait pas de très grande dimension, on pourrait faire jusqu'à une centaine de livres de glace; il suffirait d'avoir plusieurs récipiens, communiquant ensemble, et on multiplierait ainsi la quantité de glace qu'il est possible d'obtenir.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

de l'eau sera d'autant plus rapide, que le corps qu'il s'agit de distiller sera plus volatil.

Vous allez sentir l'avantage de ce procédé. Supposons un corps qui se détruise par l'action de la chaleur au point de son ébullition, ce qui arrive pour beaucoup d'essences qui sont en général des substances très fugaces. Si on voulait distiller ces substances seules, on serait obligé de les porter au point de leur ébullition, et dans ce cas on courrait le risque de les altérer. Les distillateurs ont alors recours au moyen dont je viens de parler.

Ce n'est pas là la seule application. Il y a une foule de circonstances dans lesquelles la distillation s'opère uniquement à la faveur d'un gaz qui se produit ou que l'on fait passer artificiellement sur le corps qu'on veut distiller. Il y a beaucoup de corps qui se décomposent tout près du point de leur ébullition, c'est-à-dire près du point où leur vapeur peut soutenir seule la pression atmosphérique. L'acide oxalique, l'indigo et diverses substances végétales, sont dans ce cas. Si on fait passer un courant de gaz ou de vapeur à 100° sur ces corps, ce courant entraîne la vapeur du corps long-temps avant qu'ils soient en ébullition, et par conséquent il n'y a pas de décomposition.

Il y a des corps qui se volatilisent seulement à la vapeur des gaz produits par le corps qui est en distillation. Ainsi en distillant l'acide oxalique, il y a une portion qui se décompose; cette portion est un gaz qui entraîne l'autre portion qui n'est pas décomposée.

En général, lorsqu'une substance se décompose au point de son ébullition ou quelque temps avant, il y a un avantage réel à en opérer la distillation ou dans le vide, ou au moyen d'un gaz étranger, sans action sur la substance qu'on veut distiller, ou d'une vapeur; la vapeur d'eau, par exemple, qu'on fait arriver à la température la plus élevée qu'il soit possible.

SUITE DE LA PRODUCTION DU FROID PAR L'ÉVAPORATION.

Nous avons commencé dans la dernière séance, à nous occuper du froid produit par l'évaporation, et nous avons dit que le froid produit par l'évaporation pouvait avoir lieu ou dans le vide absolu, ou bien dans un gaz. Il y avait à examiner ces deux circonstances. La plus simple est celle où l'évaporation se fait dans le vide. Dans ce cas, le liquide se

trouvant dans un espace supposé indéfini, la vapeur se produit très rapidement, et le vide est rempli en très peu de temps. Alors la vapeur devant absorber une certaine quantité de calorique qu'elle rend latent, et ce calorique ne pouvant être fourni dans le vide que par le liquide lui-même, il doit en résulter nécessairement un abaissement de température. Voilà le fait général.

A mesure que le liquide se refroidit par la production de la vapeur, il produit de la vapeur d'une densité ou d'une force élastique, ce qui est la même chose, de plus en plus faible, de sorte que la production du froid doit aller nécessairement en diminuant; et comme la force élastique des liquides suit une progression décroissante extrêmement rapide, il en résulte que la cause de production du froid devra diminuer suivant une progression décroissant aussi d'une manière très rapide.

S'il n'y avait pas de cause étrangère qui puisse altérer le résultat, il n'y aurait pas de raison pour que le froid ne fût pas, pour ainsi dire, indéfini; il n'aurait pas d'autre limite que la production de la vapeur. Mais le froid ne va pas ainsi indéfiniment, parce qu'à mesure que le liquide se refroidit, il reçoit de plus en plus du calorique des corps environnans. Ainsi, d'une part, le froid va toujours en diminuant d'intensité, et d'un autre côté la quantité de calorique fournie par les corps environnans va continuellement en augmentant; elle est proportionnelle, comme nous l'avons établi, à la différence de température des deux corps. Par conséquent, il arrivera nécessairement un point où le calorique absorbé par l'évaporation sera égal au calorique que le corps reçoit des corps environnans; et toutes les fois que cette circonstance arrivera, on aura le maximum de froid qu'il est possible d'obtenir dans la circonstance où l'on s'est placé. Mais on peut reculer ce maximum de froid en faisant varier la température initiale.

Nous avons, dans la dernière séance, indiqué le moyen employé par M. Leslie pour faire congeler l'eau. On est parvenu au même résultat par d'autres procédés qui reviennent tous à celui de M. Leslie. Ainsi, au lieu d'absorber la vapeur par le moyen de l'acide sulfurique, on peut se servir du froid pour condenser la vapeur. C'est une variation de l'expérience de M. Leslie qui a été faite par le docteur Wollaston. Voici en quoi consiste l'appareil de ce dernier : Imaginez, fig. 1, un tube *a b*, dont l'extrémité *a* est arrondie, et dont l'extrémité *b* se termine en pointe. On expulse une partie de l'air

qui est dans ce tube en l'exposant à la chaleur; on le plonge dans l'eau par son extrémité *b* qui a une petite ouverture. Au moyen du refroidissement qui a lieu, il se produit un vide dans l'intérieur et une certaine quantité d'eau y pénètre. On fait ensuite chauffer cette eau jusqu'au point d'ébullition, de manière qu'il se forme de la vapeur qui chasse tout l'air du tube. Lorsqu'on est bien certain que tout l'air est chassé, on ferme à la lampe l'extrémité du tube. On a ainsi un tube vide d'air, dans lequel il y a de l'eau qui produira de la vapeur au degré de tension déterminé par la température. Si l'on plonge l'extrémité *b* du tube dans un vase rempli d'un mélange frigorifique qui soit, par exemple, à la température de 20° au-dessous de zéro, voilà ce qui arrivera : l'eau qui est dans la partie *a* du tube qui est à la température de + 10°, produit de la vapeur qui aurait une force élastique correspondante à 10°, si tout l'espace était à la même température, mais en arrivant dans la partie du tube qui plonge dans le mélange frigorifique, elle y éprouve un refroidissement, et doit se condenser : de sorte que le *maximum* de tension que nous pouvons avoir dans cette circonstance est celui correspondant à — 20°. De cette manière il y aura production continuelle de vapeur et condensation continuelle ; de telle sorte que la température de l'eau qui est dans la partie inférieure du tube finit par se refroidir, et se congeler complètement.

Comme vous le voyez, il n'y a de différence entre le procédé de Leslie et celui de Wollaston, qu'en ce que le premier absorbe la vapeur au moyen de l'acide sulfurique et que le second la condense au moyen du froid.

Enfin il est un autre moyen pratiqué depuis long-temps pour faire congeler l'eau. Ce moyen consiste à renfermer de l'eau dans de petites boules de verre, et à mettre ces boules dans un vase rempli d'éther sulfurique que l'on place sous le récipient de la machine pneumatique. En faisant le vide, l'éther qui est très volatil se répand avec une extrême rapidité dans l'espace vide, et on le voit se condenser sur les parois de la cloche qui recouvre le vase où est l'éther. On remarque même que l'éther bout avec violence et offre un exemple de ces soubresauts dont j'ai parlé dans la dernière séance. Au moyen de la vapeur qui se forme et qui absorbe une grande quantité de calorique qu'elle rend latent, la température de l'éther s'abaisse considérablement, et l'eau plongée dans un milieu qui se refroidit, finit par se congeler.

La même expérience pourrait se faire avec le sulfure de carbone liquide. Le docteur Marçay est parvenu, en prenant

choses égales d'ailleurs, le *maximum* de froid qu'on peut obtenir dans l'air, sera moindre que le *maximum* de froid qu'on peut obtenir dans le vide.

Lorsque l'expérience se fait avec de l'éther, du sulfure de carbone ou de l'acide sulfureux, on peut faire abstraction de l'humidité de l'air, parce que l'air humide, par rapport à ces diverses substances, est comme de l'air sec, parce qu'il n'y a dans l'air ni éther, ni sulfure de carbone, ni acide sulfureux; mais si nous considérions le phénomène par rapport à l'évaporation de l'eau, celle qui se trouve dans l'air viendrait altérer les résultats. Si on prend de l'air saturé d'humidité, il n'y a plus d'évaporation, parce que l'air renfermant déjà toute la quantité d'eau qu'il peut renfermer, lorsqu'il viendra à passer sur une surface liquide, il ne pourra absorber aucune partie de ce liquide. Mais si l'air est parfaitement sec, alors la vapeur se forme comme dans le vide, et il y a production de froid.

Il y a déjà long-temps que Franklin et des physiciens italiens avaient observé qu'un thermomètre plongé dans une masse d'eau, placée dans un appartement, n'indiquait pas la même température qu'un autre thermomètre qui était plongé dans l'air du même appartement; mais ils ignoraient la véritable cause de ce phénomène. Cette cause est aujourd'hui bien connue, et on sait que le thermomètre ne baisse que parce que l'eau produit sans cesse de la vapeur, et par conséquent se refroidit à mesure que la vapeur se produit. En général, on peut dire que la température d'une masse liquide, toutes choses égales d'ailleurs, sera toujours plus basse que celle des corps environnans, en raison de l'évaporation qui aura lieu.

Pour apprécier dans toute son étendue le phénomène du refroidissement produit par l'évaporation dans l'air, il faut prendre de l'air sec et voir l'abaissement de température qu'il produira en passant sur une surface d'eau. Voici quel est le genre d'appareil que nous allons employer.

Soit, fig. 2, un tube un peu large *A*, rempli de chlorure de calcium, corps très avide d'humidité, et par conséquent très propre à absorber toute celle que l'air pourrait contenir. L'air pénètre dans ce tube par un tube plus étroit *t*, et à sa sortie du tube *A* il vient rencontrer deux thermomètres placés dans deux tubulures *c*, *d*. Le premier de ces thermomètres est destiné à donner la température de l'air, et le second dont la boule est entourée de papier ou de batiste mouillée, est destiné à faire connaître l'abaissement de température

produit par l'évaporation de la couche d'humidité. Le troisième tube *t* communique avec une machine pneumatique, de manière qu'on obtient un courant plus ou moins rapide, en raison de la vitesse avec laquelle on fait marcher les pistons.

Je vais indiquer quelques résultats d'expérience faits avec l'appareil que je viens de décrire. Seulement au lieu de pomper l'air, ce qui peut donner de l'incertitude relativement à la vitesse du courant, on détermine un courant constant au moyen des gazomètres dont j'ai parlé précédemment.

Température de l'air sec.	Abaissement de température produit.
0°	5°,85.
5	7 ,25.
10	8 ,97.
15	10 ,82.
20	12 ,73.
25	14 ,70.
30	16 ,74.

En prenant l'abaissement produit par de l'air à 8°, nous le trouverions égal à 8° 26, c'est-à-dire que l'eau serait descendue au-dessous de zéro. Par conséquent avec de l'air au-dessous de 8°, nous pourrions produire un abaissement de température suffisant pour faire congeler l'eau.

Nous aurons occasion de revenir sur le phénomène de l'évaporation qui a lieu dans l'air, lorsque nous traiterons de l'hygrométrie, c'est-à-dire lorsque nous apprendrons à connaître la quantité d'eau qui se trouve dans l'air.

Il y a une circonstance qui fait varier l'intensité de froid produit. Nous avons supposé jusqu'ici que nous opérions sous la pression de 76 centimètres de mercure. Si l'air fournit de la chaleur, il en fournira d'autant plus qu'il sera plus dense, d'autant moins qu'il sera moins dense. Ainsi la cause de la production du froid restant la même, le refroidissement sera d'autant plus grand que la température sera plus rare, et il se rapprochera d'autant plus du *maximum* qu'on peut obtenir dans le vide ; parce que plus l'air devient rare, plus il se rapproche du vide parfait.

On peut soumettre ces divers phénomènes au calcul, mais on manque de données bien certaines, parce qu'il y a plusieurs causes qui concourent, comme le calorique rayonnant lancé par les corps environnans, qu'il faudrait pouvoir apprécier dans chaque circonstance particulière. Néanmoins les résultats

pace est exposé à deux températures différentes, la tension de la vapeur est toujours celle qui est déterminée par la plus basse température : de sorte que si le cylindre rempli de vapeur communique par un tube avec un autre espace quelconque placé à distance et où il y a de l'eau froide, la vapeur arrive dans cet espace, s'y condense, et le vide a lieu dans le cylindre ; on évite ainsi cet inconvénient de refroidir les parois du cylindre par l'injection de l'eau froide.

Quelle sera la quantité d'eau qui sera nécessaire pour déterminer la condensation de la vapeur? Cette quantité est variable, elle dépend de la température de l'eau qu'on emploie. Dans l'hiver, par exemple, on peut avoir de l'eau à la glace, et vous concevez alors qu'il en faudra moins pour abaisser la température de la vapeur que lorsque la température de l'eau sera à 18 ou 20°, qui est la température moyenne de l'eau pendant l'été.

Vous vous rappelez que l'eau pour se réduire en vapeur absorbe une quantité de calorique latent qui est égale à 591°, et que la vapeur qui a absorbé 531° peut, en se réduisant en liquide, donner de l'eau à 100° ; et, par conséquent, pour fournir de l'eau à zéro, il faudra que la vapeur abandonne 631°. D'après cela, il est facile de trouver quelle est la quantité d'eau qu'il faut injecter pour condenser un volume donné de vapeur. Si nous représentons, par exemple par p, le poids de la vapeur, cette vapeur contiendra une quantité de chaleur que nous exprimerons par p (631°) ; c'est là la chaleur qu'il faut détruire en la portant dans une masse d'eau qui soit à une température beaucoup plus basse.

On se propose ordinairement dans la condensation d'avoir cette condensation à tel degré. On dit, par exemple, je veux que l'eau de condensation soit à 30°, qu'elle soit à 40°, à 50°. En général, il faut prendre cette condensation à la température la plus basse possible, parce qu'alors on atténue de plus en plus la force élastique de la vapeur. Mais à tout cela il y a une limite, ce sera, par exemple, 30°. Ainsi, nous voulons que l'eau de condensation, c'est-à-dire, l'eau froide mêlée avec la vapeur ait une température de 30°. Nous demandons dans cette hypothèse quelle est la quantité d'eau froide qu'il faudra injecter. Représentant par T la température du mélange et par t la température de l'eau froide, nous aurions :

$$p\ (631°) = (p + x)\ (T - t)$$

D'où on tire pour la valeur de x, qui représente la quantité d'eau à injecter

Nous allons maintenant expliquer comment la vapeur passe tantôt en dessus et tantôt en dessous du piston, et comment, tandis que la vapeur s'accumule d'un côté du piston, la vapeur précédemment accumulée du côté opposé est soustraite par l'effet de la condensation.

CC est un cylindre droit vertical dans lequel joue le piston *P'*; un cylindre extérieur *C'C'*, ayant même axe que le cylindre *CC*, lui sert d'enveloppe : c'est entre ces deux cylindres que la vapeur arrive de la chaudière.

On voit en *T* ce qu'on appelle le *tiroir* : c'est un demi-cylindre vertical et creux, qui joue dans un emboîtement de même forme. Entre le tiroir et le cylindre extérieur ou enveloppe *C'C'*, est un vide par lequel s'effectue un passage alternatif de vapeur, que nous allons expliquer.

Dans la figure 5 et la figure 6, le tiroir est monté le plus haut possible; dans la figure 7, il est descendu le plus bas possible. Voici quel est le jeu de la vapeur pour ces deux positions.

Dans la position fig. 5 et 6, où le tiroir est le plus haut possible, la vapeur que fournit la chaudière passe de *S* entre le tiroir *T* et le cylindre *C'*, pour gagner le haut du cylindre *CC* par le conduit *u*; elle tend à faire descendre le piston. Dans cette position du tiroir, le bas du cylindre est en communication, par les ouvertures *v* et *v'*, avec le tuyau *v''*, fig. 5, qui mène au réfrigérant ou condenseur. Alors la vapeur introduite sous le piston se condense, et le piston descend.

Quand le piston arrive au bas de sa course, le tiroir remonte et prend la position qu'indique la fig. 7; la vapeur qui vient de la chaudière, et passe par *s*, descend en *v* sous le piston qu'elle tend à faire remonter. Au contraire, la vapeur accumulée sur le piston descend par *u* et le milieu *T* du tiroir jusqu'en *D''*, pour se rendre par *v'* dans le condenseur. Alors le piston remonte.

La fig. 5 nous fait connaître la manière dont la soupape *s* est plus ou moins ouverte.

Il faut dire, à présent, de quelle manière on fait alternativement monter et descendre le tiroir *T*. On place un excentrique *E*, fig. 5, sur l'axe *Y* du volant; un collier métallique, dans lequel peut tourner cet excentrique, est fixé au triangle *MNM*. Le sommet *N* de ce triangle est boulonné avec un levier coudé *NPQ*. *P* représente un axe fixe autour duquel ce levier tourne quand l'excentrique tourne avec le volant. L'excentrique fait tour à tour avancer et reculer le triangle *MNM*, ce qui donne un petit mouvement de va-et-

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON VINGT-NEUVIÈME.

(Samedi, 23 Février 1828.)

SUITE DE LA MACHINE A FEU.

Nous avons cherché à vous donner une idée générale de la machine à feu, je dis une idée générale, car il eût été impossible d'entrer dans tous les détails convenables, relatifs à la construction de cette machine, et relativement à ses effets et surtout relativement aux calculs de ces effets; objet qui appartient plus particulièrement à la mécanique et qui est exposé avec les plus grands détails par M. Clément, dans le cours qu'il fait chaque année au Conservatoire des arts et métiers.

Vous avez vu que l'agent des machines à feu est la vapeur, et que la puissance de cette vapeur s'exprime d'une manière très simple, puisqu'un volume donné de vapeur d'eau peut élever un pareil volume d'eau à la hauteur de $10^m 336$, ou à la hauteur d'environ 32 pieds. Vous avez vu ensuite que la machine à vapeur se réduit, pour ainsi dire, à un cylindre dans lequel glisse un piston, qu'on fait monter et descendre alternativement, tantôt en faisant arriver la vapeur en dessus du piston et en la condensant en dessous, tantôt en la faisant arriver en dessous et en la condensant en dessus; de sorte qu'il faut parvenir à faire arriver, d'une part la vapeur dans le cylindre, et de l'autre à la condenser. C'est ce qui se fait en établissant une communication entre le cylindre et une chaudière qui fournit de la vapeur indéfiniment, ce qu'il faut admettre, et en établissant une autre communication entre le cylindre et un réservoir appelé condenseur, où on entretient un vide, non pas parfait, mais à environ quatre cinquièmes. Ce vide se fait au moyen d'une pompe mise en jeu par la machine elle-même. Ce condenseur est maintenu à une basse température, au

sphères dans le premier cylindre, elle pourra se porter dans le cylindre latéral. De cette manière, après avoir produit un effet avec de la vapeur deux fois plus condensée, vous pouvez profiter de la moitié de cette vapeur pour produire un effet deux fois plus petit.

Telle est l'idée qu'il faut se former du plus grand effet que peuvent produire les machines à haute pression. On a, en général, deux cylindres; mais on peut ne se servir que d'un cylindre, en ayant l'attention de ne le remplir de vapeur que jusqu'à moitié, et alors la détente de la vapeur produit le reste, de sorte que par là l'effet se trouve augmenté. Voilà la cause pour laquelle on emploie maintenant les machines à haute pression, je ne dirai pas généralement, car le système simple de Watt est encore beaucoup employé en Angleterre.

Il y a quelques objections assez graves à faire contre les machines à haute pression : elles sont faciles à se déranger; il faut que les pistons soient parfaitement bien faits; ils s'usent plus vite; la vapeur étant très comprimée, pour peu qu'il y ait des vides entre le piston et le cylindre, il se perd des quantités de vapeur considérables; enfin, ces machines sont exposées à faire explosion, ce qui n'arrive que très rarement aux machines à simple pression, qui sont aussi sujettes à faire explosion, lorsqu'on en fait des machines à haute pression, en fermant la soupape, et en ne consommant pas la vapeur à mesure qu'elle se forme à la tension déterminée par la force de la machine.

Il y a un autre système de machines désigné par le nom de *système de Trévithick*, dans lequel on perd la vapeur au lieu de la condenser. L'emploi de cette machine est avantageux dans les circonstances où l'on n'a pas d'eau à sa disposition, et principalement pour les machines loco-motives, employées maintenant à toutes sortes d'usages, par exemple, pour mouvoir des bateaux, des navires, des voitures; non pas les voitures publiques, car je doute que les essais qu'on a faits relativement à ce genre de voitures puissent amener quelques résultats utiles; mais on peut employer avec succès la vapeur pour faire mouvoir des voitures sur des routes déterminées, comme d'une mine de charbon à une fabrique. On a alors une machine qui fait mouvoir un grand nombre de chariots. Dans de pareilles machines, on ne condense pas la vapeur, on la perd, et on a alors l'avantage d'avoir des machines auxquelles on peut donner peu de volume. Mais il faut nécessairement travailler sous une pression plus élevée qu'une atmosphère; car, comme la vapeur doit se

Les quantités d'eau qui peuvent être contenues dans l'atmosphère sont très inégales; ainsi nous avons :

à	0°	68 millimètres.
	10°	1,87
	20°	3,42
	30°	6,05

Ainsi, à 10° il y a deux fois plus d'eau qu'à zéro; à 20° il y en a trois fois et demi plus, et enfin à 30°, six fois plus.

Faisons bien attention à ces résultats dont nous tirerons quelques conséquences.

Ce n'est pas encore tout, et on peut se demander quelle est la quantité d'eau qui existe dans un volume déterminé d'air, par exemple, dans un mètre cube. Dans ce cas, les quantités d'eau seraient dans le même rapport que nous faisions remarquer tout à l'heure, et nous aurions :

à	0°	5gr	4
	10	9,	7
	20	17,	1
	30	29,	3

Si on considère l'air passant par les divers degrés d'humidité jusqu'au point où il est parfaitement sec, on désigne l'état de l'air par le nom d'*état hygrométrique*. Ainsi l'état hygrométrique de l'air comprend la quantité d'humidité qu'il peut renfermer, eu égard à la température qu'on considère. Je dis eu égard à la température, parce que ce n'est pas la quantité réelle d'eau qui se trouve dans l'air qui constitue son état hygrométrique, il faut toujours faire entrer en considération la température, et c'est le rapport de la quantité d'eau qu'il renferme, à celle que l'air peut renfermer quand il est complètement saturé, qui est précisément ce qu'on peut définir son état hygrométrique.

La vapeur qui existe dans l'air peut être déterminée de plusieurs manières. Nous pouvons, si l'air n'est pas saturé d'humidité, réduire l'espace et amener l'air à être saturé. Ainsi, je suppose que l'air ne contienne que la moitié de l'eau qu'il peut contenir. Si c'est, par exemple, un litre d'air, vous concevez qu'en réduisant ce litre à un demi-litre, sans changer la température, l'espace sera devenu saturé; car la quantité de vapeur est indépendante de la pression atmosphérique.

Si l'on avait un moyen facile de reconnaître quand l'air est saturé, nous aurions un moyen hygométrique parfait de déterminer la quantité d'humidité qui existe dans l'air; mais si

ce moyen paraît bien simple en théorie, en pratique, il ne peut nullement servir, parce que nous ne pouvons déterminer avec précision le moment où l'air est saturé ; parce que l'air contient si peu d'humidité, que lorsqu'on opère sur un litre, par exemple, la quantité d'eau qui se déposerait ne serait pas assez sensible pour que nous puissions saisir le moment de la saturation. Ce moyen ne vaut donc rien, et je ne l'ai indiqué que pour faire voir qu'on pourrait parvenir à rendre l'air complètement humide pour la réduction de l'espace.

Il y a d'autres moyens d'amener l'air à saturation, qui sont plus faciles ; c'est en abaissant la température de l'air. Si vous avez de l'air qui ne contient que la moitié de l'eau qu'il peut renfermer, et que vous abaissiez successivement sa température, comme il prendra de moins en moins d'eau pour être saturé, vous arriverez nécessairement à une température où l'air se trouvera saturé avec la quantité qu'il contient. Il suffira de connaître la température ; car la température étant connue, nous connaîtrons la force élastique correspondante, et, par conséquent, il sera facile de trouver la quantité de vapeur qui existait primitivement dans l'air.

Soit un vase, fig. 3, dont le fond supérieur est formé par un piston. Je suppose que ce vase soit rempli d'air à 20°. On refroidit successivement jusqu'à ce que l'air devienne tout-à-fait saturé. Nous dirons tout à l'heure comment on reconnaît le point de saturation. A mesure qu'on refroidit, le volume d'air diminue, et le piston descend d'une certaine quantité. La vapeur se contracte absolument de la même manière que l'air. Je suppose que l'air se trouve saturé lorsqu'on a refroidi à 10° ; puisque l'air est saturé, nous aurons une force élastique de la vapeur exprimée par 9,47, tandis qu'à la température de 20°, quand l'air est complètement saturé, la force élastique est égale à 17, 31.

Si l'opération est supposée faite dans l'air, c'est la même chose que lorsqu'on la fait dans un vase dont le fond est mobile afin que l'air conserve toujours la même force élastique, ainsi que la vapeur.

Quand on a ainsi trouvé la température à laquelle l'air se trouve saturé, on cherche la force élastique de la vapeur correspondante à cette température, et on divise cette force élastique par la force élastique de la vapeur à la température primitive ; le résultat de la division donne le degré, ou la quantité d'humidité contenue dans l'air à cette température primitive.

Si au lieu d'opérer dans un vase à fond mobile, pour que l'espace diminue quand la température baisse, on opérait dans un vase inextensible, et qu'on cherchât la température à laquelle il faudrait abaisser l'air renfermé dans ce vase pour qu'il fût saturé d'humidité, on trouverait un nombre différent de celui que nous avons trouvé ; il faudrait descendre au-dessous de 10°.

Voyons maintenant comme on parvient à déterminer le moment où l'air est saturé. Dans le cas où l'on opère à l'air, l'on a plus de facilité pour saisir ce moment que lorsqu'on opère dans un vase fermé ; parce que, dans ce second cas, comme dans celui où l'on cherche le point de saturation par la réduction de volume au moyen de la pression, on a l'inconvénient de n'opérer que sur un petit volume.

Ce moyen de trouver l'humidité de l'air par l'abaissement de température a été employé pour la première fois par Leroy, physicien français, à une époque déjà éloignée, et où l'on ne possédait pas encore les connaissances positives qu'on doit à Dalton sur les vapeurs. On ne pouvait, par conséquent, avoir que des instrumens fort grossiers. Cependant ces instrumens renfermaient le principe sur lequel sont construits les instrumens hygrométriques les plus parfaits.

Leroy prenait de l'eau pure dans laquelle il plongeait un thermomètre, et il la refroidissait avec diverses substances, telles que le sel ammoniac, le muriate de potasse, etc. Tant que l'air n'est pas saturé, il ne dépose pas d'humidité, lorsqu'on le refroidit ; mais une fois qu'il est saturé, et qu'on aura dépassé un tant soit peu le point de saturation, il faut que cette humidité se dépose sur les corps froids, de même que l'haleine qu'on dirige sur un corps froid y dépose une couche d'humidité et en trouble la transparence. Soit un vase rempli d'eau, qui est d'abord à la température ambiante et que nous refroidissons successivement jusqu'à ce que ce vase commence à se couvrir d'une couche d'humidité. L'air est, par exemple, à 16°, et au moment où l'eau se dépose sur le vase, le thermomètre plongé dans ce vase marque 12°. A la température de 16°, l'air, s'il était saturé, contiendrait une quantité d'eau exprimée par 13 millimètres 6. L'air saturé à 12° contient une quantité de vapeur exprimée par 10 millimètres 7. Cette quantité de vapeur est la même que celle qui existait dans l'air à 16°. Et comme la quantité de vapeur que devrait contenir l'air à 16°, s'il était saturé, serait de 13 millimètres 6, il en résulte que le degré d'humidité de l'air à 16° sera $\frac{10,7}{13,6}$

Leroy s'était contenté de dire qu'il fallait baisser la température de l'eau de tant de degrés pour que l'air fût saturé; c'était une connaissance assez vague qui ne permettait pas de connaître le rapport de la quantité d'eau qui se trouve dans l'air à celle que l'air contient quand il est complètement saturé.

Tel est le moyen hygrométrique, je pourrais dire le plus exact, le plus rationnel qu'on puisse présenter, parce qu'il est fondé sur les indications du thermomètre qui ne peut induire en erreur. Ce n'est que sur l'appréciation du moment où la vapeur commence à se déposer qu'il peut y avoir un peu d'incertitude. C'est ce procédé qu'employait Dalton.

M. Daniels est l'inventeur d'un petit appareil fort ingénieux, qui permet peut-être de saisir plus facilement le point où l'air est saturé. Cet instrument, fig. 4, se compose de deux boules : l'une a une surface noire et brillante, l'autre a une surface recouverte de papier ou d'un tissu de batiste. La boule noire est remplie d'éther, et on a fait le vide en faisant bouillir l'éther, dont la vapeur va sortir par l'autre boule, chassant devant elle tout l'air qui était dans l'appareil, et en fermant l'ouverture à la lampe, lorsque l'air est entièrement expulsé. La boule d'un petit thermomètre plonge dans l'éther. On refroidit la boule couverte de batiste en imprégnant cette enveloppe d'éther. L'évaporation de cet éther produit du froid dans la boule *b*; la vapeur de l'éther qui est dans la boule *B* vient, par conséquent, se condenser en *b* à mesure qu'elle se forme, et il y a production de froid dans la boule noire. L'éther étant très volatil, le froid peut aller, en partant de 30°, jusqu'à 0°. L'éther se refroidissant ainsi successivement, il arrivera un point où l'air qui le baigne se trouvera saturé d'humidité, et alors une couche très mince se déposera sur la boule noire, qui, de brillante qu'elle était, deviendra mate. Il faut saisir le moment précis où l'opacité commence, et comparer la température de l'éther, à ce moment, avec la température accusée par un autre thermomètre exposé à l'air libre, et qu'on adapte à ce petit appareil. On cherche sur la table les forces élastiques correspondantes, et il ne reste plus qu'à effectuer la division que nous avons indiquée pour connaître le degré d'humidité de l'air.

Il y a encore d'autres moyens de parvenir au même résultat. L'un de ces moyens consiste à absorber immédiatement l'humidité qui est dans l'air par des corps qui ont une grande affinité pour l'eau. Ainsi nous savons que le chlorure de calcium, l'acide sulfurique, ont la propriété d'absorber toute

l'humidité de l'air. Si nous supposons que l'on prenne un poids déterminé de chlorure de calcium contenu dans un tube, dont le poids soit également déterminé, et que l'on fasse passer dans ce tube un volume donné d'air, par exemple, un mètre cube, si cet air est à la température zéro, et qu'en passant sur le chlorure de calcium, il en ait augmenté le poids de 5 gr. 4, nous en conclurons que l'air était complètement saturé d'humidité; car 5 gr. 4 est le poids de la vapeur qui peut remplir un espace d'un mètre cube, à la température de zéro. Si le même volume d'air n'a augmenté le poids du chlorure que de 2 gr. 7, nous en conclurons que l'air ne contenait que la moitié de l'eau qu'il peut renfermer. En général le degré d'humidité de l'air sera déterminé par le rapport de la quantité d'humidité que vous trouverez à celui que contient l'air quand il est complètement saturé.

Ce procédé a l'inconvénient de n'être pas commode dans des voyages, à moins qu'on ait un instrument pour mesurer l'air. Ainsi il n'est pas nécessaire d'avoir une mesure d'un mètre cube, on peut parvenir à avoir le même volume d'air, au moyen d'un corps de pompe, tel que chaque coup de piston chasse un litre d'air. En faisant jouer le piston mille fois, vous aurez un mètre cube; et même, si l'on a une balance très sensible, on peut se dispenser d'aller aussi loin, parce que vous pourrez apprécier facilement des milligrammes.

Ces divers moyens exigent du temps et n'ont pas l'avantage de faire connaître de suite et par la simple observation, les résultats cherchés. Ils ne sont pas, par exemple, comme le baromètre et le thermomètre, sur lesquels il suffit de jeter les yeux pour connaître la pression ou la température.

Nous exposerons, dans la séance prochaine, l'*hygromètre*, qui donne immédiatement la quantité d'humidité contenue dans l'air.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON TRENTIÈME.

(Mardi, 26 Février 1828.)

HYGROMÈTRES.

Nous n'avons présenté dans la dernière séance que des méthodes d'observation relativement à l'hygrométrie; nous allons nous occuper aujourd'hui des divers instrumens qui peuvent indiquer à la simple inspection la quantité d'humidité qui est contenue dans l'air.

Pour cela il s'agit de rechercher parmi les diverses substances connues celles qui sont les plus propres pour indiquer la quantité d'humidité contenue dans l'air. Toutes les substances, sans aucune exception, prennent des quantités variables d'humidité en raison de leur affinité propre avec l'eau, et ces substances ont ce qu'on appelle un *état hygrométrique* particulier. Ainsi prenons pour exemple un morceau de bois, parce que c'est là où nous trouvons le phénomène le mieux marqué, et plaçons-le dans un air parfaitement humide, comme dans une cave dont les murs soient tout-à-fait mouillés. Ce morceau de bois prendra une certaine quantité d'humidité, ce qui se manifestera par le gonflement, par le travail du bois. Si maintenant l'air perd une portion de l'humidité qu'il contient, le même morceau de bois perdra aussi une certaine quantité de l'humidité qu'il avait prise; de manière qu'il s'établisse une espèce d'équilibre entre l'affinité du bois pour l'eau et en même temps, je ne dirai pas l'affinité de l'air pour l'eau, parce que nous n'en admettons pas, mais l'état hygrométrique propre de l'air. Enfin, si nous supposons que l'air soit complètement sec, le bois deviendra aussi complètement sec, mais il lui faudra, pour se dessécher, plus ou moins de temps, en raison du volume sur lequel on opère.

Ce qui a lieu pour le bois et le papier d'une manière très

marquée, a également lieu pour les substances de nature animale, telles que les membranes. Si l'on expose une lanière ou une vessie à l'humidité, ces substances vont s'en pénétrer et augmenter dans toutes les dimensions. Tout le monde sait que si l'on veut tendre parfaitement un morceau de peau, il suffit de la prendre humide, et de la fixer dans cet état à des points fixes; si ensuite on laisse sécher cette peau, elle se retire sur elle-même et se trouve tendue.

Ces effets hygrométriques, qui sont si évidens pour les substances végétales et animales, ont aussi lieu, mais à des degrés plus faibles, pour les substances minérales. Ainsi les poussières augmentent de poids lorsqu'elles sont exposées à un air humide, mais d'une manière moins sensible que les substances organiques dont nous venons de parler. Les pierres les plus dures s'imprègnent aussi d'humidité; mais comme ces substances sont compactes, l'effet hygrométrique se borne à la surface. Il en est de même pour tous les métaux et pour le verre. Un morceau de verre, placé dans de l'air saturé d'humidité, se couvre d'une couche d'humidité imperceptible à la vue, mais qu'on rend sensible au *moyen* de la balance, en pesant successivement une lame de verre dans un air sec et dans un air humide, et en ayant soin de faire toutes les corrections convenables, de ramener, par exemple, la pression barométrique à être la même.

En général, toutes les substances ont un état hygrométrique particulier, qui varie avec l'état hygrométrique de l'air dans lequel elles sont exposées.

Voyons parmi les substances qui sont ainsi sensibles à l'humidité, celle à laquelle nous devrons donner la préférence. Nous avons vu que les substances inorganiques ne se prêtent pas, au moins intérieurement, à absorber l'humidité; l'effet se borne à la surface, et il faudrait alors des balances d'une extrême sensibilité pour pouvoir apprécier la quantité d'humidité que ces substances absorbent. Ce motif nous engage à les rejeter.

Il reste les substances organiques, soit de nature végétale, soit de nature animale. Les substances animales, comme les membranes, s'allongent beaucoup par l'humidité; mais l'observation et même la simple réflexion nous feront bientôt reconnaître que ces substances ne peuvent servir.

L'hygromètre doit être formé avec une matière qui jouisse de l'inaltérabilité jusqu'à un très haut degré, dans un air parfaitement humide; or il y a bien peu de substances de nature animale qui soient sensibles à l'humidité, et qui en

quer que les substances composées de fibres parallèles, agglutinées les unes aux autres, quand on les expose à l'humidité, changent très peu dans le sens de la longueur; tandis que le changement qu'elles éprouvent dans le sens perpendiculaire aux fibres est très grand. Ainsi quand l'humidité pénètre le bois, elle se loge partout entre les milliers de fibres dont se compose un morceau de bois même assez petit, et les écarte; mais elle pénètre beaucoup moins dans les molécules ligneuses; de manière que l'allongement de la fibre est à peine sensible. C'est un fait général que les filamens s'allongent très peu. Ainsi on se sert quelquefois de cordes pour faire des instrumens hygrométriques grossiers. Ces cordes sont composées de divers filamens qui sont roulés; lorsque ces cordes s'imprègnent d'humidité, il n'y a pas d'allongement dans les fibres proprement dites; mais voilà ce qui arrive: la corde a été formée en tordant un certain nombre de fils, ce qui a exigé une certaine force. Si cette corde vient ensuite à être exposée à l'humidité, cette humidité se loge entre les fils, et augmente par conséquent le diamètre de la corde, et comme une corde plus grosse exige pour se tordre plus de force qu'une corde plus mince, il en résulte que si on suppose que la force qui l'avait tordue reste constante, plus le diamètre de la corde augmente par l'effet de l'humidité, plus cette corde doit se dérouler. Si ensuite l'air redevient sec, la corde se tord et revient à son premier état où même le dépasse, si elle est exposée à une humidité moindre que celle sous laquelle elle a été formée.

De ce qui vient d'être dit, il est naturel de conclure par analogie, que si le cheveu était une fibre, sa dilatation devrait être très peu de chose dans le sens de la longueur. Quoique le microscope le plus grossissant ne puisse pas faire apercevoir les élémens dont le cheveu est composé, il y a une expérience très simple qui semble donner quelque jour sur sa composition. Si l'on prend un cheveu et qu'on le fasse glisser entre les doigts, le cheveu ira toujours de la racine vers la pointe, de manière que la racine fuit et que c'est la pointe qui se rapproche des doigts: ce qui conduit à penser que le cheveu est composé d'une série de petits cônes. Un phénomène analogue a lieu pour un épi de blé.

Lors donc qu'on soumet un cheveu à l'action de l'humidité, l'humidité se loge dans tous ces petits cônes, les fait sortir, et produit par conséquent un certain allongement.

Après avoir jeté ce coup d'œil général sur les diverses substances et sur la manière dont elles se dilatent par l'action de

On se sert aussi de cet effet de l'humidité pénétrant les corps pour détacher les pierres meulières. On fait une rainure autour de la pierre qu'on veut enlever, et on enfonce dans cette rainure des coins de bois sec. Si l'on voulait détacher la pierre en faisant un effort considérable sur ces coins, on n'y parviendrait pas, le bois se briserait plutôt. Mais si l'on mouille ces coins de bois, ils se gonflent et exercent alors un effort assez grand pour soulever la pierre.

Venons maintenant à l'interprétation du langage de l'hygromètre. Vous avez vu que nous avions divisé l'espace intermédiaire entre les deux points extrêmes de l'hygromètre en cent parties égales. Lorsque l'instrument marque dix degrés, la quantité d'eau que contient l'air sera-t-elle moitié de celle qu'il contient, lorsque l'instrument marque vingt degrés; en un mot, quel rapport y aura-t-il entre les degrés hygrométriques et la quantité d'eau que l'air peut renfermer pour une température déterminée.

Je fais d'abord remarquer que je n'ai point parlé de la température, lorsque nous avons gradué notre instrument, et cela était inutile. En effet, les deux points extrêmes sont constans, que l'air soit à zéro, à 20°, ou à 30°.

Mais entre les points extrêmes, l'instrument ne se trouve plus d'accord, lorsque la température change. Supposons qu'il s'agisse de déterminer la marche de l'hygromètre pour une température donnée; par exemple de 10°. A 10°, nous savons que la force élastique de la vapeur est de 9 millimètres

475. Imaginez maintenant que l'on ait de l'air contenant seulement le quart, la moitié, les trois quarts, en un mot des quantités déterminées d'humidité, relativement à la quantité totale que l'air peut renfermer. Pour cela, on peut concevoir qu'on prenne de l'air très humide, et qu'on le mêle avec un pareil volume d'air parfaitement sec; il est évident qu'on aura une tension de la vapeur moitié de celle qui existe dans l'air complètement humide. Je plonge l'hygromètre dans l'air, contenant ainsi des quantités variables d'humidité, et je l'y laisse un temps suffisant pour qu'il puisse prendre l'état hygrométrique de l'air. Alors je note d'un côté l'état de l'hygromètre et de l'autre la quantité de vapeur contenue dans l'air, en la comparant à la quantité totale qui se trouve dans l'air saturé d'humidité.

Mais ce moyen n'est pas facile, et il faut avoir recours à un autre procédé aussi exact, mais beaucoup plus facile, qui est fondé sur ce principe que l'eau pure et l'eau mêlée avec une quantité de sel plus ou moins grande, ou avec du chlo-

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON TRENTE ET UNIÈME.

(Samedi, 1er Mars 1828.)

SUITE DES HYGROMÈTRES.

Nous avons indiqué comment on devait construire les hygromètres, et particulièrement l'hygromètre à cheveu. Nous avons montré aussi la manière de les graduer.

Il restait à déterminer le rapport qui existe entre les degrés de l'hygromètre et la quantité d'humidité contenue dans l'air; pour cela nous avons conçu que la température restant la même, on eût de l'air ou un espace saturé d'humidité, et ensuite contenant des quantités variables, mais connues d'humidité, comme la moitié, le quart, les trois quarts de l'humidité nécessaire pour la saturation complète. L'hygromètre placé dans cet espace s'arrête nécessairement, dans chaque cas particulier, à un point déterminé; de sorte qu'on a d'un côté, le degré de l'hygromètre, et de l'autre la quantité d'humidité correspondante. Cette manière d'expérimenter n'est pas facile, parce qu'il faudrait opérer sur des volumes un peu considérables, et que, même dans ce cas, la quantité d'humidité n'étant pas très grande, il pourrait en résulter des erreurs assez graves.

On parvient à résoudre la question, sous le point de vue dont nous venons de parler, en se servant de liquides qui donnent des vapeurs, mais qui ne donnent pas ces vapeurs au même degré de tension que l'eau pure. En général, plus une substance aura d'affinité pour l'eau, plus l'eau qui tiendra cette substance en dissolution aura une tension faible. Si, par exemple, nous prenons du sel marin et que nous en saturions de l'eau, ce dont on s'assure en ayant du sel en excès, alors la vapeur de l'eau n'aura plus une tension aussi forte que si l'eau était pure. En représentant par 100 la tension de la vapeur de l'eau pure, nous n'aurons pour la va-

Nous n'avons plus qu'à chercher dans la table le degré de l'hygromètre qui correspond à 17, nous trouverons que c'est 54.

Vous voyez par ces exemples qu'il sera toujours extrêmement facile de se rendre compte des variations de l'humidité de l'air, lorsqu'on fera varier la température. Toutes les fois qu'on prendra de l'air à une température plus ou moins saturée, pour le porter à une température plus élevée, l'hygromètre marchera au sec, et l'on pourra déterminer le degré de l'hygromètre et la quantité de vapeur, et réciproquement.

Si l'on prend de l'air à un certain degré de l'hygromètre et du thermomètre, et qu'on le refroidisse, il peut arriver deux cas : en le refroidissant, il est possible que l'air ne soit pas encore complètement saturé. Vous trouverez toujours ce degré de saturation, en cherchant la quantité réelle d'humidité, et comparant cette quantité à celle que l'air contient à la température où vous l'avez porté, quand il est complètement saturé.

Le second cas serait celui où l'air serait plus que saturé. Dans ce cas, tout l'excédant doit se précipiter. Si vous abaissez de l'air à 20° de température et dans lequel l'hygromètre marque 95°, si vous l'abaissez à 12°, il sera sur-saturé, et alors tout l'excédant de saturation se déposera et constituera un petit brouillard, et si l'effet a lieu sur une grande masse, il se produira de la pluie.

Saussure en mettant son hygromètre dans le vide avait remarqué un phénomène qui l'avait beaucoup frappé. Cependant vous allez voir que ce phénomène est fort simple, et que l'explication qu'on en donne est assez vraisemblable.

Si l'on prend de l'air saturé d'humidité, qu'on le mette sous le récipient de la machine pneumatique, et qu'on fasse le vide par huitièmes, comme l'avait fait Saussure, le premier huitième d'air que vous enlevez, devrait, ce semble, emporter avec lui un huitième d'humidité, il n'en resterait plus que $\frac{7}{8}$. Un second huitième d'air devrait entraîner un second huitième d'humidité, ainsi de suite; de manière qu'en faisant le vide complet, on devrait amener l'hygromètre au sec. Mais il n'en est pas ainsi, et Saussure, lorsqu'il fit l'expérience, trouva que l'hygromètre marquait 97. En général l'hygromètre ne prend jamais le nombre 100, parce que les cheveux, une fois qu'on est à 99, sont un peu rétrogrades, et se tiennent à 2 ou 3 degrés au-dessous de l'état hygrométrique.

Pour vous faire voir une application extrêmement intéressante de cette déperdition de l'eau occasionnée par l'air qui traverse les poumons, nous supposerons la température moyenne de 10°. A cette température, un homme absorbe par jour à peu près 18,750 litres d'air, qui entre à 10° et sort ensuite à 37°. Par conséquent, au lieu de 18,750 litres, il doit sortir, puisque l'air est échauffé, une quantité plus grande. En effet, le volume de l'air qui sort est égal à 20,178 litres. Voilà le résultat d'une expérience. Vous concevez néanmoins que ce résultat peut varier suivant les individus et suivant une foule de circonstances. Supposons que l'air soit entré à 72° de l'hygromètre, ce qui indique que l'air contient justement la moitié de l'humidité qu'il peut renfermer; sachant qu'il entre 18,750 litres d'air à la température de 10° et à la moitié de la saturation, il est facile d'en déduire la quantité d'eau qui est entrée. On trouvera, en faisant les calculs nécessaires, 91 grammes 43. L'air sort ensuite à 37°, et il est saturé. Connaissant le volume d'air, on trouve qu'il emporte une quantité d'eau égale à 869 gr. 15. La différence est 777, 72. Par conséquent l'air que l'homme respire lui enlève par jour 777 gr. 72, c'est-à-dire un litre et demi d'eau, ce qui est une quantité fort considérable.

Si l'air était à zéro au lieu d'être à 10°, la quantité d'eau perdue par la respiration serait plus grande; elle pourrait aller jusqu'à un litre trois-quarts.

Ainsi vous voyez combien une fonction très importante de l'économie animale se trouve modifiée par la présence de l'air. Il était bon de vous montrer comment on pouvait déterminer cette quantité d'eau portée hors du corps de l'homme par l'air qui a servi à la respiration. Quand cette eau n'est pas entraînée par l'air, ce qui arrive dans les temps chauds où l'air est humide et a une température qui se rapproche de celle de 37°, il faut nécessairement que cette eau s'échappe par d'autres voies.

DÉLIQUESCENCE.

Les phénomènes hygrométriques dont nous venons de parler reçoivent un assez grand nombre d'applications. J'en citerai une qui mérite de fixer votre attention; c'est celle que présente le phénomène relatif à ce qu'on appelle la *déliquescence* des corps, et principalement des sels. On entend par déliquescence la propriété qu'ont certains corps d'absorber l'humidité, et de tomber, comme on dit, en *deliquium*, de

Ainsi, sans faire attention aux températures, je vois qu'à 87° l'air contiendra $\frac{73}{100}$ d'humidité, et qu'à 100° il en contient $\frac{100}{100}$. Par conséquent le sel enlèvera la différence de 100 à 73, c'est-à-dire $\frac{27}{100}$. Dans ce cas il sera déliquescent, parce que, pour être déliquescent, il suffit qu'il puisse absorber de l'humidité; et non-seulement il sera déliquescent à 100°, mais il le sera dans tous les degrés compris entre 87 et 100. Car il pourra toujours absorber la différence entre le degré d'humidité donné et celui qu'il donne lui-même. Seulement, quand l'air sera plus humide, il tombera plus vite en déliquium. Le sel ne sera plus déliquescent à 87°, parce que 87° correspond justement au degré de vapeur que lui-même peut donner. A plus forte raison il ne sera pas déliquescent au-dessous de 87°.

Cet exemple suffit pour vous faire voir quel est le véritable point, ou plutôt quelle est la limite de la déliquescence pour chaque corps. Pour connaître cette limite, il suffit de chercher le degré marqué pour l'hygromètre dans un air en contact avec une dissolution du corps, ou, ce qui est la même chose, de chercher la tension de la vapeur fournie par *le corps*: car, de la tension, on conclut les degrés de l'hygromètre, comme des degrés de l'hygromètre on conclut la tension.

Vous voyez combien est simple la théorie de la déliquescence, et combien il est facile de voir dans quelles circonstances un corps est déliquescent et dans quelles circonstances il ne l'est pas.

Cette théorie trouve une application dans les salines où l'on gradue le sel d'une manière plus économique, par le moyen de la chaleur naturelle et de l'air. Pour cela, on fait porter l'eau à une certaine hauteur, et on la fait ensuite tomber sur des branchages. L'air passant au travers des branches mouillées qui lui présentent une grande surface, se sature et emporte une portion de l'humidité, et ce qui reste se trouve de plus en plus concentré, c'est là ce qu'on appelle *graduer*. Il ne faut pas aller jusqu'au point de saturation de l'air, de manière que l'hygromètre marque 87°; parce que l'air qui est à ce degré ne gradue plus; et même si l'hygromètre allait au-dessus de 87°, s'il allait, par exemple, à 90°, il en résulterait que l'eau, au lieu de se concentrer, se délayerait. C'est ainsi que pour beaucoup de phénomènes, on croirait dessécher, lorsqu'il y aurait, au contraire, fixation d'humidité.

Connaissant que tel ou tel sel devient déliquescent à tel ou tel degré de l'hygromètre, on a un moyen facile de faire un hygromètre; c'est d'avoir plusieurs sels, d'en mettre de pe-

Il suffit de prendre l'instrument qu'on appelle aujourd'hui briquet pneumatique, et qui n'est autre chose qu'un cylindre parfaitement calibré, que parcourt un piston qui doit joindre parfaitement les parois; car s'il s'échappait de l'air entre le piston et le cylindre, le phénomène n'aurait pas lieu. En poussant le piston avec promptitude, l'air est comprimé, et il se produit une chaleur énorme dont je donnerai la limite dans un autre moment. Je ne veux établir que le fait général, et je me bornerai à vous dire qu'avec un pareil instrument on parvient facilement à enflammer un morceau d'amadou qui, pour brûler, exige une chaleur de plus de 300°; et cependant le tube étant très petit, il se perd beaucoup de chaleur par les parois.

Ainsi, nous pourrons admettre en principe général que les corps, en diminuant de volume, abandonnent une certaine quantité de chaleur variable pour chacun d'eux.

Le frottement produit aussi beaucoup de chaleur. On peut s'en assurer en faisant tourner rapidement un morceau de bois contre un autre morceau. On parvient, sinon à les enflammer, du moins à les faire fumer. C'est le procédé du sauvage qui fait du feu avec beaucoup d'adresse en frottant deux morceaux de bois l'un contre l'autre.

On pourrait être tenté d'assimiler en quelque sorte le frottement à la compression; mais ce serait une erreur, et je dis qu'on doit regarder le frottement comme produisant de la chaleur, indépendamment de la diminution de volume. Il est facile de le démontrer par l'expérience.

En faisant jouer un piston qui entre juste dans un cylindre, le cylindre s'échauffe, et ce n'est pas à la compression qu'est due la chaleur produite; car s'il y avait compression, le piston ou le corps de pompe finirait par s'user, et puisque la chaleur ne serait due qu'à la compreesion, dès qu'il n'y aurait plus compression, il n'y aurait plus de chaleur. Or vous répéteriez mille fois l'expérience, que le cylindre s'échaufferait toujours. Cette expérience qui s'applique à toutes les questions analogues, prouve donc que par le frottement, on met un fluide particulier dans un état vibratoire qui produit de la chaleur.

Puisque les corps produisent de la chaleur quand ils diminuent de volume, ils doivent, quand ils reviennent à leur état primitif, absorber la chaleur qu'ils ont donnée; car ils doivent se retrouver dans les mêmes circonstances. D'où nous concluons qu'un corps, en se dilatant, doit produire un

peut se faire qu'avec un large baromètre *B*, fig. 3, dans lequel on fait le vide au moyen de la machine pneumatique, qui communique avec le tube par un tuyau *t*. Le baromètre plonge par sa partie inférieure dans une cuvette mobile, et dans la partie supérieure du baromètre est placé un thermomètre à air *T*, très sensible et avec lequel on peut garantir un millième de degré. Pour monter le mercure et comprimer le vide, on soulève la cuvette, et en élevant le niveau inférieur on élève aussi le niveau supérieur. Pour dilater le vide, on baisse la cuvette et les deux niveaux baissent en même temps. En faisant ainsi varier le vide, le thermomètre à air ne bouge pas; et comme il est très sensible, nous pouvons en conclure avec assurance, que le vide ne produit point de chaleur lorsqu'on le comprime, et ne produit point de froid lorsqu'on le dilate.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON TRENTE-DEUXIÈME.

(Mardi, 4 Mars 1828.)

SUITE DES SOURCES DE LA CHALEUR ET DU FROID.

Nous avons vu, dans la dernière séance, que lorsqu'un corps éprouvait une dilatation ou une compression, il absorbait ou dégageait de la chaleur.

Il est bon de remarquer que le phénomène de la variation de température liée à la variation de volume est analogue à ce que nous avons vu dans les changemens d'état des corps. Lorsque, par exemple, de l'eau passe à l'état de fluide élastique, elle prend un volume 1700 fois plus grand. Dans ce cas, elle absorbe une quantite de calorique telle, qu'elle pourrait élever de 531°, un pareil poids d'eau, pris à la température de 100°. Réciproquement cette eau en devenant liquide, c'est-à-dire, en diminuant de volume, dégage toute la chaleur qu'elle avait absorbée pourpasser à l'état de fluide élastique. Ce phénomène est tout-à-fait analogue à celui d'un corps qui ne change pas d'état, mais qui diminue de volume par la compression.

Nous allons chercher quelle est l'intensité du froid ou de la chaleur obtenus dans des circonstances déterminées de compression ou de dilatation. Les thermomètres que l'on placerait dans un volume donné d'air n'indiqueraient que des variations extrêmement faibles, et vous en concevez la raison. Si nous opérions sous le récipient de la machine pneumatique avec quelques litres d'air, la variation de température produite dans l'air, en la supposant même assez grande, ne se ferait sentir que faiblement sur un thermomètre à mercure dont la boule pourrait peser 5 à 6 grammes. Pour rendre l'effet sensible, il faut employer des instrumens très délicats. Le thermomètre à spirale de Bréguet dont nous avons parlé, est très propre à indiquer de faibles variations de chaleur.

Il est un autre procédé auquel nous pouvons avoir recours. Je suppose que l'on refroidisse une masse d'air en retranchant subitement d'un espace déterminé la moitié de l'air qu'il renferme. S'il n'y avait pas de refroidissement, la masse d'air qui reste supporterait une pression égale à celle que supportait l'autre portion. Je suppose que l'on fasse ainsi la raréfaction, et qu'on observe quelle est la tension de l'air au moment où la raréfaction est produite, et ensuite au bout d'un certain temps lorsque la masse d'air s'est réchauffée en prenant du calorique aux corps environnans, on parviendra à connaître le froid auquel l'air a été soumis, par la différence entre la pression qui a lieu lorsque le froid est à son *maximum*, et la pression produite lorsque l'air s'est réchauffé. C'est ainsi que par des expériences trop compliquées pour être décrites, on a formé des tables dans lesquelles on a d'un côté la dilatation ou la compression, et de l'autre le froid et la chaleur correspondans. Je citerai seulement quelques résultats.

Je suppose qu'on prenne de l'air à la pression de 76 centimètres et à la température de 0° du thermomètre à mercure ou 267 de thermomètre à air. Si l'on réduit l'air à la moitié de son volume, c'est-à-dire, à une pression qui ne sera plus que 38, et que l'on consulte la table, on verra que le froid correspondant à 38 centimètres ou plutôt à 36, 8, car la table ne marche pas précisément par demi-atmosphère, on verra, dis-je, que le froid correspondant à 36, 8 est de 50° au-dessous de zéro. Si l'on réduit la pression à 19, 8, à peu près le quart de la pression ordinaire, on aura un froid de 85°. Enfin à une pression de 12 millimètres, on aurait un froid de 185°. On a ainsi une série de températures de plus en plus basses, qui n'ont, pour ainsi dire, pas de limites, parce que nous n'admettons pas qu'on puisse parvenir à avoir un espace qui serait absolument privé de calorique.

Vous concevez, d'après ce froid considérable produit par la raréfaction de l'air, comment on peut former de la glace en comprimant de l'air dans un récipient, et en lui donnant ensuite une libre issue dans l'atmosphère. La glace qui se dépose sur une plaque de verre que l'on présente à l'air qui sort par l'orifice du récipient, n'est point le résultat de l'expansion de l'air au moment où il s'échappe de l'atmosphère. Cette glace était déjà formée dans l'intérieur du vase. Et si nous avions pu voir dans ce vase, nous y eussions aperçu ces flocons de neige qui ont été entraînés par l'air, et sont venus par leur réunion sur la plaque de verre, former sur cette plaque un mamelon de glace. On peut rendre ce résultat très sensible en

faisant le vide dans un récipient transparent. Ainsi, lorsqu'on prend un récipient plein d'air, qu'on l'applique sur le plateau de la machine pneumatique, et qu'on fait le vide, on voit toujours, au premier coup de piston, se former un petit nuage. Ce nuage est le résultat de la précipitation de l'eau par le froid produit au moyen de la dilatation de l'air. Ce nuage se dissipe aussitôt parce que l'air reprend de la chaleur aux corps environnans. Il y a déjà long-temps que vous avez pu remarquer ce phénomène; mais je ne vous en ai pas donné l'explication, parce que ce n'était pas encore le lieu d'en parler.

Si la raréfaction était plus forte, ce qu'on obtiendrait en donnant au corps de pompe une capacité beaucoup plus grande, nous verrions se former de la glace au premier coup de piston. Mais comme nous n'enlevons en général qu'un douzième de l'air, et que pendant ce temps le calorique de tous les corps environnans abonde, on ne peut produire un froid aussi considérable.

Le phénomène n'a lieu que lorsqu'on opère sur de l'air ou sur un gaz qui renferme une vapeur. Si l'air était parfaitement sec, il ne s'y formerait pas de nuage et sa transparence ne serait pas troublée.

Il y a une expérience sur la cause du froid produit par la raréfaction, qui laisse beaucoup à desirer. Sans entrer dans des explications qui ne pourraient être complètes, je me bornerai à citer des faits bien positifs.

Je suppose que l'on ait, fig. 1, un espace allongé *E*, portant un tube de verre *T*, d'un assez gros diamètre, et ayant à son extrémité *a* un trou très petit, de manière qu'on puisse maintenir le vide en partie dans l'intérieur du vase. Un thermomètre est placé précisément vis-à-vis la petite ouverture *a*; d'autres thermomètres peuvent être placés à côté. Ce vase communique par le tube *t* avec le récipient d'une machine pneumatique. Vous concevez très bien qu'à mesure qu'on fera le vide dans le vase *E*, l'air extérieur pénètrera par la petite ouverture *a*, et le vide se fera, ou à moitié ou au quart, suivant que l'ouverture sera plus ou moins petite; en général le vide que l'on pourra faire dépendra du diamètre de l'ouverture *a*.

Nous venons de voir que lorsqu'on dilate l'air, il y a production du froid. Lorsqu'on fait le vide dans le vase *E*, il entre continuellement par la petite ouverture de l'air sous la pression d'une atmosphère. Aussitôt que cet air a franchi la petite ouverture, il se trouve dans un espace où la pression est moindre, il se dilate nécessairement, et il devrait y avoir

autres rayons : nous ne porterons notre attention que sur les rayons de calorique.

En raison de l'excentricité de l'orbe solaire, la distance du soleil à la terre est variable ; mais relativement à la grande distance qui nous sépare du soleil, on peut regarder cette distance comme étant la même pour tous les points du globe terrestre. Par conséquent on doit concevoir qu'un faisceau composé de rayons de calorique, conserve à toutes les époques de l'année la même intensité. Si donc l'on reçoit ces rayons sur une surface perpendiculaire aux rayons, on aura sur cette surface le *maximum* d'intensité qui peut être produit par le faisceau de calorique, en supposant le ciel dans toute sa pureté, afin que les rayons lumineux et les rayons calorifiques ne soient point interceptés ; car lorsqu'il y a des nuages, des vapeurs vésiculaires, les rayons sont arrêtés, et la température est moindre.

Vous concevez très bien que si l'on fait varier l'inclinaison de la surface, on aura une surface qui recevra sur un plus grand nombre de points les rayons de calorique dont le nombre est resté le même. Si la surface inclinée est 2, 3, 10 fois plus grande que la surface perpendiculaire, l'intensité en chaque point sera 2, 3, 10 fois plus petite, de manière que l'obliquité des rayons, sur une surface déterminée, fait qu'il tombe, sur la surface prise pour unité, beaucoup moins de rayons de calorique, et que par conséquent cette surface sera beaucoup moins échauffée. L'inclinaison de la surface croît en raison inverse du cosinus de l'angle que cette surface fait avec les rayons de calorique, et l'intensité du calorique est toujours en raison inverse de l'étendue de la surface. Par conséquent l'intensité des rayons de calorique qui viennent frapper une surface, est proportionnelle au cosinus de l'angle que les rayons de calorique font avec cette même surface. Cette intensité est à son *maximum* lorsque le cosinus est zéro, elle va en diminuant à mesure que le cosinus va en augmentant. Cette circonstance se présente pour nous depuis le lever jusqu'au coucher du soleil. Quand le soleil paraît sur l'horizon, un faisceau lumineux est coupé par une surface très oblique, et la chaleur est fort peu de chose ; mais à mesure que le soleil s'élève, la surface coupée devient de plus en plus perpendiculaire aux rayons, et l'intensité augmente, de manière que l'intensité est à son *maximum* si la surface est tout-à-fait perpendiculaire aux rayons ; cas qui se présente habituellement sous l'équateur, et que nous pouvons produire en cherchant une surface qui se présente per-

La température étant variable avec les mois, les jours, les heures et même les instans, vous concevez que ce qu'on entend par température d'un lieu, est non point la température prise dans un instant déterminé, mais une température qui donnerait une idée de toutes les températures qui ont eu lieu pendant tous les instans d'une année. C'est cette température qu'on désigne par le nom de *température moyenne*.

Pour s'en former une idée, il faut concevoir qu'on observe, par exemple, d'heure en heure, un thermomètre placé dans un lieu convenable. Il serait inutile de l'observer de quart-d'heure en quart-d'heure. Comme il n'y a jamais de saut brusque d'une heure à l'autre, les résultats pris toutes les heures sont suffisans pour déterminer la courbe que suit la température. Ainsi, concevons qu'on ait divisé le jour en vingt-quatre heures, et qu'à chaque heure on observe le thermomètre, vous aurez 24 résultats; en divisant la somme de ces résultats par 24, vous aurez un résultat moyen qui vous donnera la température moyenne du jour. Supposant que vous avez opéré pendant tous les jours du mois, vous ferez la somme de tous les résultats moyens de chaque jour, et vous diviserez cette somme par 30; ce qui vous donnera la température moyenne du mois. Si vous faites pareille chose tous les mois, vous aurez 12 résultats moyens à la fin de l'année. En divisant leur somme par 12, vous aurez la température moyenne de l'année. C'est cette température moyenne de l'année qui nous donne une idée de la quantité moyenne de chaleur qui est versée par le soleil sur la surface de la terre. Cette quantité de chaleur est telle qu'elle maintiendrait le thermomètre, par exemple à Paris, à une température constante de 10°: c'est-à-dire que nous n'aurions ni de grandes chaleurs ni de grands froids. Les grands froids sont compensés par les grandes chaleurs.

Le thermomètre dont on se sert pour prendre les températures moyennes ne doit pas être placé au soleil, parce que les rayons de calorique se fixent dans le verre et en élèvent la température. Deux thermomètres placés, l'un au soleil, l'autre à l'ombre, ne s'accordent nullement. Le thermomètre qui doit donner la température du lieu doit donc être abrité du soleil et placé à l'ombre.

La position plus ou moins élevée du thermomètre n'est pas non plus indifférente. En général, le thermomètre doit être placé à deux mètres au-dessus du sol.

Étant donnée la température du lieu, il ne faut pas croire cependant que nous ayons là tout ce qui est nécessaire pour

ger à une profondeur plus ou moins grande, l'intensité distribuée sur une plus grande masse serait beaucoup plus petite.

Concevez une couche qui s'échauffe à 30° par l'action de la chaleur. Concevez maintenant que le sol soit tellement perméable qu'une masse double puisse être échauffée. Il en résultera nécessairement que cette masse sera moins échauffée. C'est ce qui se rencontre pour l'eau. L'eau étant perméable aux rayons lumineux et aux rayons de calorique qui accompagnent les rayons lumineux, il en résulte, si vous considérez une masse d'eau étendue, comme un lac, une mer, que les rayons de calorique échauffent la surface, mais de très peu, parce qu'ils vont au-dessous, de manière que tout leur effet se produit dans une masse qui peut avoir dix mètres de profondeur. Par conséquent la chaleur étant distribuée dans une masse aussi considérable, doit être très peu sensible. C'est là une circonstance extrêmement importante qui influe beaucoup sur la nature du climat. Ainsi quand le pays est de nature terreuse, alors le calorique s'arrête à la surface et, par conséquent, acquiert une grande intensité; tandis que, lorsqu'au lieu d'être solide, la surface est liquide, l'effet se propage à une profondeur considérable et l'intensité du calorique à la surface est très peu sensible. C'est ce qui a fait distinguer, et cette distinction a été faite par Newton, les climats en climat continental et en climat insulaire.

Pour bien se représenter la chose, il faut concevoir une île extrêmement petite, placée au milieu de l'Océan, et un point à la même latitude sur le continent. Sur le continent vous aurez pendant le jour une élévation de température considérable, et pendant la nuit un très grand refroidissement. Pour l'île placée au milieu de l'Océan, vous n'aurez ni beaucoup de chaleur le jour, ni beaucoup de froid la nuit. Vous concevez que ces deux lieux pourront avoir une température moyenne égale. Cependant, dans l'un rien ne pourra venir, si c'est dans un pays très septentrional; dans l'autre au contraire la végétation pourra se développer; ainsi il est extrêmement important de faire attention à la nature du sol sur lequel les observations sont faites.

Ce n'est pas tout encore. La position de l'endroit où se font les observations, relativement à son élévation au-dessus du niveau de la mer, a aussi une très grande influence sur le climat.

En effet, en supposant l'atmosphère parfaitement tran-

quille, la température de l'air va en diminuant depuis la surface de la terre jusqu'aux plus grandes hauteurs auxquelles on se soit élevé. Cette variation de température est très rapide; on peut établir qu'en général, pour 200 mètres de hauteur, on a un abaissement de température de un degré. Ainsi en supposant la température, à la surface de la terre, de 10°, en s'élevant à 200 mètres, la température ne serait plus que de 9°; en s'élevant à 2000 mètres on trouverait une température de 0°. La température décroît suivant une progression arithmétique.

M. de Humboldt, qui s'est beaucoup occupé de ce genre d'observations, a trouvé qu'à une élévation de 191 mètres correspondait un abaissement d'un degré. Il faut remarquer que toute montagne n'est pas propre à fournir des résultats bien précis. Il faut des montagnes isolées. Quand ces montagnes font plateau, la chaleur de la montagne est influencée par celle du plateau. Ainsi la meilleure méthode pour faire ces observations serait de les faire en ballon; mais alors on n'en peut faire que très peu.

Saussure a trouvé 195 pour la hauteur, qui amenait un abaissement d'un degré. Dans un voyage aérostatique, on a trouvé 187 mètres 4. Ce résultat, qui ne s'éloigne pas beaucoup des précédens, mérite une certaine confiance, en raison des circonstances dans lesquelles l'observation a été faite.

Ces résultats sont, en général, indépendans des saisons, à moins que des causes perturbatrices, comme les vents, ne viennent intervertir la loi.

La cause du froid qui règne ainsi dans les hautes régions de l'atmosphère peut se concevoir assez aisément. Quand l'air est transparent, les rayons du soleil arrivent à la surface de la terre sans une perte très considérable, et l'atmosphère est très peu échauffée par les rayons qui la traversent. C'est donc à la surface que l'échauffement a lieu. Il y a par conséquent une couche d'air qui devient très chaude; cet air devient plus léger, et s'élève en formant un courant d'autant plus rapide qu'il y a plus de différence entre l'air échauffé et l'air environnant qui est froid. C'est un phénomène facile à remarquer en rase campagne. Sur une terre exposée aux rayons d'un soleil ardent, on voit une espèce d'ondulatoin continuelle produite par ce mélange d'air chaud et d'air froid. De ce mélange résulte nécessairement une diminution dans la température; il est évident que les dernières couches ne doivent pas être aussi échauffées que les premières.

moitié, vous aurez la température moyenne du jour. Les tables météorologiques qu'on fait à l'Observatoire, portent principalement sur les températures *minima* et *maxima*, et c'est sur ces températures moyennes qu'on calcule les températures moyenne du jour, des mois et de l'année.

Indépendamment de cette manière d'obtenir la température moyenne, on peut se borner à prendre, à une époque quelconque, la température de l'eau des puits qui n'auraient pas une très grande profondeur. La température varie beaucoup à la surface de la terre, mais à une profondeur de dix mètres, elle ne varie pas d'une manière sensible.

Ainsi la température de l'eau d'un puits de 10 à 12 mètres, donner a la température moyenne du lieu. L'eau des sources peut également servir à donner la température moyenne. Cependant on peut tomber dans de graves erreurs, parce qu'une source peut provenir de très grandes profondeurs ou descendre de lieux élevés. Dans le premier cas, en réglant la température moyenne du lieu sur la température de la source, on serait au-dessus de la vérité, et dans le second cas on serait au-dessous.

Je terminerai cette séance par une remarque fort importante : c'est que la température va en augmentant à mesure qu'on descend dans la terre. Ce résultat a été constaté par des expériences faites depuis peu de temps, dans des mines, dans des lieux profonds qui pouvaient avoir jusqu'à 400 mètres de profondeur. Dans les mines on obtient des résultats très variables; parce que les mines étant habitées par des ouvriers, la respiration des hommes, la chaleur développée par les bougies, peuvent avoir une influence sur la véritable température. De plus, suivant la nature des mines, il y a des fermentations qui développent aussi de la chaleur. On évite quelques-unes de ces causes d'erreur en opérant dans des mines abandonnées.

La meilleure méthode qu'on puisse suivre pour avoir la température des lieux profonds, est celle des *puits artésiens*, ainsi appelés parce qu'on les pratique principalement dans l'Artois. Ces puits se font au moyen d'une sonde qu'on enfonce graduellement à des profondeurs plus ou moins grandes. Lorsque la sonde rencontre une source, l'eau s'élève jusqu'à la surface du sol. On a remarqué que les sources ont une température d'autant plus élevée qu'elles viennent d'un lieu plus profond. Enfin, le résultat de toutes observations qu'on a faites à conduit à admettre que 33 mètres de profondeur donnent

une augmentation d'un degré de température. Mais ce n'est là qu'une manière simple de se représenter le phénomène ; car la loi n'est pas encore déterminée d'une manière exacte. Cette température élevée qui existe dans les profondeurs de la terre explique la cause des eaux thermales.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N. 4.

moyenne à la surface de la terre, peut être attribuée à la profondeur des caves au-dessous du sol.

Cette température croissante de l'intérieur de la terre doit être considérée comme étant aujourd'hui hors de doute. J'ai cité les observations faites sur les puits artésiens qui ne permettent aucune objection. L'augmentation de température suit une loi qui n'est pas déterminée, cela dépend beaucoup des localités; en général on compte une élévation de un degré pour une profondeur de 100 pieds.

Si cette température, qu'on doit regarder comme s'étendant dans toute la terre, puisque les observations ont été faites sur divers points, en Amérique et en Europe, suit la loi que nous venons d'indiquer, en descendant dans la terre, on arriverait bientôt à une température rouge : température plus que suffisante pour expliquer une foule de phénomènes naturels, et principalement les eaux thermales.

Pour concevoir comment les eaux peuvent s'échauffer dans l'intérieur de la terre et venir sortir ensuite à la surface, il faut simplement se représenter le mécanisme d'un syphon, fig. 1, se prolongeant à 500 et 600 mètres au-dessous de la suface de la terre. L'eau pénètre en *A* dans la longue branche du syphon, prend la température des couches qu'elle traverse, et remonte ensuite par la pression supérieure exercée dans la longue branche, et vient former une source d'eau chaude à la surface de la terre, en *B*. L'eau ne peut jaillir à une température au-dessus de 100°; nous en avons expliqué la raison en traitant de l'ébullition; mais l'eau dans l'intérieur de la terre, pouvant être soumise à une pression plus ou moins grande en raison de la profondeur où elle se trouve, elle peut prendre une température au-dessus de 100°, c'est le cas de la marmite de Papin : de sorte qu'il est possible qu'il y ait tel endroit où l'eau aurait une température suffisante pour agir sur le sol, et dissoudre même des parties qu'on ne peut dissoudre, sous la pression ordinaire de l'atmosphère.

Il est vrai qu'on pourrait aussi concevoir le phénomène des eaux thermales par des incendies souterrains, par des volcans qui auraient lieu dans l'intérieur de la terre. Et en effet, les eaux thermales se trouvant en général dans le voisinage des volcans, on a supposé long-temps que dans l'intérieur de la terre il y avait des masses en combustion, et que l'eau s'échauffait par le contact de ces masses. Mais comme les eaux thermales existent dans beaucoup d'endroits où il n'y a nulle apparence de phénomènes volcaniques, il est plus simple d'adopter l'explication que nous avons donnée.

température qui aille au moins à 9° au-dessus de zéro. Tant que le thermomètre n'est qu'à 7°, la rivière ne gèle pas.

Nous venons de parcourir les principaux phénomènes que présente la température à la surface de la terre et dans les mers. Nous allons maintenant dire deux mots du baromètre.

Un baromètre observé dans un lieu quelconque éprouve des variations continuelles dont nous parlerons plus tard. Nous ne voulons, en ce moment, que nous occuper de sa plus grande hauteur dans un lieu déterminé. D'abord, nous nous supposerons placés au niveau des mers, car si nous faisions nos observations à des hauteurs différentes au-dessus de ce niveau, nous n'aurions plus la véritable hauteur de notre atmosphère.

On a trouvé que sous le tropique, au niveau de la mer, le baromètre se tient à une hauteur moyenne de 28 pouces 1 ligne $\frac{8}{15}$, à la température de 25°, ce qui donne 0 mètre, 758589, en réduisant en mètres, et à la température de 0. Il est nécessaire de ramener la température à 0, car autrement, en raison de la dilatation du mercure par la chaleur, la hauteur du baromètre ne représenterait pas la véritable hauteur de l'atmosphère.

Sous la zone tempérée, et environ au 45e degré de latitude, la hauteur du baromètre est de 0 mètre, 76155.

Des observations faites à La Rochelle, portent cette hauteur de 0 mètre, 76269.

Ces résultats ne sont peut-être pas exacts à quelques dixièmes de millimètres, mais il existerait toujours une différence assez grande. Ainsi le baromètre se tient plus haut dans nos climats que sous l'équateur. Cela s'explique tout naturellement : sous l'équateur, l'atmosphère est plus échauffée qu'à notre latitude; si elle est plus échauffée, elle doit être plus élevée. Concevons, en effet, une température uniforme pour toute la terre; le baromètre marquerait partout le même degré. Concevons maintenant que sous l'équateur la température s'élève à 27 ou 28 degrés, la température augmentant, la colonne atmosphérique va s'allonger d'une certaine quantité; si la même température n'a pas lieu dans nos climats, il y aura nécessairement un déversement de la colonne plus élevée qui se trouve à l'équateur, et le baromètre supportera un poids plus considérable, et qui le serait davantage en raison de la température, si le passage de l'air de l'équateur vers les pôles ne se faisait insensiblement. En effet, l'air de l'équateur est retenu par celui des tropiques; celui des tropiques est retenu par celui de la zone tempérée, de

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON TRENTE-QUATRIÈME.

(Mardi, 11 Mars 1828.)

SUITE DE LA MÉTÉOROLOGIE.

Nous avons vu, dans la dernière séance, que la rosée était une précipitation d'eau due au refroidissement de la couche d'air en contact avec le sol, par le sol lui-même, et nous avons indiqué les circonstances nécessaires pour que le refroidissement puisse avoir lieu.

Les végétaux placés à la surface de la terre, comme l'herbe par exemple, participent nécessairement à ce refroidissement du sol par le rayonnement. Ils se refroidissent en effet considérablement, et leur température peut être abaissée de 8 degrés et quelquefois davantage au - dessous de la température du thermomètre qui serait placé à 3 pieds au-dessus du sol. Vous concevez, d'après cela, que certains végétaux qui ne peuvent pas résister à de grands froids, sont alors exposés à périr. La neige est précieuse en hiver pour les végétaux, parce que la neige, qui est un mauvais conducteur du calorique, et par conséquent laisse passer très difficilement le froid, empêche les végétaux d'éprouver ce froid considérable dû au rayonnement.

Les végétaux qui s'élèvent au-dessus de la surface du sol sont soumis à la même loi de refroidissement, et ils se couvrent aussi de rosée; mais le phénomène est beaucoup moins marqué, et vous allez en concevoir la raison. Les aspérités qui existent à la surface de la terre, s'opposent au libre mouvement de l'air et à son renouvellement sur la surface des corps. Le corps étant ainsi abrité, ne se réchauffe point par les couches d'air qui viennent le toucher, et le froid est alors très grand. Dans l'atmosphère, rien ne s'oppose à ce renouvellement de l'air, et dès lors le végétal se refroidit moins. Aussi, pour empêcher les vignes de se geler,

donne l'excédant d'eau, pour ne conserver que la quantité qui convient à sa température.

Nous n'avons que deux moyens de déterminer une sursaturation d'eau dans l'air : le premier, c'est de diminuer la température; le second, c'est de diminuer l'espace. Dans l'atmosphère, cette diminution de l'espace ne peut avoir lieu; nous ne pouvons donc employer que le premier moyen, celui qui consiste à diminuer la température. J'ai donc raison de dire que toutes les fois qu'il y aura précipitation d'eau, ce qui annoncera que l'air est sur-saturé, cela devra être attribué à une diminution de température amenée par une cause quelconque.

Le refroidissement peut avoir lieu de deux manières. Ainsi, une masse d'air peut se refroidir, surtout s'il y a déjà des nuages dans l'atmosphère, ou si cette masse d'air vient à passer sur un sol qui soit lui-même refroidi, ou toucher des montagnes élevées; et, dans ce cas, l'air refroidi peut donner lieu à des nuages qui se résolvent en pluie.

Le cas le plus fréquent est celui où deux couches d'air, l'une d'une certaine température, l'autre d'une température plus chaude ou plus froide, viennent à se mêler. De ce mélange résulte souvent de la pluie, ou, pour mieux dire, des nuages qui ensuite donnent de la pluie. Pour bien concevoir ce qui se passe dans cette circonstance, supposons que nous ayons de l'air à 25°, et qu'il soit saturé de vapeur; supposons que nous ayons d'un autre côté de l'air à 15°, qui soit également saturé de vapeur, et que nous mêlions ces deux airs à volume égal. La tension de l'eau qui existe dans l'air à 25°, exprimée en eau, est de 314 millimètres; à 15°, la tension de l'eau est égale à 174 millimètres; ce qui ferait un total de 488 millimètres. S'il y avait proportion entre la température et la quantité d'eau nécessaire pour la saturation, à la moyenne des températures, c'est-à-dire, à 20°, correspondrait la moyenne des tensions, c'est-à-dire 244 millimètres. Or, voyons quelle est la quantité d'humidité que l'air saturé renferme quand il est à 20°. Dans ce cas, il contient une quantité d'eau exprimée par 235 millimètres. Par conséquent, puisqu'à 20° il ne peut contenir que 235 millimètres, et que par le calcul nous trouvons qu'il en contiendrait 244, il faudra qu'il abandonne la différence de 244 à 235, c'est-à-dire, 9 millimètres.

Le refroidissement de l'air opéré d'une manière quelconque, produit nécessairement une abondance de pluie différente en raison du degré de température duquel on part. En général, si étant donné de l'air saturé d'humidité, échauffé

à diverses températures, vous concevez un refroidissement d'un égal nombre de degrés, vous aurez une quantité de pluie d'autant plus abondante que vous partirez d'une température plus élevée.

Ainsi supposons de l'air à 27°, température moyenne des tropiques; la force élastique correspondante de l'eau contenue dans l'air à 27° est exprimée en mercure par 25 millimètres 88. Supposons maintenant que l'air passe à 24°. La force élastique de la vapeur est alors exprimée par 21 millimètres, ce qui donne une différence de 4 millimètres 08. Ainsi dans ce cas, il y aura une quantité d'eau déposée, exprimée par 4 millimètres 08 de mercure en eau.

Supposons maintenant la température moyenne de nos climats, c'est-à-dire 10°, la force élastique correspondante à 10° est de 9 millimètres 475; supposons que la température descende à 7°, ce qui donne un refroidissement de 3° comme dans le premier cas. La force élastique correspondant à 7° est égale à 7 millimètres 871, la différence se trouve alors de 1 millimètre 604; tandis que pour abaissement d'un même nombre de degrés, nous avions dans le premier cas, 4 millimètres 08; ce qui montre que la quantité d'eau qui se précipite est différente en raison de la température initiale de laquelle on part.

Voilà ce qui explique d'une manière simple pourquoi en général, il pleut davantage, pour un même abaissement de température, sous l'équateur que sous la zone tempérée.

Dans nos climats, on remarque qu'il pleut beaucoup plus rarement dans la saison chaude que dans la saison froide; mais si l'on compare la quantité de pluie qni est tombée, on trouve qu'une heure de pluie dans le mois de juillet donne une quantité d'eau beaucoup plus considérable, que plusieurs jours de pluie dans le mois de novembre.

L'eau qui perd l'état de vapeur par le refroidissement ne se précipite pas immédiatement pour venir à la surface de la terre; elle forme ce qu'on appelle de *petites vésicules*, que nous avons déjà désignées, quand on les prend en masse, par le nom de *vapeur vésiculaire* : ce sont les amas de ces vésicules qui forment les nuages.

Ici se présente une question qui peut être considérée comme n'étant pas complètement résolue. Quelle est la nature de ces vésicules? Sont-elles creuses? sont-elles solides? On les regarde assez généralement comme étant creuses, et cela par plusieurs raisons; d'abord, c'est qu'elles ont un diamètre sensible qu'on peut évaluer à 7 millièmes, presque

emporté avec lui cette quantité de vésicules qui s'y trouvent suspendues.

Les nuages se tiennent en général à des hauteurs variables, qui ont cependant une certaine constance dans les différentes saisons. Ainsi les nuages, par les vents d'ouest très fréquens dans l'hiver, sont à une hauteur qui n'est pas très considérable, elle est généralement de 1200 à 1400 mètres. Dans l'été les nuages se tiennent à une hauteur plus considérable. Les nuages se tiennent en général entre 600 et 1200 toises. Il y en a cependant qui sont à des hauteurs plus considérables. Dans une ascension de 5,600 toises, j'ai vu au-dessus de ma tête des nuages qui me paraissaient aussi é[illegible]nés que si je me fusse trouvé à la surface de la terre. Mais [illegible] ne sont pas ces nuages qui nous donnent de la pluie.

Il y a une limite inférieure à la hauteur des nuages qui est déterminée par une cause très simple. Le soleil verse constamment sur la surface de la terre de la chaleur; et il en résulte un courant ascensionuel produit par l'air échauffé qui s'élève. Ce courant est visible en rase campagne par les ondulations qui ont lieu à la surface du sol. Vous pouvez d'ailleurs vous convaincre de son existence par une expérience bien simple; c'est en faisant des bulles de savon. Si vous les faites dans un appartement, où la température est uniforme, il n'y a pas de cause pour que ces bulles s'enlèvent. Il y aurait bien une cause qui pourrait les porter à s'élever, c'est que l'air intérieur des bulles se trouve saturé d'humidité, mais la légèreté que les bulles acquièrent sous ce rapport est plus que compensée par le poids de l'enveloppe aqueuse; et par conséquent les bulles sont nécessitées à descendre. Mais si vous faites ces bulles à l'extérieur de l'appartement, elles s'élèveront; parce que le soleil échauffant le sol, il s'établit un courant ascendant qui force les bulles à s'élever à une hauteur plus ou moins grande. Si c'était au lieu d'une grosse bulle, une vésicule infiniment petite, alors la force du courant la porterait beaucoup plus haut. On ne peut assimiler un nuage à une bulle de savon; d'ailleurs il y a des courans descendans en sens contraire pour compenser l'air qui monte; à moins qu'on ne conçoive, ce qui arrive très souvent, une masse d'air élevée en bloc, et laissant un vide en dessous, qui est aussitôt rempli par de l'air plus frais qui vient des parties adjacentes.

L'air, et c'est par là que je puis concevoir la limite à laquelle s'arrêtent les nuages, l'air à la surface du sol n'est jamais

saturé, et quand même il pleut, il ne l'est pas par la pluie qui tombe. En effet, en supposant qu'il tombe quelques millimètres d'eau, qu'est-ce que c'est que cela relativement à la masse de l'air. On peut donc dire, et d'ailleurs l'expérience l'a prouvé, que jamais l'air n'est saturé à la surface du sol. Les nuages ne peuvent commencer que là où l'air est saturé, car dans toute la limite du courant d'air chaud qui s'établit, l'air n'étant pas saturé, s'il y avait quelques vésicules, elles disparaîtraient.

Il y a ensuite plusieurs causes qui peuvent déterminer la suspension des nuages; je viens d'indiquer la principale, qui doit être nécessairement une différence de densité entre le nuage et l'air extérieur. Le nuage s'élèvera d'autant plus qu'il aura une densité plus faible.

Le nuage s'étant formé, vous avez une série de petites vésicules qui peuvent rester très long-temps sous forme de nuages, et elles n'amènent pas nécessairement de la pluie. Les nuages peuvent même disparaître, lorsque par exemple l'air vient à s'échauffer; mais le plus souvent ils se résolvent en pluie, et voici comment il faut concevoir le phénomène. De ces vésicules qui composent le nuage, il faut nécessairement qu'il y en ait quelques-unes qui soient assez pesantes pour ne pas rester à leur place. Lorsque ces vésicules, en tombant d'abord très lentement, rencontrent une autre vésicule qui serait restée tranquillement à sa place, leur affinité détermine leur réunion. Il en résulte une vésicule plus grosse; raison de plus pour qu'elle tombe, puisque les vésicules ne restent suspendues que parce qu'elles sont très divisées. Dès que le phénomène a commencé dans un endroit, il se propage dans toute la masse du nuage, et on a alors ce qu'on appelle la pluie.

On a remarqué que la quantité de pluie qui tombe à la surface de la terre est différente de celle qui tombe sur un lieu un peu plus élevé, mais de bien peu. Ainsi, on mesure à l'Observatoire l'eau qui tombe dans la cour et celle qui tombe sur une terrasse élevée à 28 mètres au-dessus du sol. On se sert pour cela d'un instrument appelé *imbromètre* ou *hydromètre*, vase à mesurer la pluie. Ce vase, fig. 1, est surmonté d'un entonnoir dont l'ouverture est bien déterminée. L'eau coule de cet entonnoir dans la capacité inférieure qui est cylindrique, et a un diamètre égal à celui de l'entonnoir. Une échelle adaptée à ce vase indique la hauteur de l'eau. On a trouvé, l'année dernière, qu'il était tombé sur la terrasse 50 centimètres d'eau, et que dans la cour, il en était tombé 58,

dans la plaine. On en conçoit facilement la raison. La neige qui tombe sur une montagne où le froid est très grand se conserve à l'état de neige, tandis que celle qui tombe à la surface de la terre rencontrant dans sa chute une température au-dessus de celle qui produit la congélation, doit se fondre et arriver sur le sol à l'état de pluie.

Je remarquerai à l'occasion de la neige, que sa formation paraît constamment liée, dans nos climats, à un changement de temps. Ainsi le vent du nord souffle, bientôt le temps s'adoucit et la neige tombe; la neige s'arrête, et le vent du nord reprend; dans ce cas, c'est l'indice d'un froid qui doit continuer.

Lorsque deux courans d'air viennent à se rencontrer, l'un des deux ne prend pas immédiatement la place de l'autre; il y a des espèces d'oscillations. Dans de pareilles circonstances on a vu jusqu'à quatre chutes de neige successives. En général, plusieurs chutes de neige dans les vingt-quatre heures annoncent que le phénomène est produit par la rencontre de deux courans.

On voit quelquefois l'hiver des neiges extrêmement abondantes qui sont produites par des mélanges d'un air froid avec un air chaud; de manière qu'il se forme des nuages orageux comme dans l'été. J'ai entendu très distinctement un coup de tonnerre dans une averse de neige tellement abondante que l'air en paraissait opaque.

La neige affecte diverses formes qui reviennent toutes à une forme élémentaire. C'est en général de petites aiguilles qui se réunissent en formant des angles de 60°. Elle a tantôt la forme d'une étoile, fig. 2, formée par six rayons sur lesquels sont implantés d'autres petits rayons faisant pareillement des angles de 60°. D'autres fois, la neige présente la forme d'un hexaèdre régulier, fig. 3, dont les angles portent quelquefois des rayons, fig. 4; en un mot rien n'est plus varié que les formes que nous offre la neige. Scoresby, dans son voyage vers le pôle, a décrit une infinité de formes.

On parle quelquefois de neige rouge. Ce qui donne cette couleur à la neige c'est une espèce de champignon qui croît même sur la neige, et qu'on a désigné par le nom de *nivalis uredo*.

Sous l'équateur, il ne tombe jamais de neige au niveau de la mer; mais sur les hautes montagnes comme sur le Chimboraço, qui a 2400 mètres de hauteur, il en tombe presque tous les jours. Dans nos climats la neige ne tombe que pendant trois mois dans la plaine, mais sur les Alpes, elle tombe pendant neuf mois de l'année. A notre latitude, la quantité

de neige comparée à celle de la glace, est à peu près d'un 20e ; celle-ci fond à la latitude de Saint-Petersbourg. Un pied de neige est réduit à un pouce d'eau.

Nous avons déjà vu que la neige en raison de sa propriété non conductrice de la chaleur, est très favorable à la végétation. Il y a, en effet, des plantes qui se développent aussitôt que la neige disparaît.

La neige qui tombe sur les montagnes ne disparaît pas toujours pendant la saison chaude, elle reste en raison de la hauteur où elle se trouve. Le soleil qui vient la frapper a bien la même intensité que dans la plaine, mais d'un autre côté, elles sont environnées d'un air très froid.

De là résultent les limites des neiges sur les hautes montagnes. La hauteur, où se maintiennent les neiges perpétuelles, est variable suivant les latitudes. Ainsi, sous l'équateur, d'après les observations de M. de Humboldt, la hauteur des neiges perpétuelles, à la température moyenne de 27°, est de 4800 mètres. Ces neiges vues de loin forment une ligne parfaitement horizontale. A la latitude de 45°, où la température moyenne est de 10 6, Saussure, dans ses nombreux voyages dans les Alpes, a trouvé une hauteur de 2550 mètres. A la latitude de 62°, où la température moyenne est de 4°, Buch a trouvé 1750 mètres. Enfin, à la latitude de 65°, où la température du sol est zéro, la hauteur des neiges perpétuelles ne descend pas à plus de 900 mètres; au Saint-Gothard où la température moyenne est 0°, la limite des neiges est encore à 600 mètres au-dessus du couvent. Par conséquent la limite des neiges est bien au-dessus de l'endroit où l'on a la température zéro.

Les neiges ne fondant pas sont entraînées, dans les saisons où il y a du dégel, dans les valiées où elles s'accumulent et forment ce qu'on appelle des *glaciers*, qui s'usent continuellement d'un côté tandis que de l'autre ils s'accroissent par les neiges qui tombent ou par celles qui se détachent des montagnes. Il y a de ces amas de glaces, dans les Alpes, qui ont une épaisseur de plus de 100 pieds. Ces masses ont un mouvement progressif dont Saussure a été témoin. Ce mouvement est attesté par des pierres énormes qui roulent des montagnes, entraînées par les masses de neige.

Ces glaciers à mesure qu'ils se fondent alimentent des sources abondantes.

Nous allons terminer par quelques observations sur les vents, ne pouvant nous flatter de donner à cet égard toutes les explications que mérite ce sujet qui est assez important.

Les vents sont de l'air en mouvement. Quelle est la cause de

dont la chaleur est la cause primitive. Il en résulte un vide partiel, l'équilibre est rompu dans les régions atmosphériques, et l'air se porte vers l'endroit où il y en a le moins. De là résulte un courant.

Malgré les observations nombreuses faites jusqu'à présent, on ne peut ni prévoir, ni annoncer les variations de temps dépendant des changemens de vents.

Parmi les vents, il y en a quelques-uns qui sont constans et réguliers, ce sont les vents alisés, qui règnent sous les tropiques jusqu'au 25e ou 30e degré. Ces vents se dirigent de l'est vers l'ouest. On les explique d'une manière simple, en disant que sous la zone torride l'air échauffé s'élève constamment et se déverse ensuite sur les parties adjacentes, de manière à former au haut de l'atmosphère un courant qui se dirige vers les pôles. Il ne peut s'établir un courant d'air sans que de l'autre air vienne remplacer celui qui s'en va. Il arrive donc des régions du nord, par rapport à l'équateur, un courant d'air inférieur. La terre a un mouvement de rotation en vertu duquel la vitesse est plus grande à l'*équateur qu'elle* ne l'est en tout autre point. Cette vitesse est nulle au pôle et croît ensuite comme le diamètre des parallèles. Il en résulte que l'air du nord, qui est entraîné vers l'équateur, aura une vitesse moindre à mesure qu'il passera d'une parallèle sous une parallèle plus grande ; et, arrivé à l'équateur, cet air aura une vitesse moindre que celle des points de la terre correspondans. On croira par conséquent sentir un vent d'est.

Je termine ce que nous avons à dire relativement aux vents par un fait qui a quelque intérêt. Il y a des caves, des souterrains qui sont plus froids que ne l'est le sol à l'extérieur, en prenant la température moyenne. Je citerai comme un des exemples les plus remarquables une butte de 200 à 300 pieds de hauteur. Cette butte située près de Rome, et formée par des poteries brisées est désignée par le nom de *Monte Testaccio*. Au bas se trouvent des caves dans lesquelles la température est beaucoup plus basse que la température moyenne de Rome qui est de 15°8. Il en résulte un courant qui pendant l'été se dirige de haut en bas, et dans l'hiver un courant en sens inverse qui se projette dans les caves. Il existe dans plusieurs endroits de ces caves, où il existe une température au-dessous de la température moyenne du sol dans lequel elles se trouvent.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N° 4.

phénomènes qui résulteront de cette affinité seront des phénomènes capillaires.

Nous allons passer en revue quelques-uns des principaux de ces phénomènes.

Nous venons de voir qu'en plongeant un morceau de verre dans de l'eau et en le retirant, des gouttes d'eau y restent attachées ; c'est là un phénomène capillaire.

Si on presse un sachet rempli de mercure et qu'on reçoive sur une plaque de verre les petits globules qui s'échappent à travers les pores du sachet, ils adhèrent au verre, et cette adhérence est de même nature que celle dont nous venons de parler.

Si on fait cette dernière expérience avec une feuille de carton, et qu'on présente ensuite aux globules qui sont sur ce carton un tube de verre, les globules se détachent du carton pour s'attacher au verre, de sorte que, comme d'ailleurs cela a lieu pour la plupart des phénomènes, il y a une différence dans l'intensité de cette force qui produit l'adhérence entre les corps.

Lorsqu'on met une goutte d'huile sur de l'eau, cette goutte ne conserve pas sa forme, elle s'étend sur toute la surface ; mais il n'y a pas de combinaison chimique, c'est-à-dire, que l'huile ne se confond pas intimement avec l'eau, ni l'eau avec l'huile. C'est là un phénomène capillaire.

En général, lorsqu'on prend deux corps hétérogènes ou de même nature, et qu'on les rapproche, ces deux corps peuvent adhérer ; ce phénomène d'adhésion est encore un phénomène capillaire.

Enfin lorsqu'on prend des tubes cylindriques, et qu'on les plonge dans l'eau, après en avoir préalablement mouillé l'intérieur, on voit l'eau s'élever à une hauteur plus ou moins grande, variable avec le diamètre du tube. Cette élévation de l'eau dans les tubes est, à proprement parler, ce qu'on a appelé dans l'origine un phénomène capillaire, et on donnait à ce phénomène l'épithète de capillaire, parce qu'il se manifestait d'une manière plus frappante dans des tubes dont la finesse se rapprochait de celle d'un cheveu. Mais ce phénomène n'est pas borné à des cylindres qui seraient d'un très petit diamètre ; il s'étend aux surfaces d'un corps quelconque. Ainsi, quand on plonge une lame de verre dans de l'eau et qu'on observe ce qui se passe, ou même quand on observe ce qui se passe dans un vasé en verre qui renferme ce liquide. on remarque que la surface plane vers le centre, s'élève ensuite à mesure qu'on se rapproche des parois. Cette éléva-

tion de l'eau au-dessus de son niveau vers les parois du vase qui la renferme est due à un phénomène capillaire ou à cette attraction qui produit de simples phénomènes d'adhérence, sans qu'il y ait changement de propriétés, changement de nature. Cette ascension de l'eau ne peut se concevoir que comme le résultat d'une action ou attraction entre le verre et l'eau ; de sorte que le verre attire d'abord les couches qui sont immédiatement en contact et détermine l'ascension d'un certain nombre de molécules. Mais au-delà de ces molécules, nous avons d'autres couches; et, comme l'affinité chimique dont nous avons parlé et dont nous avons énoncé la loi ne s'exerce qu'à des distances très petites, il en résulte que des couches qui ne sont pas immédiatement en contact avec le verre ne peuvent être soulevées par l'action du verre. Mais si nous divisons la masse liquide en une série de couches minces, la première sera élevée par le verre, la seconde par celle qui est adhérente au verre, la troisième par la seconde, ainsi de suite ; de manière que le phénomène a lieu alors entre les molécules du liquide lui-même. En général, nous définissons les phénomènes capillaires des phénomènes d'adhésion, d'affinité réciproque entre les molécules des corps, modifiés par la forme des surfaces qui sont en contact.

Les principaux phénomènes capillaires sont l'élévation et l'abaissement des liquides au-dessus ou au-dessous de leur niveau. Nous allons exposer comment on parvient à mesurer exactement cette élévation ou cet abaissement. Etant donné un tube que nous supposerons d'un diamètre assez étroit, car, sans cela, le phénomène dont nous parlons se bornerait à l'élévation, sur la paroi intérieure du tube, d'une quantité de liquide qui ne serait pas plus sensible que celle qui s'élève sur les parois des vases ; pour que le phénomène soit bien marqué, il ne faut pas que le tube ait plus d'un ou deux millimètres de diamètre intérieur ; étant, dis-je, donné un tube, on le plonge dans un liquide que l'on colore, pour qu'on puisse mieux apercevoir le phénomène ; on remarque que le liquide s'élève dans ce tube au-dessus de son niveau. Plus le diamètre du tube est petit, plus l'élévation du liquide est grande. On a même découvert à cet égard une loi qu'on peut vérifier facilement par l'expérience, et que la théorie est parvenue à démontrer, savoir, que l'élévation d'un liquide dans des tubes de même nature, comme le verre, est en raison inverse des diamètres, c'est-à-dire que si l'eau, dans un tube d'un millimètre de diamètre intérieur, s'élevait à la hauteur de 30 millimètres, ce qui est vrai, dans un tube qui aurait

un dixième de millimètre, la hauteur de l'eau serait dix fois plus grande, c'est-à-dire qu'elle serait de 3oo millimètres; si le tube n'avait qu'un centième de millimètre, l'eau s'élèverait à 3,ooo millimètres, ou à 3 mètres.

Relativement à la mesure de l'élévation ou de la dépression du liquide dans les tubes, voici comment il faut procéder. Il faut prendre un tube dont le diamètre soit connu ; on le détermine avec une grande précision en le remplissant de mercure, ou dans la totalité de sa longueur, ou entre deux points dont on connaît parfaitement la distance. On pèse ensuite la quantité de mercure, que l'on peut réduire facilement en eau, en multipliant le poids du mercure par 13, 6. Connaissant le poids du mercure, on en déduit le volume ; on a, de plus, la hauteur du tube. De ces deux données il est facile de conclure la base et le rayon du tube. On détermine ainsi le diamètre des tubes d'une manière beaucoup plus précise qu'en prenant le diamètre des bases. Dans ce cas, on serait exposé à commettre de graves erreurs, attendu qu'il n'existe pas de tubes parfaitement cylindriques, tandis que, par *la méthode* que nous avons indiquée, on obtient la moyenne, en quelque sorte, puisque l'on suppose le tube cylindrique dans toute l'étendue qu'on considère.

Cela posé, et avant d'indiquer comment on peut déterminer avec précision la hauteur du liquide, je dois vous faire remarquer que les phénomènes capillaires, c'est-à-dire l'élévation de l'eau dans les tubes, pourraient ne pas avoir lieu, si l'on n'avait préalablement la précaution de nettoyer le tube en y passant des dissolutions alcalines, ou bien de l'alcool. Si le tube n'était pas propre et qu'il fût un peu gras, au lieu d'y avoir une élévation, il pourrait même arriver qu'il y eût dépression. Lors même que le tube serait propre, si l'on s'en servait pour la première fois, qu'il n'eût pas été humecté, l'ascension qu'on obtiendrait serait peu sensible, et même il pourrait y avoir dépression ; tandis qu'en ayant la précaution de mouiller le tube, ce qui se fait en l'enfonçant dans le liquide et en le retirant ensuite, l'eau se maintiendra constamment à la même hauteur.

Il s'agit maintenant de mesurer cette hauteur. A cet effet, on se sert d'une petite lunette qui peut monter ou descendre le long d'une règle parfaitement divisée. On détermine, au moyen de cette lunette, le point de la règle correspondant à la surface de la petite colonne soulevée et le point correspondant à la surface du liquide dans le grand réservoir. Il y a une attention à avoir pour avoir ce dernier point : comme le liquide

un acide et un alcali, qu'on les suspende à de très longs fils pour leur donner une grande mobilité, quelque petite que soit la distance qui les sépare, tant qu'il n'y aura pas contact entre les deux corps, il n'y aura pas action, et les deux boules ne seront pas poussées l'une vers l'autre.

L'analyse s'est emparée de ce genre de phénomènes, les a soumis au calcul, et est parvenue à déterminer d'avance les plus légères circonstances, les plus légères modifications auxquelles ils pouvaient se prêter.

Cette théorie de la capillarité due à M. Laplace, et qu'on peut regarder comme prouvée aujourd'hui, est entièrement fondée sur la supposition que l'attraction moléculaire ne s'exerce qu'à des distances infiniment petites ou, pour mieux dire, à des distances imperceptibles. Tous les calculs fondés sur cette supposition se trouvent parfaitement vérifiés par le résultat des expériences les plus délicates. Or, puisque la théorie fondée sur cette supposition embrasse *tous les phénomènes*, il faut que la supposition sur laquelle cette théorie est fondée soit exacte. Réciproquement cette théorie donne un très grand appui à cette loi admise en chimie que les actions ne s'exercent qu'à de très petites distances.

Puisque c'est réellement l'attraction moléculaire qui est cause des phénomènes capillaires, il faut chercher à se rendre raison de cette attraction. Représentons-nous une masse liquide. Bien que les molécules jouissent d'une très grande mobilité, il y a entre ces molécules une adhérence, une attraction réciproque, incomparablement plus grande que la pesanteur à la surface de la terre. C'est ce que démontre évidemment le seul fait de la suspension d'une goutte d'eau à un tube de verre. En effet, si vous regardez comme incontestable que l'attraction moléculaire ne s'étend qu'à des distances infiniment petites, vous reconnaîtrez que l'extrémité de la goutte qui est suspendue, étant trop loin du verre pour en être attirée, est suspendue par l'action moléculaire. En supposant la goutte divisée en deux parties, la partie inférieure se trouve soutenue par l'action moléculaire, contre la pesanteur. Par conséquent cette force moléculaire est prépondérante, et, si vous concevez la goutte divisée en une infinité de couches, vous reconnaîtrez que la pesanteur est infiniment plus petite que l'attraction qui soutient la somme de toutes ces couches, et les tient suspendues au verre.

Dans une masse liquide, les molécules sont attirées réciproquement. Examinons les molécules qui sont dans la partie supérieure, celles qui forment la surface. Ces molécules sont

pression qui, si rien ne s'opposait à l'effet de cette pression, mettrait les molécules en mouvement ; mais comme tout est égal de part et d'autre, le liquide restera parfaitement en équilibre dans le canal.

Au lieu d'une masse terminée par une surface plane, examinons ce qui aurait lieu si elle était terminée par une surface concave ou convexe. Nous sommes obligés de nous livrer à l'examen de ce qui arriverait dans ces diverses circonstances ; parce que vous allez voir que tous les phénomènes capillaires se réduisent à l'observation des formes de la surface du liquide en contact avec le corps. C'est par la considération de ces surfaces que l'on explique tous les phénomènes qui peuvent se présenter. Il faut par conséquent nous faire une idée nette du phénomène à cet égard.

Supposons que nous ayons dans une masse d'eau, fig. 2, un canal qui se termine d'un côté à la surface du liquide par une surface plane, tandis que de l'autre côté, par une cause quelconque, le liquide, au lieu de se terminer par une surface plane, se termine par une surface convexe ; dans ce cas, il ne pourra plus y avoir équilibre dans les deux branches du canal, et le liquide devra s'abaisser d'une certaine quantité dans le canal, jusqu'à ce que la différence de pression compense précisément l'action du *ménisque* ; c'est par ce nom qu'on désigne la surface convexe de la colonne soulevée.

Si au contraire le liquide, par une cause quelconque, est terminé par une surface concave, fig. 3, il ne peut plus également y avoir équilibre entre la surface plane et la surface concave, qu'autant que le liquide s'élève à une hauteur telle que l'élévation de la colonne d'eau fasse équilibre à l'action du ménisque.

Ainsi nous avons trois cas qui peuvent se représenter dans les phénomènes capillaires. Si la surface reste parfaitement plane, il en résulte une action qui tend à porter toutes les molécules du haut vers le bas. Ensuite, si la surface est convexe, il en résulte une action plus grande que si la surface était plane ; et si la surface est concave, il en résulte une action moindre, précisément d'une quantité égale à ce *dont* l'action est trop grande dans l'autre cas.

Qu'est-ce qui produit ces surfaces différentes dont nous venons de parler ? Si l'on considère les forces qui agissent dans ces circonstances, on voit qu'il y a l'attraction des molécules du liquide, et ensuite l'attraction du verre ou du corps solide pour le liquide. Ainsi lorsqu'on met une lame de verre dans de l'eau, il y a l'adhérence de l'eau pour elle-même, et

l'adhérence de l'eau pour le verre. Il peut se présenter plusieurs cas. Ou l'attraction du verre pour l'eau est égale à la moitié de l'attraction de l'eau pour elle-même ; dans ce cas, il n'y aura ni abaissement, ni élévation ; l'eau restera parfaitement de niveau : ou bien l'attraction du verre pour l'eau est plus grande que la demi-attraction du liquide pour lui-même ; dès lors la surface est concave, et il y a élévation du liquide : ou enfin, l'attraction du verre pour l'eau est plus petite que la moitié de l'attraction de l'eau pour elle-même, et alors la surface du liquide est convexe, et il y a abaissement de ce liquide au-dessous du niveau.

Il s'agit de savoir maintenant quelle sera la forme des courbures. M. Laplace a démontré que l'action d'un corps terminé par une surface courbe sur un canal infiniment étroit, se composait de trois termes : le premier qui est plus grand que les deux autres exprime l'action d'un corps supposé terminé par une surface plane. Le second terme est une fraction qui a pour numérateur une constante dépendant de la nature du corps, c'est-à-dire de l'intensité de la force, et pour dénominateur le plus petit rayon de courbure. Le troisième terme est une autre fraction qui a son numérateur égal au numérateur du second terme, et qui, au lieu d'avoir pour dénominateur le plus petit rayon de courbure, a, au contraire, le plus grand : ce sont les second et troisième termes seuls qui produisent les phénomènes capillaires.

Si nous prenons des tubes cylindriques, comme cas le plus simple, nous remarquerons que puisque l'action qui a lieu ne s'étend qu'à une distance infiniment petite, il est évident que dans un canal très large ou très étroit, la surface du liquide ira rencontrer les parois du tube sous le même angle. La courbure ne dépend uniquement que du rapport des forces d'attraction du verre pour l'eau, et de l'eau pour elle-même.

Si l'on prend deux plans séparés par des fils métalliques d'un diamètre connu, et qu'on les plonge dans un liquide, on trouve que le liquide ne s'élève qu'à la moitié de la hauteur à laquelle il s'élèverait dans un tube qui aurait pour diamètre la distance entre les deux points.

Si l'on prend deux tubes concentriques, en faisant monter le liquide dans l'espace qui les sépare, l'élévation aura lieu comme entre deux plans ; de sorte que le liquide s'élèvera à une hauteur moitié de celle à laquelle il s'élèverait dans un tube qui aurait pour diamètre la distance entre les deux tubes.

Si l'on prenait deux plans qui se réunissent en formant un

angle, le liquide ne s'élèverait pas partout à la même hauteur; ce serait en effet le même cas que si l'on avait une série de tubes dont le diamètre irait croissant; or nous avons vu que l'élévation est en raison inverse des diamètres. Si on exécute en effet l'expérience avec deux plans disposés comme dans la fig. 4, le liquide en s'élevant entre ces deux plans, formera une courbe qui sera une véritable parabole.

Depuis long-temps on avait fait des expériences d'un très grand intérêt, qui paraissaient ne pas s'accorder avec ce que l'on savait alors sur les phénomènes capillaires, mais qui se trouvent parfaitement expliquées par la théorie dont je viens de parler. Voici en quoi consiste l'une de ces expériences: Supposez un tube large et un tube étroit communiquant l'un avec l'autre; si l'on verse du liquide dans le premier tube, ce liquide s'élève dans le tube étroit à une hauteur moindre que dans le large tube. Cette hauteur dépend du diamètre des tubes, suivant la loi que nous avons indiquée. Si l'on continue à verser du liquide, la différence de hauteur du liquide dans les deux tubes disparaît, et il *finit par être* de niveau lorsque le petit tube se trouve rempli. Cela paraît d'abord offrir une contradiction, mais si l'on remarque ce qui s'est passé, on verra que la surface de la petite colonne qui était concave, est devenue plane. Or nous avons vu que quand un canal est terminé à la surface du liquide par deux surfaces planes, il y a équilibre, et les deux surfaces sont de niveau. Enfin si l'on continue à verser du liquide, il s'élève dans le large tube, au-dessus du niveau du petit tube, précisément d'une quantité égale à celle qui existait primitivement. Si on examine ce qui s'est passé dans cette dernière circonstance, on verra que la surface du liquide dans le petit tube n'est pas restée plane, qu'elle est devenue convexe.

Ces résultats, extrêmement curieux, font voir clairement que le phénomène s'explique uniquement par la considération de la nature de la surface.

D'après cela, si l'on prend un syphon formé par une branche large et terminé par un tube capillaire, fig. 5, en plongeant la large branche du syphon dans un vase rempli d'eau, de manière qu'il y eût une différence de niveau assez grande, on pourrait croire qu'il y aurait, dans ce cas, écoulement du liquide. Il sera très possible que l'écoulement n'ait pas lieu; il suffira, pour cela, que le liquide renfermé dans la petite branche du syphon soit terminé par une surface convexe. Par conséquent, si, dans le syphon, la différence de niveau ne

surpasse pas le double de l'élévation du liquide dans le tube étroit, il n'y aura pas écoulement.

On explique encore par là ce phénomène qui consiste en ce que, si l'on renferme dans un tube conique, fig. 6, un peu de liquide terminé par deux surfaces concaves, ce liquide monte contre l'action de la pesanteur. Cela vient de ce que l'action du ménisque qui a le petit diamètre exerce une plus grande action que le ménisque qui a un diamètre plus grand. On peut, en inclinant le tube, trouver une position d'équilibre, parce qu'on parvient à compenser par la pesanteur l'action du ménisque.

Le mercure, au lieu de s'élever dans les tubes, se déprime, en suivant toujours la même loi, c'est-à-dire que, plus les diamètres seront petits, plus les dépressions seront grandes. On peut également avec le mercure faire l'expérience que nous avons faite pour l'eau, en nous servant de deux tubes, l'un large, l'autre étroit, communiquant ensemble, et faire en sorte que le mercure, au lieu d'être déprimé dans le petit tube, s'élève au contraire au-dessus du niveau du large tube. Il suffit, pour cela, d'incliner l'appareil de manière que le mercure s'élève d'une certaine quantité dans le petit tube, et ensuite de le faire descendre tout doucement. C'est cet effet qui se produit dans le baromètre, et qui oblige à le frapper un peu toutes les fois qu'on veut le consulter.

Les phénomènes capillaires ne se bornent pas à ceux que nous avons considérés. Si l'on prend deux plaques de verre ou d'une substance quelconque, et qu'on les plonge dans l'eau, l'eau s'élèvera suivant la loi que nous avons citée. Dans ce cas, il y aura entre les deux plaques une attraction en vertu de laquelle elles tendent à se rapprocher, attraction qui croîtra en raison inverse du carré de la distance entre les deux plans. C'est en effet ce qui arrive lorsqu'on prend deux plaques de verre bien polies, qu'on mouille légèrement, et qu'on applique l'une contre l'autre. Elles adhèrent avec une force extrêmement grande, et il est difficile de les séparer, pourvu qu'on les tire également, et qu'on ne soulève pas l'une en laissant l'autre.

Dans le cas où il y a dépression dans les tubes, comme cela a lieu pour le mercure, il y a également attraction.

Ainsi, soit qu'il y ait ascension, soit qu'il y ait dépression, les deux plans tendront à se rapprocher. De même, s'il s'agit de tubes, les parois de ces tubes tendront aussi à se rapprocher.

Si l'un des plans est mouillé tandis que l'autre ne l'est pas,

c'est-à-dire s'il y a ascension d'un côté et dépression de l'autre, dans ce cas, au lieu d'y avoir attraction entre les deux plans, il y aura répulsion.

Cela nous conduit à expliquer ce qui arrive lorsqu'on met sur l'eau des corps dont les uns sont mouillés, et dont les autres ne le sont pas. Si, par exemple, on place sur l'eau deux boules de liége qu'on a préalablement mouillées, ces deux boules, placées à une distance qui ne soit pas trop grande, tendent à se rapprocher, et finissent en effet par se réunir et ne plus se séparer. De même, lorsque ces corps ne se trouvent pas trop éloignés du bord du vase, ils s'en rapprochent et finissent par toucher les parois qu'ils ne quittent plus. C'est un phénomène que vous pouvez avoir remarqué à l'égard des grosses bulles qui se forment sur l'eau. Ces bulles finissent presque toujours par se réunir sur les bords.

Si nous prenons des corps gras qui ne soient pas mouillés, c'est le cas du mercure; dans ce second cas, il y a encore attraction. Mais si l'on prend deux corps dont l'un soit susceptible d'être mouillé, c'est-à-dire que l'eau s'élève autour de ce corps, et dont l'autre ne se mouille pas, c'est-à-dire qu'il y ait dépression au-dessous de ce corps, dans ce cas, ces corps rapprochés l'un de l'autre vont se fuir.

Ces attractions et ces répulsions, qui ont lieu sur l'eau, s'expliquent par les mêmes principes que les attractions et les répulsions qui ont lieu entre deux plaques.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N° 4.

COURS DE PHYSIQUE.

LEÇON TRENTE-SIXIÈME.

(Mardi, 18 Mars 1828.)

SUITE DES PHÉNOMÈNES CAPILLAIRES.

Nous avons défini les phénomènes capillaires des phénomènes d'adhésion modifiés par la forme des surfaces en contact. Vous avez vu que dans tous les phénomènes capillaires, et particulièrement dans ceux où un liquide s'élève ou s'abaisse au-dessous de son niveau, ou reste stationnaire, la surface devient, dans le premier cas, concave, dans le second cas, convexe; et enfin, dans le troisième cas, le liquide conserve sa surface plane.

Vous avez vu ensuite que la forme de la surface qui termine le liquide dépend des forces attractives qui déterminent ce genre de phénomènes. Vous avez vu que, lorsque l'attraction du corps solide sur le liquide est égale à la moitié de l'attraction réciproque des molécules entre elles, le liquide conserve son niveau; que, lorsque l'attraction du solide pour le liquide est plus grande que la moitié de l'attraction réciproque des molécules du liquide, il y a élévation; et qu'enfin, lorsque l'attraction du solide pour le liquide est plus petite que la moitié de l'attraction des molécules liquides entre elles, il y a dépression.

Nous sommes entrés dans le développement de ces divers principes, et nous avons examiné quelques-uns des principaux phénomènes capillaires.

Il nous reste encore à examiner quelques-uns de ces phénomènes.

Nous avons exposé dans le temps le principe d'Archimède, et nous avons dit que lorsqu'un corps est plongé entièrement dans un liquide, il y perd une portion de son poids égale au poids du volume liquide qu'il déplace. Ce principe énoncé

ainsi, toutes les fois que le corps est complètement immergé, ne souffre pas d'exceptions. Nous avons dit aussi que lorsque le corps n'était pas complètement immergé, le poids de la portion du liquide déplacé par le corps était égal au poids total du corps. Les phénomènes capillaires nous obligent de modifier cet énoncé. Car si l'on suppose un corps mouillé par un liquide, par exemple une boule de liége, dans ce cas, il y a élévation du liquide qui forme autour de la boule une espèce d'anneau, fig. 1. Le poids de cette zone liquide ainsi soulevée s'ajoute au poids propre du corps auquel elle est suspendue et adhérente par l'attraction exercée par ce corps. Il en résulte évidemment que le corps doit alors s'enfoncer davantage, et déplacer par conséquent un poids de liquide plus grand que son propre poids.

Ce n'est que lorsqu'il n'y a ni élévation, ni dépression autour du corps, fig. 2, que le poids du liquide déplacé est rigoureusement égal au poids total du corps.

Si le corps n'est pas mouillé, si, par exemple, on met sur un liquide une boule de liége qui aura été vernie, dans ce cas le liquide se déprime tout autour, fig. 3, et au lieu d'y avoir augmentation de poids, il y a diminution. En effet, comme il y a un vide tout autour du corps, il faut nécessairement que le poids du liquide qui manque soit compensé par la légèreté spécifique du corps. Par conséquent, le corps doit sortir de l'eau d'une quantité précisément égale au poids du volume d'eau qui remplirait le vide autour de la boule.

Ce résultat nous conduit à concevoir comment il se fait que des corps qui ont une densité sept à huit fois plus grande que l'eau, peuvent cependant rester suspendus sur ce liquide. C'est ainsi qu'on peut placer sur l'eau, sans qu'elle s'y enfonce, une aiguille d'acier, d'argent, d'or même, substance qui est extrêmement pesante. La suspension de cette aiguille s'explique précisément par les principes dont nous venons de parler. Dans le cas où l'on place ainsi sur l'eau une aiguille de métal, si l'on observe ce qui se passe, on remarque une dépression autour de cette aiguille, comme il y en a une autour d'une balle de liége vernie. Comment se fait-il que l'eau se courbe ainsi autour de l'aiguille ? C'est que l'aiguille n'est pas mouillée, soit parce qu'elle est recouverte d'un corps gras, soit parce qu'il y a une couche d'air adhérente qui empêche le contact. Dans ce cas, l'aiguille devient plus légère de tout le poids de l'eau qui serait contenue dans le vide qui se trouve de chaque côté.

Cette expérience est facile à faire ; il ne s'agit que de poser

l'aiguille très doucement; car la plus légère secousse suffit pour la faire sombrer.

Ce phénomène nous explique les irrégularités que présentent quelquefois les aréomètres. Vous savez que les aréomètres sont des instrumens destinés en général à donner les densités des liquides dans lesquels on les plonge. On pourrait commettre des erreurs très graves avec les aréomètres, si l'on n'était prévenu d'une cause d'erreur qui tient à un phénomène capillaire.

Lorsqu'on gradue un instrument qui doit donner les quantités d'alcool contenues dans un liquide, on a soin que le tube de l'aréomètre soit très propre, et que le liquide le mouille très bien. Dans ce cas il se forme un petit anneau, fig. 4, et l'endroit où la courbe s'arrête est déterminé par un petit point brillant. Ce sera, par exemple la 50e division. Maintenant il peut arriver qu'en plongeant l'instrument, une fois gradué, dans le même liquide, le liquide au lieu de s'élever autour du tube, reste de niveau, ou même qu'il se déprime. Dans ces deux cas, quoique le liquide soit absolument le même, il y aura une différence dans les indications de l'instrument, et la 50e division, au lieu de se trouver au niveau du liquide, se trouverait au-dessus. Cet inconvénient a rarement lieu avec l'alcool, parce que ce liquide mouille en général très bien.

Il n'en est pas de même de l'eau; aussi est-il assez difficile de prendre le point zéro pour les aréomètres dans l'eau pure, car dans ce cas, on peut avoir des variations qui iront à un degré de Beaumé et même au-delà, et cela parce que le liquide ne mouillera pas parfaitement; de sorte que tantôt on aura le niveau, tantôt élévation, et tantôt dépression.

Il faut bien prendre garde à cette cause d'erreur, et avoir l'attention de bien essuyer les tubes, et même de les laver avec de l'esprit de vin ou de l'alcali.

Puisque le mercure se déprime dans les tubes de verre, et d'autant plus que ces tubes sont plus étroits, vous concevez que les tubes barométriques qui auront des diamètres différens n'indiqueront pas rigoureusement la même hauteur. Par conséquent on conclurait des pressions différentes pour la même colonne d'air ; ce qui serait absurde. Lorsque les tubes ont un diamètre de 2 millimètres, la dépression va à plus de 8 millimètres. On ne fait pas des baromètres avec des tubes aussi étroits; mais on peut en faire avec des tubes ayant 4, 5, 6 millimètres de diamètre; et dans ces divers cas, il y aurait des différences très grandes dans les indications de ces in-

tre est une distance qu'on peut appeler sensible, et il y a réellement dans la nature des canaux, des fibres creuses, dont le diamètre est encore plus petit. Si l'on conçoit une série de ces petits tubes communiquant par le bas avec une masse liquide, ils seront terminés par une petite surface convexe. Si les tubes ont le contact de l'air, l'évaporation aura lieu ; il y aura par conséquent perte continuelle d'un côté, et de l'autre renouvellement continuel.

C'est ainsi que dans les mèches formées par des filamens qui laissent entre eux des espaces capillaires, l'eau peut s'élever à des hauteurs considérables.

La température a une grande influence sur l'élévation des liquides dans les tubes. Ainsi de l'eau qui est à 2° au-dessus de zéro, dans un tube qui aurait 1,$^{millim.}$3, donnerait une élévation de 23,$^{millim.}$ 5. Si la température vient à 19°, l'élévation est seulement de 22,$^{millim.}$ 8. En général, plus le liquide est froid et plus l'élévation est grande, et en comparant, au moins pour l'eau, la densité à cette élévation, on voit que la hauteur est sensiblement proportionnelle à la densité.

La hauteur est, comme on le conçoit, différente pour chaque liquide. Ainsi, à la température de 10°, dans un tube de 1,$^{millim.}$ 29, où l'eau s'élève à 23,$^{millim.}$ 16, l'alcool dont la densité est exprimée par 819 millièmes, ne s'élève qu'à 8,$^{millim.}$ 19; l'essence de térébenthine s'élève à 8,$^{millim.}$ 9; le mercure s'abaisse de 8,$^{millim.}$ 2. Lorsqu'on ajoute du sel à l'eau, son élévation diminue.

Il est assez remarquable que parmi tous les liquides c'est l'eau dont l'élévation est la plus grande. Par conséquent, toutes les fois qu'on ajoute à l'eau quelque autre substance, l'élévation est moindre. C'est ce que l'on voit particulièrement pour l'alcool et pour l'essence.

Il faut remarquer ensuite que la nature du corps solide ne fait rien relativement à l'élévation ou à la dépression du liquide, lorsque ce corps est parfaitement mouillé par le liquide. En effet, qu'est-ce qui arrive lorsqu'un corps est mouillé par un liquide? Une couche du liquide devient adhérente au solide, et ensuite, en raison du décroissement si rapide des attractions capillaires, qui sont des attractions chimiques, les couches suivantes de liquide ne sont plus soulevées par le corps solide, elles sont soulevées par le liquide lui-même. Ainsi, prenez des tubes faits avec du verre, du plomb, de l'or, du bois, en un mot avec une substance quelconque; pourvu que les tubes soient mouillés par l'eau, l'eau s'élèvera à la même hauteur dans tous.

suspendue que par suite de l'attraction entre ses molécules. Cette attraction dans les liquides est beaucoup plus faible que dans les solides. On peut regarder l'état liquide comme étant déterminé par l'état d'équilibre des forces attractives et répulsives.

Enfin, nous concevons que dans l'état de fluide élastique, ce sont au contraire les forces répulsives qui l'emportent sur les forces attractives. Cependant ces forces attractives sont toujours présentes, en quelque sorte, et aussitôt qu'elles deviennent prépondérantes, les molécules se réunissent et peuvent former des corps solides, comme cela a lieu pour de l'eau qui peut, par un certain abaissement de température, passer à l'état de glace.

Ainsi nous voyons que les trois états des corps dont nous avons parlé dépendent du rapport des forces attractives et répulsives. Dans cet état d'équilibre, les molécules des corps sont à une certaine distance les unes des autres, et on peut, par des moyens mécaniques, par la compression, rapprocher ces molécules, les forcer à occuper un espace plus petit. C'est une propriété qui appartient à tous *les corps; tous sont* plus ou moins compressibles en raison de leur nature et de leur état particulier.

Si l'on conçoit que les molécules des corps peuvent se rapprocher, on peut concevoir aussi qu'elles peuvent s'écarter. C'est, en effet, ce que nous avons vu pour l'air et les fluides élastiques en général. En les prenant dans des circonstances déterminées, sous la pression ordinaire de l'atmosphère, on peut, en diminuant la pression, écarter les molécules. Il n'y a pas de limite à cet égard.

Il en est de même pour les solides. Si l'on tire un morceau de gomme élastique, elle s'allonge; si ensuite l'action de la force vient à cesser, la gomme revient à son état primitif. Si vous prenez un fil d'une matière rigide, il a une certaine longueur; si vous le tirez par ses deux extrémités, il s'allonge. Cela arrive pour tous les métaux. Vous prenez une lame d'acier et vous la courbez; il est évident, puisqu'il n'y a pas rupture, que les molécules se sont écartées à l'extérieur de la courbure, tandis qu'elles se sont rapprochées dans l'intérieur.

Il en est de même des liquides, on peut aussi les comprimer, et par conséquent l'on peut concevoir que la réciproque a lieu. En effet, lorsqu'un liquide a été fortement comprimé, si l'action de la force comprimante cesse, le liquide revient à son volume primitif.

Ainsi les molécules des corps, dans des circonstances déter-

minées, pour un état particulier dans lequel on les considère, sont en général susceptibles de pouvoir être rapprochées, comme aussi d'être écartées, ou, en d'autres termes, on peut diminuer la distance des molécules, comme aussi on peut l'augmenter.

Cette propriété qu'ont les corps de pouvoir être comprimés ou de pouvoir être dilatés, et de revenir ensuite à leur état primitif, lorsque les forces perturbatrices viennent à cesser, cette propriété, dis-je, est celle qu'on a désignée par le nom d'*élasticité*. La distinction que j'ai faite est importante; si l'on se bornait à dire que tous les corps peuvent être comprimés, sans exiger qu'ils revinssent à leur premier état, on n'aurait pas l'idée de l'élasticité.

Ainsi donc tous les corps jouissent de l'élasticité, mais cette élasticité ne s'exerce pas dans des limites également étendues pour tous les corps. Si je prends une masse d'air, je puis la forcer à n'occuper que le 500e de son volume ; et elle revient toujours à ce volume, lorsque la compression cesse. Je puis également dilater cette masse d'air, et elle revient à son état primitif. Les limites dans lesquelles le corps peut être dilaté ou comprimé, sont extrêmement éloignées, pour tous les fluides élastiques.

Pour les liquides, nous ne pouvons assigner d'autres limites à la compression que celles qui sont déterminées par les moyens physiques. Si nous comprimons de plus en plus, les molécules se rapprochent; la limite est assez étendue, mais l'est beaucoup moins que dans les fluides élastiques.

Pour les corps solides, les limites sont beaucoup plus rapprochées; nous ne pouvons écarter leurs molécules, et ensuite leur permettre de revenir à leur premier état, que dans des limites très circonscrites. En effet, il n'y a point de masse solide qui ne doive être considérée comme étant un assemblage de petits cristaux placés dans un ordre symétrique. Si l'on n'écarte les molécules que de fort peu de leur position déterminée, elles pourront y revenir; mais si le déplacement est considérable, elles peuvent sortir de leur sphère d'activité, et ne plus revenir.

Il y a pour les corps solides une très grande différence à cet égard. Une lame d'acier peut être très courbée, et dans le cas de cette courbure, il y a écartement des molécules extérieures, et rapprochement des molécules inférieures; et cette lame d'acier ainsi courbée peut ensuite revenir parfaitement à sa première position. Par conséquent la limite de l'élasticité sera très éloignée pour l'acier. Pour une lame

d'acier moins pur, la limite sera plus rapprochée. Si on prend une lame de verre, elle ne peut être courbée que d'une très petite quantité sans se briser. Si enfin, on prend une lame de plomb et qu'on la courbe, on voit qu'elle ne revient pas à sa position primitive. En conclura-t-on que le plomb n'est point élastique? Non, car si l'on prend une bande de plomb qu'on la fixe fortement dans un étau, par une de ses extrémités, et qu'on appuie sur l'autre extrémité, de manière à faire fléchir cette bande, si le déplacement des molécules a été peu considérable, la bande revient à sa position primitive. Par conséquent le plomb est élastique comme les autres corps.

Cela posé, nous allons nous proposer d'examiner suivant quelle loi a lieu le rapprochement des molécules d'un corps, lorsqu'on le charge de poids. C'est un résultat intéressant qui nous conduira à donner en deux mots, la théorie d'un instrument d'un grand usage pour l'électricité et pour le magnétisme, instrument connu sous le nom de *balance de torsion*, ou de *balance de Coulomb*.

Le cas le plus simple serait de charger le corps d'*un poids*. Mais faites attention qu'en prenant un corps dans l'état d'équilibre, s'il faut une certaine force pour rapprocher ses molécules d'une quantité déterminée, il faudra pour les écarter de la même quantité employer une force égale. Ainsi, étant donné un fil de fer supposé parfaitement rigide, concevons-le droit et chargé d'un poids. Le poids va faire diminuer le fil en le comprimant d'une certaine quantité, par exemple d'un millimètre. Au lieu de presser sur le fil, concevons que le poids soit attaché à l'extrémité de ce fil. Dans ce cas, au lieu d'y avoir rapprochement, compression des molécules, il y aura traction, écartement de ces molécules, et la quantité dont le fil sera allongé dans ce second cas, sera absolument égale à celle dont il se serait raccourci dans le premier.

Ainsi pour connaître la mesure de l'élasticité du fil de fer, il s'agit de chercher la quantité dont il s'allonge pour les poids qu'on lui fait supporter. Cette expérience est extrêmement simple. On a un châssis au haut duquel est suspendu un fil métallique, celui qu'on veut éprouver. Dans le bas, le fil est pincé et lié d'une manière intime avec un cylindre de métal portant un index, fig. 5; cet index auquel on peut adapter un vernier glisse le long d'une règle divisée en millimètres.

On regarde le point où s'arrête l'index avant qu'on ait mis les poids, et on appelle ce point zéro. On met ensuite un hectogramme, par exemple, et il y a un certain allonge-

On peut mesurer la torsion au moyen d'un petit appareil, fig. 6, qui consiste dans un simple fil suspendu à un point fixe par l'une de ses extrémités, et portant à l'autre extrémité une aiguille dont la pointe parcourt les divisions d'un cadran. Ce fil abandonné à lui-même prend une position où il ne tend à aller d'aucun côté. Si on tord le fil, l'aiguille vient s'arrêter sur une des divisions, et lorsqu'ensuite la force qui avait produit la torsion vient à cesser, l'aiguille revient à sa première position. Dans ce cas, l'arc décrit par l'aiguille est la mesure de la torsion, et il faut concevoir que cet arc de cercle est la somme de tous les mouvemens circulaires qui ont lieu dans les diverses molécules; de même que l'allongement total du fil de fer qui a fait le sujet d'une expérience précédente, était la somme de tous les écartemens entre les molécules.

Pour nous rendre raison du phénomène de la torsion, concevons un fil, fig. 7, que nous supposerons assez gros pour rendre la chose plus sensible; concevons, dis-je, ce fil divisé en tranches très rapprochées les unes des autres, *et qui sont* parallèles entre elles et perpendiculaires à la longueur. Considérons les molécules placées sur une même arête du cylindre, par exemple, la ligne *A B*, faisons tourner la première tranche d'un degré; toutes les tranches inférieures vont être transportées également d'un degré. Faisons ensuite tourner la seconde tranche, et les tranches inférieures se trouveront transportées de la même quantité, ainsi de suite. De sorte qu'ayant ainsi conçu le fil coupé en une série de tranches, on voit dans la fig. 7 que la seconde tranche a dépassé la première d'un degré; la seconde a dépassé la troisième également d'un degré, ainsi de suite, et nous avons dans l'angle de déviation totale la somme de toutes les déviations partielles des molécules l'une par rapport à l'autre.

Puisque nous avons vu que pour les corps solides, en restant dans les limites où l'élasticité se maintient parfaitement, les déplacemens des molécules sont proportionnels aux poids ou bien aux forces en général, la même loi doit exister ici, et nous pourrons dire que les déplacemens des molécules sont aussi proportionnels aux poids ou aux efforts qu'il faut faire pour opérer ces déplacemens; efforts que nous désignons par le nom de *forces de torsion.* En effet, les molécules sont déplacées d'une manière proportionnelle aux efforts qu'elles éprouvent, c'est-à-dire aux forces de torsion. L'angle total de torsion n'est autre chose que la somme de tous ces déplacemens; par conséquent, les angles de torsion sont pro-

avoir des torsions beaucoup plus grandes, des torsions de 360° et même au-delà, la partie de l'appareil qui soutient le fil est mobile et porte un index qui tourne autour d'un cadran, également mobile, sur lequel sont tracées les 360 divisions du cercle; de manière qu'on connaît de combien de degrés on fait tourner l'aiguille. Au moyen de ce mécanisme on peut produire la torsion dans la partie supérieure au lieu de la produire dans la partie inférieure.

Les liquides jouissent de la même propriété que nous venons d'examiner dans les solides. Nous allons établir en effet que les liquides sont compressibles, et qu'ensuite ils reviennent exactement à leur état primitif. Nous ne pouvons assigner à cette élasticité des liquides d'autres limites que celles de la force mécanique nécessaire pour les comprimer, tandis que dans les solides, lorsqu'on a dépassé une certaine limite, il se forme un nouvel état d'équilibre, et le corps ne revient plus à ses dimensions primitives.

Nous ne pouvons déterminer la loi de l'élasticité des liquides, qu'après avoir déterminé suivant quelle *loi ils* se compriment. C'est, par conséquent, *de la compression dont* nous allons d'abord nous occuper.

Il y a déjà fort long-temps que les académiciens de Florence ont cherché à s'assurer si les liquides étaient compressibles. Dans l'année 1657, ils enfermèrent de l'eau dans une boule d'argent qu'ils fermèrent exactement, et qu'ils soumirent ensuite à une forte pression. La boule se déforma, devint tout-à-fait irrégulière, et ils aperçurent en même temps des gouttelettes d'eau. Les académiciens de Florence conclurent de là que l'eau résistait à la compression.

D'autres essais furent faits plus tard, mais également sans succès. Les premières expériences qui ont conduit à des données précises sur ce sujet sont dues à Kanton. Son expérience consiste à prendre une boule, fig. 9, terminée par un tube étroit, divisé en parties connues relativement à la capacité totale; à placer cette boule sous le récipient de la machine pneumatique, et à faire le vide ou à laisser entrer l'air après qu'on a fait le vide. Dans le premier cas on voit le liquide s'élever, et dans le second on le voit baisser, de manière que l'abaissement est précisément égal à l'élévation.

L'expérience se fait encore au moyen de tubes, fig. 10, qu'on a remplis de liquide, à l'exception d'un espace dans lequel on a fait le vide, et qu'on a fermés ensuite à la lampe. En cassant l'extrémité de ces tubes, ce qui permet à l'air de rentrer, on voit le liquide baisser aussitôt; ce qui prouve évidemment que le liquide est compressible.

Les académiciens de Florence avaient employé un appareil fort ingénieux, et on ne peut concevoir qu'ils n'aient pas aperçu la compression, qu'en supposant qu'ils ont fait l'expérience dans des circonstances qui n'étaient pas bien déterminées.

Leur appareil consistait dans deux boules, fig. 11, communiquant par un tube. Les boules étaient remplies de liquides, et il y avait de l'air entre les deux liquides. Je suppose qu'on veuille savoir si le liquide est compressible ; on le maintient à une température constante, dans l'une des boules, tandis que dans l'autre on le chauffe, de manière qu'il se produise une vapeur qui, s'élançant dans le tube, comprime l'air et par suite le liquide de l'autre boule. Dans ce cas, il doit y avoir une diminution de volume très sensible.

Kanton a trouvé ce résultat remarquable, que l'eau de pluie se contracte, pour une atmosphère, de 46 millionièmes de son volume ; l'eau de mer de 40 millionièmes, l'huile d'olive de 48, et enfin le mercure de 3. Ces résultats qu'on trouve dans les volumes 52 et 54 de la Société royale de Londres, ont été très peu modifiés, particulièrement pour l'eau, par les expériences nombreuses faites par d'autres physiciens.

Œrstedt a imaginé un appareil très simple pour mesurer la compression des liquides. Cet appareil, fig. 12, consiste dans une espèce de thermomètre *a*, qu'on remplit du liquide qu'on veut soumettre à la compression. On met ensuite pardessus ce liquide un petit index de mercure, afin d'isoler le liquide intérieur de celui qui doit l'envelopper. Pour connaître la pression qu'on exerce sur le liquide, on adapte à l'appareil un tube *b*, divisé en parties égales. Le tout se place sous un large tube en cristal, qui doit être très solide. Dans la partie supérieure de ce tube, il y a un piston qui est en contact avec l'eau dont ce large tube est rempli. Ce piston s'avance au moyen d'une vis dont les pas sont très rapprochés, ce qui permet d'exercer une pression considérable, en n'employant qu'un effort assez faible.

A mesure qu'on enfonce le piston, on voit l'index s'enfoncer dans le tube où est renfermé le liquide soumis à l'expérience, et comme ce tube est divisé en parties connues relativement à la capacité totale, on a le rapport de la diminution de volume au volume total.

D'une autre part, on connaît par la diminution du volume de l'air renfermé dans le tube *b*, quelle est la pression que l'on a exercée. C'est par une expérience semblable qu'Œrstedt

a constaté que la compression des liquides était sensiblement proportionnelle au nombre d'atmosphères. Il est allé jusqu'à 72 atmosphères, et il a trouvé que la loi se maintenait.

Ce résultat a été confirmé récemment par les expériences de Coladon.

On a soumis divers liquides à l'expérience, et on a trouvé des résultats différens pour chaque liquide. Ainsi l'alcool se contracte de 45 millionièmes de son volume; Kanton avait trouvé 46. L'éther sulfurique se comprime trois fois plus que l'alcool, et il est deux fois aussi compressible que le sulfure de carbone. Le mercure ne se contracte que d'un millionième; Coladon a trouvé une contraction plus grande; il a trouvé le nombre cinq.

Le verre étant aussi susceptible de se comprimer, il a été nécessaire de faire une correction. Enfin de nombreuses expériences rendent incontestable que les divers liquides sont susceptibles de compression.

Dans ces diverses expériences, la chaleur dégagée n'est pas sensible, à moins qu'on ne fasse subir aux liquides une compression très subite.

IMPRIMERIE DE E. DUVERGER,
RUE DE VERNEUIL, N° 4.

563 i

TABLE

DES MATIÈRES CONTENUES DANS LA PREMIÈRE PARTIE.

Leçon première.--Notions préliminaires. 1
Agens de la nature. 3
Chaleur. *id.*
Électricité ou fluide électrique 4
Magnétisme. *id.*
Lumière. 5
Pesanteur ou gravitation. *id.*
Matière. 7
Propriétés des corps. 8
Propriétés particulières. *id.*
Propriétés générales. 9
Étendue. *id.*
Impénétrabilité. 11
Divisibilité. 14
Atomes. 15
Leçon deuxième. 17
Mobilité. 18
Inertie. 19
Composition des forces. 25
Mouvement uniforme. *id.*
Mouvement uniformément varié. *id.*
Pesanteur. 29
Leçon troisième. 33
Lois de la chute des corps. 38
Leçon quatrième. 45
Intensité de la pesanteur. 46
Peudule. 47
Poids des corps. 53
Composition des corps. 55
Mesure des corps. 57
Vernier. 59
Leçon cinquième. -- Récapitulation des effets de la pesanteur. 61
Aérolites. 65
Comparateur. 68
Vis micrométrique. *id.*
Temps. 69
Balance. *id.*
Etats des corps. 74
Etat liquide. 75
Leçon sixième. -- Immobilité des liquides. 77
Egalité de pression dans les liquides. 79
Attraction moléculaire dans les liquides. 81
Effet de la pesanteur sur les liquides. 82
Pressions sur la base. 83
Pressions latérales. 86
Principe d'Archimède. 90
Leçon septième. 93
Principe d'Archimède. 95
Vases communiquans. 97
Presse hydraulique. 90
Densité des corps. 100
Ecoulement des liquides. 104
Contraction de la veine fluide. 106
Ajutages. 108
Leçon huitième. 111
Air. 113
Pesanteur de l'air. *id.*
Mesure de la pression atmosphérique. 115
Baromètre. 117
Baromètre à cuvette. 119
Baromètre à syphon. 122
Baromètre d'Amontons. 126
Baromètre à cadran. *id.*
Leçon neuvième. 127
Hauteur de l'atmosphère. 129
Loi de Mariotte. 131
Elasticité ou ressort de l'air 137
Leçon dixième. 143

Densité de l'air atmosphérique. 144
Vide. 147
Machine pneumatique. 151
Eprouvettes. 152
Machines à compression. 154
Hémisphères de Magdebourg. 157
Leçon onzième. — Ventouses. 159
Tubes de sûreté. 160
Fontaine de compression. 162
Fontaine de héron. 163
Fontaine intermittente. 164
Syphon. 165
Gazomètres. 169
Ecoulement constant. *id.*
Cloche du plongeur. 172
Leçon douzième. — Pompes à eau. 173
Pompe aspirante. *id.*
Pompe aspirante et foulante. 177
Détermination de la densité des corps. 179
Balance hydrostatique. 182
Flacon à mesurer les densités. 183
Densité des solides. *id.*
Densité des liquides. 187
Densité des fluides élastiques. 188
Leçon treizième. 189
Corrections dans les pesées 190
Détermination de la densité des corps solubles dans l'eau. 195
Aréomètres. 196
Aréomètre de Farenheit. 197
Aréomètre de Nicholson. 199
Aréomètres proprement dits *id.*
Volumètre. 201
Aréomètre de Beaumé. 203
Leçon quatorzième. 205
Aréomètre de Cartier. 208
Alcoomètre. *id.*
Graduation des aréomètres. *id.*
Unité de densité des fluides élastiques. 210
Densité de la terre, 211
Deuxième partie. — Etude des agens. 215
Chaleur. *id.*
Dilatation des solides, des liquides et des fluides élastiques. 217
Mesure de la chaleur. 218
Thermomètre. 219
Construction des thermomètres. 220
Graduation des thermomètres. 222
Thermomètre centigrade. 224
Thermomètre de Réaumur. *id.*
Thermomètre de Farenheit. *id.*
Leçon quinzième. 225
Conversion des degrés thermométriques. 226
Calibrage des tubes thermométriques. 227
Tables thermométriques. 229
Thermomètre étalon. 230
Etendue de l'échelle thermométrique. *id.*
Thermoscope. 231
Température des corps. 232
CALORIQUE. 233
Rayonnement du calorique. 234
Réflexion du calorique. 235
Transmission du calorique à travers l'air. 237
Vitesse du calorique. 239
Pesanteur du calorique. 240
Leçon seizième. — Non coërcibilité du calorique. 241
Hypothèses sur la nature du calorique. 242
Pouvoir réfléchissant et absorbant. 243
Equilibre mobile du calorique. 246
Réflexion du froid. 248
Pouvoir émissif et absorbant. 250
Thermomètre différentiel. 252
Tables des capacités des diverses surfaces pour recevoir ou émettre le calorique. 254
Leçon dix-septième. — Egalité

des pouvoirs émissif et absorbant. 257
Thermoscope de Rumford. 258
Influence de la nature des surfaces sur les pouvoirs émissif et absorbant. 260
Influence du poli. *id.*
Influence de la dureté. 261
Influence de la couleur. *id.*
Transmission du calorique à travers les corps. *id.*
Emission du calorique par des surfaces inclinées. 263
Application de l'émission ou de l'absorption du calorique. 265
Ecrans. 266
Résumé des propriétés du calorique. 270
Equilibre de température. *id.*
Action du calorique sur les corps. 271
Leçon dix-huitième.—Chaleur, cause du changement d'état des corps. 273
Fluides élastiques permanens et non permanens. 275
Dilatation des solides. 279
Formules de dilatation des lignes, des surfaces et des volumes. 283
Applications de la dilatation des solides. 285
Pendule compensateur. 288
Leçon dix-neuvième. — Dilatation des liquides. 291
Maximum de densité de l'eau. 300
Leçon vingtième. — Suite de la dilatation des liquides. 303
Dilatation des fluides élastiques. 305
Leçon vingt-et-unième. 315
Densité des vapeurs. 318
Capacité des corps pour la chaleur. 325
Leçon vingt-deuxième. 331
Capacité des fluides élastiques. 337
Variations de capacité. 344
Leçon vingt-troisième. 347
Suite de la capacité des fluides élastiques. 348
Application de la capacité des corps pour le calorique. 350
Calorique latent. 351
Applications de la vapeur. 360
Propagation de la chaleur dans les corps ou conductibilité du calorique. 362
Leçon vingt-quatrième. 367
Conductibilité des liquides. 369
Conductibilité des fluides élastiques. 371
Lois du refroidissement. 373
Refroidissement dans le vide. 376
Refroidissement dans l'air et dans les gaz. 377
Vapeurs. 380
Leçon vingt-cinquième.—Force élastique de la vapeur. 383
Leçon vingt-sixième. 397
Dissolution des gaz dans l'eau. 399
Phénomène de l'ébullition. 404
Leçon vingt-septième. 413
Suite de l'ébullition. 414
Phénomène de l'évaporation. 417
Distillation. 421
Froid produit par l'évaporation. 424
Leçon vingt-huitième. — Addition à la distillation. 429
Suite de la production du froid par l'évaporation. 430
Machine à feu. 436
Leçon vingt-neuvième. — Suite de la machine à feu. 443
Hygrométrie. 449
Leçon trentième — Hygromètres. 459
Hygromètre à cheveu. 463
Hygromètre de Deluc. 468
Autres hygromètres. 469
Leçon trente-et-unième. — Suite des hygromètres. 473
Déliquescence. 480

Application de l'hygrométrie. 483
Sources de la chaleur et du froid. 484
Leçon trente-deuxième. — Suite des sources de la chaleur et du froid. 489
Météorologie. 493
Température moyenne. 498
Leçon trente-troisième. — Suite de la météorologie. 503
Sources d'eaux chaudes. 505
Variations du baromètre. 514
Rosée. 515
Gelées blanches. 518
Leçon trente-quatrième. — Suite de la météorologie. 519
Pluie. 521
Neige. 531
Vents. 532
Neiges perpétuelles. 533
Leçon trente-cinquième. — Phénomènes capillaires. 535
Leçon trente-sixième. — Suite des phénomènes capillaires. 547
Élasticité, compressibilité, dilatabilité. 553
Balance de torsion. 556
Forces de torsion. 558
Appareils pour mesurer la compression des liquides. 568

FIN DE LA TABLE DE LA PREMIÈRE PARTIE.