

BIBLIOTHÈQUE UTILE

—
LII 1174

A. LÉVY

—
HISTOIRE
DE L'AIR

LIBRAIRIE
GERMER BAILLIÈRE & C^{IE}
PARIS

HISTOIRE DE L'AIR

PAR

ALBERT LÉVY

Ancien élève de l'École polytechnique
Physicien titulaire à l'Observatoire de Montsouris.

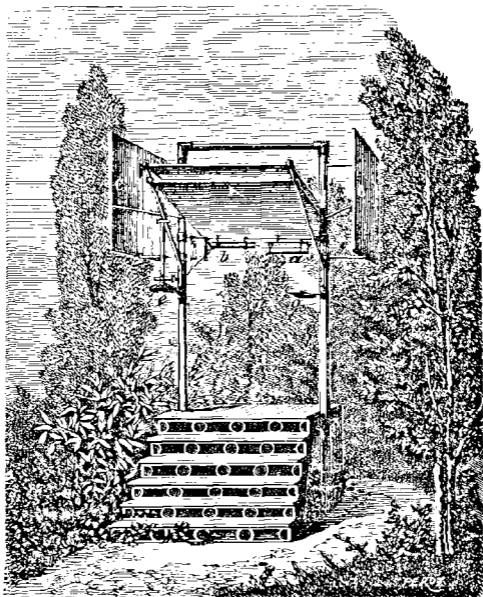
En ce qui touche leurs éléments vraiment
organiques, les *plantes*, les *animaux* dérivent
de l'air, et ne sont que de l'air condensé.

DUMAS.

Orné de 37 gravures.

PARIS
LIBRAIRIE GERMER BAILLIÈRE ET Cie
108, BOULEVARD SAINT-GERMAIN, 108
Au coin de la rue Hautefeuille.

Tous droits réservés.



Abri des thermomètres de Montsouris.
A, toit à double paroi, incliné du côté du sud.
B, C, plaques de tôle servant d'abris.
a, b, thermomètres.
c, hygromètre à cheveu.

HISTOIRE DE L'AIR

INTRODUCTION

L'astre radieux qui nous dispense la chaleur et la lumière a reçu le nom de *Soleil*, du mot latin *solus*, qui veut dire *seul, unique*. Et cependant, parmi ces milliers d'étoiles qui constellent la voûte céleste, un grand nombre pourraient rivaliser d'éclat avec notre Soleil : leur petitesse n'est qu'apparente et due tout entière à leur éloignement. Transporté à la distance des étoiles, le Soleil ne brillerait pas d'un éclat plus vif que Sirius.

Des astres errants, qu'on appelle *Planètes*, circulent autour du Soleil et décrivent, avec une vitesse vertigineuse, d'immenses orbites à peu près circulaires. L'un de ces astres nous intéresse d'une manière spéciale : c'est la Terre. Ce n'est pas que cette planète se distingue des autres par ses dimensions ou par sa position particulière : elle n'est ni la plus voisine, ni la plus éloignée du soleil ; son volume, plus grand que ceux de Mercure, de Vénus et de Mars, est singulièrement plus faible que ceux de Saturne, d'Uranus, de Neptune et surtout de Jupiter.

La Terre n'est pas le centre de l'univers, ainsi que les anciens le supposaient; elle est au contraire comme perdue dans ce groupe de planètes qui gravitent autour du soleil, et ce groupe lui-même est perdu au milieu de ces milliers de mondes pour lesquels chaque étoile représente un centre de chaleur et de lumière comparable à notre Soleil.

Ce globe solide, la Terre, que les eaux recouvrent en partie, est entouré d'une mince couche gazeuse dont la hauteur, comparée à celle de la terre, n'est pas plus grande que l'épaisseur de la peau d'une orange. Et cependant, c'est à la présence de cette masse de gaz, que nous appelons l'*atmosphère* (de deux mots grecs : *atmos*, vapeur; *sphaïra*, sphère), qu'est due la persistance de la vie sur notre planète. Sans elle, l'homme, les animaux, les plantes, cesseraient aussitôt d'exister. En ce qui touche leurs éléments vraiment organiques, a dit M. Dumas, les plantes, les animaux dérivent de l'air et ne sont que de l'air condensé.

« L'air est une source inépuisable où tout ce qui vit prend son haleine, un réservoir immense où tout ce qui meurt verse son dernier souffle. Sous l'action de l'atmosphère, tous les organismes épars naissent, puis dépérissent. La vie, la mort sont également dans l'air que nous respirons et se succèdent perpétuellement l'une à l'autre par l'échange des molécules gazeuses. Les mêmes éléments qui s'échappent des feuilles de l'arbre, le vent les porte aux poumons de l'enfant qui vient de

naître ; le dernier soupir d'un mourant va tisser la brillante corolle de la fleur, en composer les pénétrants parfums. La brise qui caresse doucement les tiges des herbes va plus loin se transformer en tempête, déracine les troncs d'arbres et fait tomber les navires avec leurs équipages. C'est ainsi que, par un enchaînement infini de morts partielles, l'atmosphère alimente la vie universelle du globe ¹. »

Le premier besoin de l'enfant qui vient de naître, c'est de respirer, c'est-à-dire d'introduire dans ses poumons un certain volume de cet air qui nous entoure. Cette première inspiration d'air se manifeste par les cris qu'il fait entendre ; cris charmants, qui font tressaillir de joie le cœur d'une mère !

Le nouveau-né « évapore sa douleur », suivant l'expression de Montaigne.

Comment s'effectue cette respiration ? En quoi la présence de l'air est-elle indispensable à la vie ? Nous le dirons tout à l'heure. Remarquons, pour l'instant, que cet air est en général invisible, sans odeur, impalpable. Cependant, à certains moments, cet air, mis en mouvement sous l'influence de causes diverses, nous révèle son existence. Faiblement agité, l'air nous caresse le visage et fait frissonner les feuilles des arbres ; il enfle les voiles de nos navires et leur permet de se frayer un chemin sur les eaux. Remué plus violemment, l'air soulève les eaux de la mer, déracine les arbres les plus

1. Elisée Reclus, *la Terre*.

vigoureux, et, sous les noms de cyclone, de trombe, détruit des maisons, des villages, des villes entières. *Rudra*, le dieu des vents, dans la mythologie indoue, s'appelle aussi *Siva*, le dieu de la destruction et de la mort.

« Plus légère que le plus léger duvet, plus impalpable que les plus fins filaments, l'atmosphère laisse intactes les toiles de l'araignée et courbe à peine sur leurs tiges les fleurs qui recueillent sa rosée. Cependant elle transporte autour du monde, sur ses ailes, des flottes de toutes les nations, et écrase sous son poids les plus dures substances. Lorsqu'elle est en mouvement, sa force est suffisante pour déraciner les plus grands arbres et renverser les plus solides monuments, pour soulever l'Océan en vagues furieuses et briser les plus grands navires comme de frêles jouets ¹. »

Cet air, dont la présence est attestée par les terribles ravages qu'il peut occasionner, est parfois rendu visible. Dans certaines journées chaudes de l'été, l'air cesse d'être transparent : nous observons, au-dessus du sable échauffé par le soleil, une masse en mouvement qui s'élève en tremblotant; ce même phénomène se produit au-dessus d'une bougie ou d'une lampe allumée.

L'air est parfois aussi odorant; il a emprunté aux milieux qu'il a traversés des odeurs, agréables ou fétides, qui trahissent ainsi son exis-

1. D^r Buist, cité par Maury dans sa *Géographie physique*.

tence. Lorsque l'air est en mouvement, quand sa présence est attestée par sa violence, par son odeur ou par les agitations qui troublent sa transparence, nous lui donnons le nom de *vent*.

L'étude de l'air peut être divisée en deux parties bien distinctes : étude de l'air à l'état de repos ; étude de l'air en mouvement. Dans la première partie, on recherche les propriétés physiques et chimiques de l'air ; sa composition normale ; les éléments variables qu'il contient ; son action sur l'homme, les animaux et les plantes ; la forme, la hauteur et la composition aux divers âges de la terre de cet océan gazeux qui entoure notre globe..... C'est le sujet que nous avons choisi et qui est traité dans le petit volume que nous publions aujourd'hui.

La deuxième partie d'une histoire de l'air comprend l'étude des mouvements de l'atmosphère et des lois qui les régissent. M. Zurcher a déjà traité ce sujet dans un volume publié par la *Bibliothèque utile* sous ce titre : *Les phénomènes de l'atmosphère*. Nous nous sommes donc borné à l'étude de l'atmosphère à l'état de repos. Cette étude n'est déjà que trop étendue, car nous avouons que la principale difficulté que nous avons rencontrée a été de condenser dans les limites d'un petit volume, les immenses matériaux que nous avons réunis sur ce sujet, l'un des plus importants et, j'ajouterai, des plus intéressants qu'on puisse traiter. L'histoire de l'air ! n'est-ce pas en quelque

sorte l'histoire même de la nature? Ses différents chapitres ne nous obligent-ils pas à passer en revue les phénomènes dont s'occupent le physicien, le chimiste et le naturaliste? Lorsque nous voulons étudier les propriétés de l'air, ne devons-nous pas connaître les effets produits par la chaleur, la lumière, l'électricité sur les corps en général et sur les gaz en particulier? Comment comprendre les beaux travaux des Lavoisier, des Dumas, des Bous-singault.... sur la composition de l'air, sans le secours de la chimie? Comment parler de l'action de l'air sur l'homme, les animaux et les plantes, sans rappeler les principales découvertes faites dans le domaine de la physiologie, de la zoologie et de la botanique?

Nous avons résumé aussi succinctement, mais aussi complètement que possible, les travaux les plus importants qui ont été faits sur ce très-intéressant sujet : depuis les premières expériences d'Aristote, jusqu'aux recherches récentes de M. Paul Bert; depuis les hypothèses de Pythagore et de Démocrite sur la constitution de la matière, jusqu'aux hypothèses de MM. Clausius et Clerk Maxwell sur la constitution des gaz; depuis les générations spontanées de Van Helmont et le phlogistique de Stahl, jusqu'aux travaux sur les ferments de M. Pasteur et les théories modernes de la combustion et de la respiration....

Nous avons eu l'idée de donner, sous forme de notes placées à la fin de ce volume, des extraits des mémoires originaux les plus impor-

tants qui ont été publiés sur l'air. C'est ainsi que le lecteur trouvera : le programme tracé par Pascal des expériences qui doivent démontrer la pesanteur de l'air ; le récit fait par Lavoisier de la mémorable expérience qui fixa la composition de l'air ; les recherches de MM. Dumas et Boussingault ; le travail de M. Paul Bert sur la pression atmosphérique et les êtres vivants, etc.

La collaboration que nous avons demandée à ces grands savants augmentera certainement la valeur d'un volume que nous nous sommes efforcé de rendre complet et clair, digne enfin d'occuper une place honorable dans la collection déjà si riche de la *Bibliothèque utile*.

PREMIÈRE PARTIE

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'AIR

CHAPITRE PREMIER

Pesanteur de l'air.

1. *Tous les corps de la nature sont pesants.*
— Lorsque nous abandonnons à elles-mêmes des balles de liège, de bois ou de plomb, elles tombent sur le sol et ne s'arrêtent que parce que le sol présente une résistance qu'elles ne peuvent vaincre. Cette force, qui attire tous les corps vers le centre de la terre et que nous appelons *pesanteur*, est la même force d'attraction qui fait graviter les planètes autour du Soleil et les satellites autour des planètes.

Cependant, la fumée qui s'échappe de nos foyers, l'air échauffé de nos appartements, s'élèvent en tourbillonnant, paraissant réfractaires aux lois de la pesanteur. Nous apprendrons bientôt que les gaz et les vapeurs possèdent une propriété particulière, une élasticité considérable, qui tend à séparer les molécules dont ils sont formés; de telle sorte que le mouvement ascensionnel dont nous parlons n'est que

la résultante de deux forces opposées et inégales : l'élasticité qui sépare les molécules gazeuses, et la pesanteur qui tend à les précipiter sur le sol.

La direction suivant laquelle tombent les corps, quand ils sont abandonnés à eux-mêmes, est une ligne droite perpendiculaire à la surface des eaux tranquilles; on l'appelle *verticale*. La pesanteur agit sur chacune des parties qui composent les corps; la résultante de toutes ces actions est ce qu'on nomme le *poids du corps*.

2. *L'air est pesant.* — On conçoit que, durant plusieurs siècles, la pesanteur de l'air ait pu être niée. Ceux-là mêmes qui l'avaient présentée ne parvenaient pas à la mettre en évidence.

Aristote¹ professait que tout a de la pesanteur, sauf le feu. Pour démontrer la pesanteur de l'air, Aristote pesait une outre *vide*, puis il la pesait de nouveau après l'avoir gonflée d'air; mais, contrairement à son attente, le poids ne variait pas. Nous savons aujourd'hui que l'insuccès de l'expérience d'Aristote tient à ce que l'air exerce sur les corps pesants une résistance variable avec leur volume, et qui semble diminuer leur poids. La résistance de l'air, au moment de la seconde pesée, était précisément égale au poids de l'air contenu dans l'outre. Le

1. Philosophe grec, né à Stagyre, en Macédoine, 384 ans avant notre ère; mort à Chalcis, dans l'île d'Eubée, en l'an 322.

principe physique que nous rappelons a été découvert par Archimède ¹ et s'énonce ainsi :
« Tout corps plongé dans un fluide, air ou eau, y semble perdre une partie de son poids égale au poids du fluide qu'il déplace. »

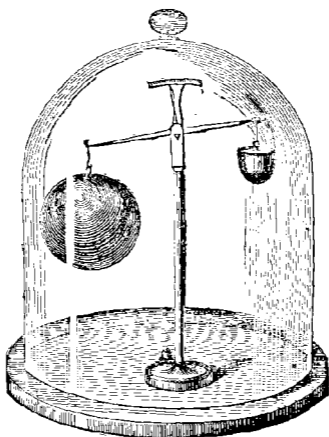


Fig. 1. — Baroscope pour démontrer la perte de poids éprouvée par les corps plongés dans l'air.

L'expérience du baroscope, représentée sur la figure 1, vérifie la découverte d'Archimède

1. Archimède, le plus célèbre des géomètres et des mécaniciens de l'antiquité, naquit à Syracuse, 287 ans avant Jésus-Christ et mourut à 75 ans, lors de la prise de Syracuse par les Romains.

en même temps qu'elle met en évidence la pression exercée par l'air. On prend deux sphères métalliques, de volumes très-inégaux, et l'on s'arrange de manière qu'elles se fassent équilibre quand on les suspend, dans l'air, aux deux extrémités du fléau d'une balance. Si l'on porte tout l'appareil sous la cloche d'une machine pneumatique (voyez page 19), à mesure qu'on fait le vide, on voit le fléau s'incliner du côté de la plus grosse sphère. Le poids de cette sphère est donc réellement plus grand que le poids de la petite;—mais, dans l'air, ce poids était comme diminué à cause de la plus grande résistance que ce fluide lui opposait.

En mesurant les volumes des deux sphères, on peut démontrer que la poussée exercée sur chacune d'elles est précisément égale au poids de l'air qu'elle déplace.

Avant Aristote, Empédocle ¹ attribuait la cause de la respiration « à la pesanteur de l'air, qui se précipite dans l'intérieur des poumons. »

Toutefois, ces réserves faites en faveur de l'esprit observateur des savants de l'antiquité, il faut arriver au xviii^e siècle (vingt siècles après Aristote!) pour trouver des expériences sérieuses constatant la pesanteur de l'air et permettant de l'évaluer.

3. *L'horreur du vide.* — Vous connaissez le

1. Philosophe et géomètre sicilien qui vivait au v^e siècle avant notre ère; il composa, entre autres ouvrages, un poème sur la *Nature et les Principes des choses.*

jeu de la pompe. Dans l'intérieur d'un cylindre de métal dont la partie inférieure communique

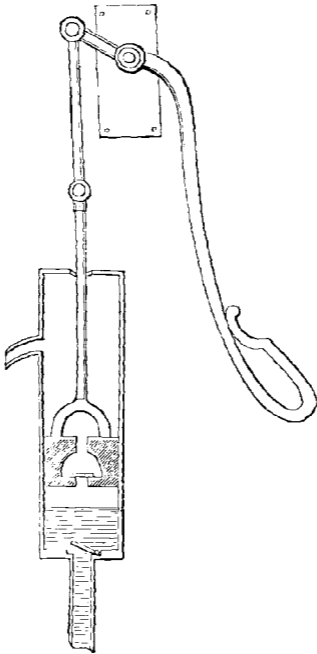


Fig. 2. — Pompe aspirante.

avec une nappe d'eau (fig. 2), peut se mouvoir un piston fermant hermétiquement le cylindre

ou corps de pompe. Le piston étant au bas de sa course, quand on le relève l'eau est aspirée, monte dans le corps de pompe, et peut être déversée au dehors. Pour expliquer ce phénomène bien connu ¹, les anciens philosophes faisaient remarquer que le piston en montant laissait le vide au-dessous de lui; la nature, disaient-ils, ayant horreur du vide, l'eau doit se précipiter dans le corps de pompe et remplir tout l'espace abandonné par le piston.

Cette théorie de l'horreur de la nature pour le vide, *horror vacui*, imaginée par les disciples d'Aristote, subsistait encore au xvii^e siècle.

Un jour, à Florence, un jardinier, ayant entre les mains une pompe plus longue que les pompes ordinaires, constata que l'eau ne pouvait être déversée au dehors; elle s'élevait à 32 pieds (10 m. 37), mais ne pouvait monter plus haut. Notre jardinier s'adressa à un savant déjà très-renommé, Galilée ², pour connaître la cause de sa mésaventure. Galilée, surpris, se contenta de répondre, en plaisantant sans doute, que « la nature n'avait horreur du vide que jusqu'à 32 pieds »! Hâtons-nous d'ajouter que Galilée, bien qu'il ne pût donner l'explication du phénomène de la pompe, savait que l'air est pesant.

1. L'invention des pompes aspirantes, qui remonte au ii^e siècle avant notre ère, est attribuée à Ctésibius, célèbre mathématicien d'Alexandrie.

2. Galilée, l'illustre astronome italien, l'apôtre de la doctrine du mouvement de la terre, naquit à Pise en 1564 et mourut aveugle, près de Florence, le 8 janvier 1642.

4. *Expériences de Torricelli.* — Un disciple de Galilée, Torricelli, né à Faenza, en Italie, et qui fut le compagnon dévoué de son maître devenu aveugle, s'occupa de la question des pompes.

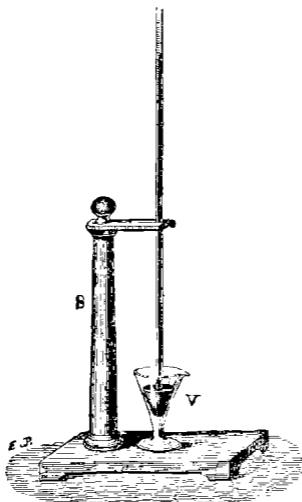


Fig. 3. — Expériences de Torricelli.

Il prit un tube de verre fermé à l'une de ses extrémités (fig. 3), le remplit de mercure, et, après avoir bouché avec le doigt l'extrémité ouverte, renversa le tube dans une cuve à mercure. Le mercure descendit dans le tube, se

maintenant à la même hauteur, quelle que fût la longueur du tube. C'est le même phénomène qui avait été constaté pour l'eau. Seulement, tandis que l'eau s'élevait à une hauteur de 32 pieds, le mercure, dans l'expérience de Torricelli, ne se maintenait qu'à une hauteur de 27 pouces $1/2$. Il n'était pas difficile de remarquer que le rapport entre ces deux hauteurs (13,6) était précisément le rapport inverse des poids d'un même volume d'eau et de mercure, ou, comme l'on dit, le rapport inverse des densités de ces deux liquides. Cette célèbre expérience, qui eut lieu en 1643, montrait que, dans le jeu de la pompe, un liquide s'élevait non pas parce qu'il devait fatalement remplir un vide; mais parce qu'il était soumis à l'action d'une force, la pression de l'air, s'exerçant à la surface de la nappe d'eau. Cette pression étant d'ailleurs mesurée, soit par le poids d'une colonne d'eau de 32 pieds, soit par le poids d'une colonne de mercure de 27 pouces $1/2$ de hauteur.

5. *Expériences de Pascal.* — Le résultat de l'expérience de Torricelli fut communiqué à Pascal ¹, qui vivait à Rouen, dans sa famille. Pascal conçut l'idée de démontrer d'une manière indiscutable la pesanteur de l'air. Nous donnons dans une note spéciale, placée à la fin de ce volume (note A), d'importants extraits de

1. Blaise Pascal, l'un de nos plus savants et l'un des plus remarquables écrivains du xvii^e siècle, naquit à Clermont-Ferrand, en 1623, et mourut à Paris, à l'âge de trente-neuf ans.

la lettre écrite à cette occasion par Pascal à son beau-frère Périer, et, dans une seconde note (note B), nous reproduisons le récit fait par Périer de son expérience.

L'idée de Pascal était celle-ci : Si le mercure contenu dans le tube de Torricelli est soutenu par la pesanteur de l'air, sa hauteur doit diminuer à mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, puisqu'on laisse au-dessous de soi une couche d'air dont le poids n'agit plus.

Ce résultat fut confirmé par l'expérience. Pascal, au comble de la joie, entreprit de recommencer l'épreuve à Paris, et il mesura la hauteur de la colonne mercurielle au sommet de la tour Saint-Jacques-la-Boucherie et au niveau du sol.

Il écrivait quelques jours après : « De cette expérience se tirent beaucoup de conséquences, comme : le moyen de connaître si deux lieux sont au même niveau, c'est-à-dire également distants du centre de la terre, ou lequel des deux est le plus élevé... » L'expérience de Pascal avait complètement confirmé celle de M. Périer.

La statue de Blaise Pascal, placée au bas de la tour Saint-Jacques, rappelle le souvenir des recherches du grand savant.

Ce serait une erreur de croire que tout le monde se rendit à l'évidence des faits proclamés par Pascal. Dans ce tube, qui renferme une colonne de mercure de 76 centimètres de hauteur, Pascal montrait que la partie comprise entre le sommet de la colonne et l'extré-

mité supérieure du tube était vide. Il n'en est rien, objectaient ses adversaires ; l'un d'eux, le Père Noël, affirmait que cet espace prétendu vide était occupé « par l'élément lumineux de l'air subtil, qui a traversé les parois du verre pour prendre la place du mercure ou de l'eau » !!

6. *Expériences d'Otto de Guéricke.* — Dans le même temps que Torricelli et Pascal faisaient

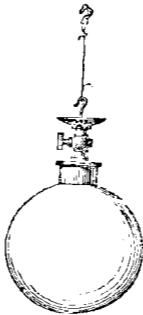


Fig. 4. — Ballon vide servant à démontrer que l'air est pesant.

leurs immortelles expériences, un savant physicien de Magdebourg, Otto de Guéricke, né en 1602 et mort en 1686, désireux de recommencer l'expérience d'Aristote sur la pesanteur de l'air, était conduit à imaginer une machine pneumatique, c'est-à-dire une machine à faire le vide. Disposant alors de ce puissant instrument, O. de Guéricke put peser un ballon de verre dans l'intérieur duquel il avait fait le vide (fig. 4), et comparer ce poids à celui du

même ballon plein d'air. Le ballon, ayant dans les deux cas le même volume extérieur, déplaçait le même volume d'air, *perdait une même partie de son poids* dans les deux pesées; on obtenait donc, par différence, le poids d'un volume d'air égal au volume intérieur du ballon.

Otto de Guéricke montra encore les effets de la pesanteur de l'air en faisant le vide dans

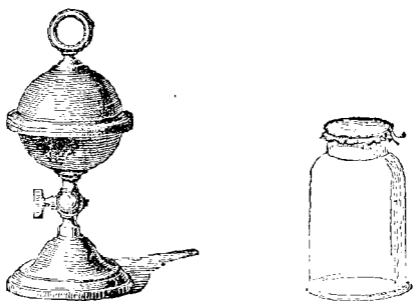


Fig. 5. — Hémisphères de Magdebourg. Fig. 6. — Crève-vessie.

l'intérieur d'une sphère formée de deux hémisphères mobiles. L'air n'existant plus à l'intérieur, la pression atmosphérique s'exerçant sur la surface extérieure des hémisphères, il devenait impossible de les détacher l'une de l'autre. En laissant rentrer l'air dans la sphère, les deux hémisphères de métal se séparaient d'elles-mêmes (fig. 5).

On peut encore mettre en évidence la pression de l'air en attachant solidement un morceau de vessie sur un manchon de verre creux,

placé sur une machine pneumatique. Quand on fait le vide à l'intérieur, la vessie s'infléchit et se rompt. L'air entre brusquement et produit une détonation (fig. 6).

Mais, pour rendre justice à chacun, il faut ajouter encore un quatrième nom à côté de ceux de Torricelli, de Pascal et d'Otto de Guéricke. En 1630, treize ans avant les travaux du disciple de Galilée, le chimiste Jean Rey disait que si l'étain en brûlant augmente de poids, *cet excès de poids est dû à l'air qui a été absorbé.*

Ainsi, l'air est pesant et nous pouvons maintenant évaluer exactement son poids.

7. *Poids de l'atmosphère.* — Une colonne de mercure, haute de 76 centimètres, a le même poids qu'une colonne d'air, ayant la même base, qui s'élèverait jusqu'à l'extrême limite de l'atmosphère. Rien n'est donc plus facile que de mesurer la pesanteur de l'atmosphère. Une colonne cylindrique de mercure ayant pour base 1 centimètre carré et pour hauteur 76 centimètres a un volume de 76 centimètres cubes. Un centimètre cube d'eau pèse un gramme ; la densité du mercure étant 13,6, un centimètre cube de mercure pèsera 13 gr. 6, et 76 centimètres cubes de mercure pèseront 76×13 gr. 6, ou 1,033 gr. 6.

La pression exercée par l'atmosphère sur chaque centimètre carré de la surface de la terre est donc de 1,033 gr. 6.

La surface de la terre étant d'environ 510 millions de kilomètres carrés, c'est-à-dire de

5,100,000,000,000,000,000 de centimètres carrés (51 suivi de 17 zéros), le poids qu'elle supporte, par la pesanteur de l'atmosphère, est d'environ 5,100,000,000,000,000,000 \times 1,033 gr. 6, soit cinq quintillions de kilogrammes environ.

On a trouvé que le poids de la terre est de 5,875,000 quintillions de kilogrammes; le poids de l'atmosphère est donc à peu près la millionième partie du poids de la terre.

Nous avons donné une idée suffisante du poids de l'atmosphère en disant que c'est le poids d'une masse de mercure qui envelopperait la terre sur une épaisseur de 76 centimètres; nous pouvons dire encore que c'est le poids d'une sphère pleine de fer fondu dont le diamètre aurait 216 kilomètres.

8. *Le baromètre.* — Lorsqu'on s'élève dans l'air, le niveau du mercure descend dans le tube de Torricelli. Pascal avait immédiatement compris, nous l'avons fait remarquer, que cette propriété pourrait être utilisée pour la mesure des hauteurs. Ce jour-là, le baromètre¹ était inventé.

Nous ne décrirons pas, bien entendu, les différents baromètres qui ont été successivement construits et dont voici l'énumération sommaire: baromètre à tube coudé, de Morland; baromètre à roue, de Hooke; baromètre bitubulé, d'Huy-

1. Baromètre vient de deux mots grecs, *baros*, pesanteur, et *métron*, mesuré; il signifie par conséquent: instrument qui donne la mesure de la pesanteur, en sous-entendant qu'il s'agit de la pesanteur de l'air.

gens; baromètre de mer, de Amontons; baromètre rectangulaire, de Jean Bernouilli; baromètre de Fortin; baromètre à siphon, de Gay-Lussac et Bunsen; baromètres métalliques, etc.

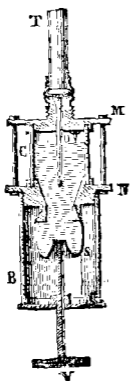


Fig. 7. — Cuvette isolée du baromètre de Fortin.

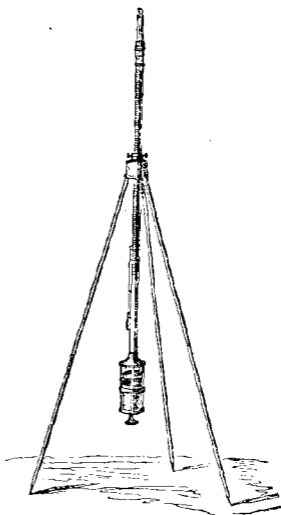


Fig. 8. — Baromètre de Fortin suspendu verticalement.

Nous décrirons seulement le baromètre le plus employé et qui est dû à Jean Fortin, professeur d'hydrographie à Brest, né à Paris en 1719, mort en 1796. Le baromètre de Fortin se compose de deux parties essentielles (fig. 7) : la cu-

vette et le tube barométrique proprement dit. La cuvette est elle-même formée de trois parties, qui sont, en commençant par le haut : 1^o couvercle en bois doublé de cuivre surmonté d'un tube central, laissant passer le tube barométrique T; 2^o lanterne cylindrique en verre, C, mastiquée à ses deux bouts; 3^o cylindre de buis formé de deux bagues vissées l'une sur l'autre, dont l'une permet tout à la fois de visser le grand cylindre de cuivre B qui termine la cuvette et de rattacher cette partie inférieure au couvercle supérieur au moyen d'une longue vis, et l'autre permet de fixer la peau de chamois S qui sert de réservoir au mercure. Le fond du cylindre inférieur de cuivre est d'ailleurs traversé par une vis ascendante V qui relève ou abaisse à volonté la poche en peau de chamois qui contient le mercure. Cette disposition a pour but de ramener la surface du mercure dans la cuvette à un niveau constant. A cet effet, le couvercle supérieur est percé d'un trou latéral qui donne accès à une pointe d'ivoire O invariablement fixée et dont l'extrémité marque le zéro de l'échelle.

Le tube du baromètre est effilé en pointe à son extrémité qui plonge dans la cuvette; une peau de chamois lie ce tube au tube central qui surmonte le couvercle de la cuvette. Cette peau ferme ainsi la cuvette, tout en permettant à l'air de circuler librement. Le tube est garanti des chocs par une enveloppe cylindrique de cuivre qui porte en outre l'échelle divisée en millimètres servant à mesurer la hauteur du

mercure. Cette enveloppe est coupée longitudinalement par deux fentes opposées, à travers lesquelles on voit le sommet du mercure et où se meut un curseur à *vernier* permettant de lire les dixièmes de millimètre. Un thermomètre est, en outre, appliqué sur l'enveloppe de cuivre (fig. 8).

Nos lecteurs trouveront, dans une note spéciale (note C) placée à la fin de ce volume, les instructions données par l'observatoire de Montsouris pour l'observation du baromètre.

9. *Variations de la pression à la surface de la terre.* — Quels résultats a-t-on obtenus depuis que le baromètre est l'objet d'observations régulières dans les établissements météorologiques ?

La hauteur du baromètre, à peu près constante dans les régions voisines de l'équateur, est au contraire très-variable dans nos régions tempérées.

La pression atmosphérique varie d'un lieu à l'autre avec sa latitude ¹. La colonne mercurielle, à l'équateur, a une hauteur moyenne de 758 millimètres ; cette hauteur augmente peu à peu à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur et elle atteint 767 millimètres vers le 35^e degré de latitude. Ce maximum de pression s'observe dans le détroit de Gibraltar, dans l'île de

1. La latitude d'un lieu, c'est la distance, comptée sur la circonférence de la terre, qui sépare ce lieu de l'équateur. La latitude est nulle à l'équateur ; elle est de 90 degrés au pôle nord. Paris est à la latitude de 48 degrés 50 minutes.

Chypre, à Téhéran (Perse), à Caboul (Afghanistan), à Yedo (Japon), etc. La pression diminue quand on s'élève davantage vers le pôle.

A Paris, la hauteur moyenne du baromètre est voisine de 760 millimètres. Au 64^e degré de latitude, la pression passe par un minimum très-accentué : la colonne mercurielle n'a plus que 753 millimètres de hauteur. Puis le baromètre se relève rapidement, et, au Spitzberg (75^e degré), la pression est remontée à 768 millimètres.

Il ne faudrait pas croire cependant que tous les lieux situés sur un même parallèle, ayant par conséquent la même latitude, supportent la même pression. On trouve au contraire d'assez grandes différences entre deux lieux également distants de l'équateur ; il faut les attribuer à la différence des climats ou à la forme variable des continents. Si l'on réunit sur une carte, par une ligne continue, tous les lieux dont les variations barométriques mensuelles sont les mêmes, on obtient une série de lignes qu'on appelle *lignes isobares* et qui ne se confondent pas tout à fait avec les parallèles. Elles se recourbent toutes vers le nord à travers l'océan Atlantique. Ces courbes, imaginées par Kaemtz, « indiquent, dit M. Elisée Reclus, la véritable latitude pour les mouvements généraux de l'atmosphère. En dépit de l'extrême mobilité des airs, en dépit des vagues de tempête qui se déroulent avec fureur de l'un ou l'autre point de l'horizon et troublent pour un

moment la régularité des phénomènes atmosphériques, ces lignes maintiennent d'année en année leur direction moyenne; indices des troubles de l'air, elles montrent par leur permanence et leur régularité combien ces troubles dépendent eux-mêmes des grandes lois qui régissent la planète. »

Non seulement la pression atmosphérique varie d'un lieu à un autre, mais, dans un même lieu, cette pression n'est pas constante aux différentes heures du jour, dans les différentes saisons, enfin et surtout à l'approche des grandes perturbations atmosphériques : orages, tempêtes, changements de direction des vents, etc.

Dans nos contrées, à partir de midi, la colonne de mercure baisse et atteint son minimum entre trois et cinq heures; puis elle remonte, et atteint un maximum entre neuf heures et onze heures du soir. Elle descend alors, passe par un minimum vers quatre heures du matin, remonte jusqu'à dix heures et redescend, comme nous l'avons indiqué. Résumons : minimum vers quatre heures de l'après-midi et quatre heures du matin; maximum vers dix heures du soir et dix heures du matin.

Dans les chaudes régions qui avoisinent l'équateur, et particulièrement dans celles où soufflent les vents alizés, les irrégularités du baromètre sont à peu près inconnues. Pendant la durée de chaque jour, la colonne de mercure éprouve une double oscillation, dont la constance est telle, en certains lieux, qu'on pour-

rait presque en déduire la marche des heures¹.

La hauteur moyenne du baromètre change avec les mois, les saisons, la direction des vents... Dove a montré que la pression va en diminuant de janvier à juin, puis en augmentant de juin jusqu'en hiver.

L'astronome Bouvard, en réunissant un grand nombre d'observations, ce qui fait disparaître les causes accidentelles, a reconnu que le baromètre baisse par les vents du sud et monte par les vents du nord.

L'amplitude de ces variations, d'un mois à l'autre de l'année, est d'ailleurs très-inégale dans les différents pays. M. Ch. Sainte-Claire Deville a montré² que, à la Guadeloupe et dans la chaîne septentrionale des petites Antilles, l'oscillation du baromètre est comprise entre 760 mil. 6 (octobre) et 763 mil. 7 (mars). Dans l'Inde, au contraire, à Bénarès, à Calcutta, le baromètre oscille de 16 millimètres de janvier à juin. La diversité de ces oscillations a sa raison d'être et révèle une particularité du climat de chacune de ces contrées.

D'une manière générale, on peut dire que la pression totale exercée sur l'hémisphère nord augmente en hiver et diminue en été; l'in-

1. Cette oscillation diurne du baromètre a été observée d'abord par un habitant de Surinam, en 1722, dont le nom est resté ignoré; puis par le Père Boudier, en 1740; par de Humboldt; enfin par Ch. Sainte-Claire Deville (voyez Marié Davy, *Les mouvements de l'atmosphère*, p. 184).

2. *Météorologie des Antilles*, p. 30.

verse a lieu sur l'hémisphère austral, où la même formule est applicable, mais où les saisons sont renversées.

Nous dirons plus loin, en parlant de la température de l'air, quelle est la cause des variations diurnes du baromètre, ainsi que de celles qui se manifestent d'une saison à l'autre.

10. *Marées atmosphériques.* — Sous les influences combinées de la lune et du soleil, les eaux de la mer sont soulevées deux fois chaque jour et présentent le phénomène des marées. On a pensé que les variations diurnes de la pression atmosphérique pourraient être dues à un phénomène analogue. Il n'en est rien, et nous le montrerons en parlant de l'origine des variations diurnes du baromètre.

11. *Prévision du temps.* — A côté de ces variations régulières, on observe des troubles accidentels dont la constatation permet, dans une certaine mesure, de prévoir les changements de temps. C'est ainsi que, sur certains baromètres (fig. 9), on lit les indications : variable, pluie ou vent, grande pluie ou grand vent, tempête, beau, beau fixe, très-sec. Ces baromètres n'indiquent avec quelque exactitude que les variations de pression. Il est d'ailleurs très-difficile de formuler exactement les relations qui existent entre les indications du baromètre et les changements météorologiques.

Depuis l'année 1785, époque où l'on a commencé, à l'Observatoire de Paris, un cours régulier d'observations météorologiques, la plus faible pression barométrique a été constatée

le 25 décembre 1821, à onze heures un quart du soir ; la colonne mercurielle n'avait que 713 mill. 4 de hauteur : le lendemain matin, à cinq

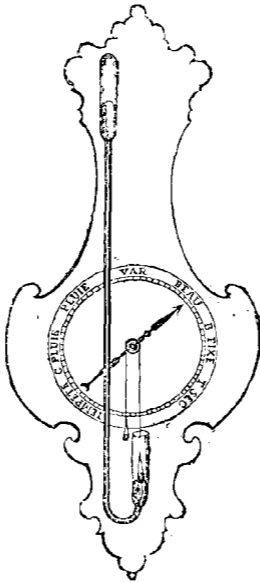


Fig. 9. — Baromètre à cadran.

heures, l'astronome Gambart observait à Boulogne-sur-Mer une hauteur plus faible encore : 710 mil. 5. La plus forte pression barométrique à Paris a été observée le 6 février de cette même

année 1821 : le mercure s'est élevé à 780 mill. 8. Ainsi, dans la même année, la différence entre les hauteurs du baromètre a été de 70 mill. 3 ! Cette année-là était d'ailleurs exceptionnelle ; on peut dire qu'en moyenne l'écart entre les maxima et les minima barométriques n'est que de 44 millimètres et demi.

Un baromètre haut, au-dessus de 766 millimètres, et un baromètre bas, au-dessous de 755 millimètres, sont l'un et l'autre l'indice d'une perturbation atmosphérique ¹. Dans le premier cas, on est en dehors du cercle d'action directe des mauvais temps, mais on peut en être très près. Dans le second cas, on a pénétré dans leur cercle d'action, mais on peut se trouver assez loin du centre pour que les effets ressentis ne soient pas très-marqués. Un baromètre haut est rarement accompagné par la pluie ; mais il n'exclut pas les fortes brises, surtout sur les bords de la région à forte pression et dans le voisinage d'une région à pression faible. Un baromètre bas peut coexister avec un temps calme et beau, mais d'une manière passagère. M. Marié Davy ajoute encore : Les fortes pressions barométriques développées sur le nord-ouest de l'Europe sont généralement peu durables ; elles se transportent habituellement vers l'est, et les mauvais temps les remplacent. Les fortes pressions qui se développent au nord-est de la Russie et surtout sur le centre de l'Europe sont ordinairement plus prolongées ; elles

1. Marié Davy, *loc. cit.*

y produisent des périodes de beaux jours, très-froids en hiver, très-chauds en été, et des temps généralement assez calmes.

Il est bien entendu que ces expressions *baromètre haut* et *baromètre bas* se rapportent à la hauteur moyenne du baromètre dans chaque lieu ; puisque selon l'altitude, la latitude, etc., chaque lieu a, comme nous l'avons dit, une pression barométrique différente d'un lieu voisin. A Genève, par exemple, la hauteur moyenne du baromètre est de 727 millimètres ; un baromètre à cadran, gradué à Paris, marquerait toujours *grande tempête* à Genève.

Quand on veut se servir du baromètre pour prévoir les changements du temps, il faut considérer non-seulement la hauteur en valeur absolue de la colonne mercurielle, mais aussi et surtout les variations de cette hauteur. Quand le baromètre est bas, dit-on ordinairement, il pleut. Ce n'est pas tout à fait exact. Sur 1,000 observations de pluies, on trouve que 734 ont eu lieu quand le baromètre était plus bas que la moyenne ; mais 346 chutes d'eau ont eu lieu alors que le baromètre était plus haut que cette moyenne. C'est quand le baromètre baisse et non toujours quand il est bas, que la pluie est à craindre.

CHAPITRE II

Elasticité de l'air.

1. *Existence des gaz.* — Tous les corps de la nature peuvent affecter trois états différents : l'état solide, l'état liquide, l'état gazeux. C'est ainsi que l'eau, solide en hiver (la glace), est liquide de zéro à 100 degrés, et, quand la température augmente, se transforme en un fluide particulier, la vapeur d'eau, dont les propriétés curieuses paraissent avoir été connues du mathématicien grec Héron, qui vivait 120 ans avant l'ère chrétienne.

En s'échappant de la chaudière qui contient l'eau chauffée jusqu'à l'ébullition, la vapeur d'eau est visible, car elle se condense presque immédiatement à l'air sous forme de brouillard. Mais il y a des substances fluides qui, étant très-loin de leur point de condensation, sont impalpables et invisibles : ce sont les gaz. Il n'y a pas bien longtemps qu'on a reconnu leur existence.

Un savant belge qui vivait à la fin du xv^e siècle, Van Helmont, montra le premier qu'il existe des substances impalpables, invisibles, et cependant matérielles. « Cet esprit, inconnu jusqu'ici, dit-il, qui ne peut être contenu dans des vaisseaux ni être réduit en un corps visible, je l'appelle d'un nom nouveau, *gaz* ¹. »

1. Le mot *gaz* vient de l'allemand *Geist*, qui veut dire esprit. Van Helmont avait d'abord donné à la

2. *Constitution moléculaire de l'air.* — L'air est un gaz. Il possède, comme tous les fluides aériformes, la singulière propriété de se répandre dans tous les espaces qui lui sont ouverts. Tandis que les corps solides et liquides ont un volume déterminé, un même poids d'air peut occuper tous les volumes. Pour expliquer cette propriété singulière, on a fait tout récemment des hypothèses sur la constitution moléculaire des corps qui rendent assez bien compte des phénomènes que présentent les corps dans leurs différents états. Ces hypothèses, il faut le dire, avaient été déjà proposées par certains philosophes de l'antiquité; de telle sorte qu'il est plus exact de dire qu'elles ont été rajeunies dans ces derniers temps par les travaux de MM. Hérapath, Joule, Krönig, Clausius, Clerk Maxwell, Wurtz, etc.

On admet aujourd'hui que les corps ne sont pas formés d'une matière continue; qu'on ne peut les diviser à l'infini. La dernière partie à laquelle on arrive en divisant la matière s'appelle atome, nom formé de deux mots grecs qui veulent dire « ne peut être coupé ».

Ces atomes sont en mouvement dans tous les corps; ils ont une étendue sensible et une forme déterminée; ils diffèrent, d'un corps à l'autre, par leurs poids relatifs et par leurs

substance impalpable qu'il venait de découvrir le nom d'*esprit sylvestre*, du mot latin *sylvestris*, qui veut dire sauvage.

mouvements ¹. Ces atomes sont indestructibles, indivisibles par les forces physiques et chimiques auxquelles ils servent de point d'application. Les atomes ne sont point soudés les uns aux autres, mais ils sont séparés au contraire par un fluide très-raréfié, élastique, qu'on appelle *éther*. Cet éther est agité par des vibrations perpétuelles qui se transmettent de la matière atomique à l'éther et de l'éther à la matière atomique.

Les atomes s'attirent, et l'on appelle affinité la force qui tend à les réunir. Mais cette affinité est élective, c'est-à-dire qu'un certain nombre d'atomes peuvent se grouper, former une agrégation d'atomes, et cette agrégation se nomme *molécule* (du latin *molecula*, petite masse). Ces molécules ont une masse déterminée, un centre de gravité, un mouvement propre; elles s'attirent l'une l'autre en vertu d'une force qu'on appelle cohésion.

Dans un corps solide, dit M. Wurtz, les molécules conservent leurs positions respectives et sont comme orientées et enchaînées les unes aux autres, quoique chacune ait son orbite et une certaine liberté d'allure.

Si l'on vient à détruire la cohésion qui unit les molécules d'un corps solide, d'abord en pulvérisant ce corps, puis en le chauffant, on obtient un corps liquide dont les molécules glissent sans cohésion les unes sur les autres. D'ailleurs, s'il est vrai que le liquide n'a pas

1. Voyez Wurtz, *La théorie atomique*.

par lui-même de forme déterminée et qu'il emprunte cette forme aux vases qui le renferment, il faut dire que ce volume est invariable : le liquide, ainsi que le corps solide, n'occupe jamais qu'une même portion de l'étendue.

Quand nous avons élevé la température d'un corps solide, les atomes et les molécules dont il est composé se sont écartés : le volume a augmenté. Cet écartement est devenu assez considérable pour que le corps ait changé d'état : il est devenu liquide. Chauffons encore, l'écartement des molécules augmente de plus en plus, leur tendance à rester unies s'affaiblit, et, à un certain moment, toute cohésion étant détruite, les molécules se séparent et paraissent devoir se répandre dans tout l'espace : le liquide s'est transformé en gaz.

L'air, comme tous les gaz, est, d'après Daniel Bernoulli ¹, « formé de petites particules libres dans l'espace et animées de mouvements rectilignes très-rapides... Chaque molécule d'air se meut avec une vitesse de 485 mètres par seconde : un projectile qui serait lancé verticalement avec cette vitesse s'élèverait à une hauteur de 12,000 mètres avant de retomber. Mais ces molécules ne peuvent pas parcourir librement d'aussi grandes distances ; leur nombre est tellement immense qu'à chaque instant elles arrivent en conflit, s'entre-cho-

1. Daniel Bernoulli, né à Groningue, en 1700, mourut en 1782. Professeur à Saint-Pétersbourg et à Groningue, il fut dix fois couronné par notre Académie des sciences.

quent et rebondissent. » Chaque molécule d'air ne peut parcourir librement qu'un chemin extrêmement petit, qui a été mesuré et évalué à 95 millièmes de millimètre, « ce qui est une grandeur environ 25 fois plus petite que la plus petite grandeur vue au microscope. » Une telle molécule subit, pendant une seconde, un nombre de chocs qui est de 4700 millions !

Nous avons dit que la matière n'est pas continue, qu'elle est formée d'atomes groupés en systèmes que nous appelons molécules, et que deux atomes dans la molécule sont séparés par un fluide appelé éther qui sépare également les différentes molécules d'un même corps. La matière est donc formée d'une partie vide et d'une partie pleine. M. Clausius admet que, dans un centimètre cube d'air, les molécules matérielles n'occupent qu'un tiers de millimètre cube, c'est-à-dire la 3000^e partie de l'espace total.

On est allé plus loin. M. Loschmidt, sir William Thomson, M. Clerk Maxwell, M. Van der Waals, ont cherché le diamètre des molécules ou, pour dire plus exactement, le diamètre de leur sphère d'action : ils ont trouvé une fraction de millième de millimètre. Connaissant les volumes moléculaires, on peut calculer le nombre des molécules qui existent dans l'unité de volume d'un gaz, leurs distances respectives, leurs poids absolus. « Ici, nous arrivons, dit M. Wurtz, à des résultats numériques qui confondent l'imagination et dont on a quelque peine à saisir la significa-

tion réelle. Un centimètre cube d'air renferme 21 trillions de molécules, nombre qui représente 21 fois un million élevé à la troisième puissance ou 21 suivi de 18 zéros!! »

3. *Loi de Mariotte.* — Ce qui caractérise surtout les gaz, c'est leur facile compressibilité, et la propriété qu'ils possèdent de reprendre leur volume primitif quand la force qui agissait sur eux cesse d'exister.

Puisque les molécules gazeuses, si elles étaient libres, seraient en mouvement, on comprend que les gaz doivent exercer une pression sur les vases dans lesquels ils sont enfermés. A mesure qu'on réduit le volume d'un même poids de gaz, la pression qu'il exerce sur son enveloppe augmente. Un physicien français, Mariotte, né en 1620 et mort en 1684, immortalisa son nom en trouvant une loi simple entre le volume d'un gaz et la pression qu'il exerce. La loi de Mariotte, connue en Angleterre sous le nom de loi de Boyle, s'énonce ainsi : Quand une même masse de gaz, à une température constante, est soumise à des pressions différentes, elle prend des volumes qui sont en raison inverse des pressions.

Si donc V représente le volume d'un gaz soumis à la pression P , et si V' représente le volume qu'occupe ce même gaz, à la même température, et sous la pression P' , nous aurons l'égalité $\frac{V}{V'} = \frac{P'}{P}$ ou encore

$$VP = V'P',$$

ce qui nous fournit un second énoncé de la loi : Le produit du volume d'une masse de gaz par la pression qu'elle supporte est constant.

On démontre aisément que ce résultat d'expérience a une signification théorique qu'on peut exprimer ainsi : Dans un gaz, la force répulsive qui s'exerce entre deux tranches consécutives contenant le même nombre de molécules est en raison inverse de leur distance.

Nos lecteurs trouveront dans tous les traités de physique la démonstration expérimentale de la loi de Mariotte, quand les pressions varient dans de faibles limites.

Sans vouloir entrer dans de longs développements, nous pouvons dire que la loi de Mariotte, qui dans la pensée de son auteur s'appliquait à tous les gaz et dans des limites quelconques de pression, ne s'applique *exactement* à aucun d'eux, si ce n'est à l'air et encore sous des pressions peu considérables. L'air se comprime plus que la loi ne l'indique quand il est soumis à des pressions un peu fortes. Déjà M. Regnault avait mis ce résultat hors de doute. Des expériences récentes dues à M. Cailletet ont confirmé les observations de M. Regnault. Ce savant a montré que lorsque les pressions augmentent, l'air et l'azote se compriment plus que la loi de Mariotte ne l'indique ; mais, quand on dépasse la pression de 80 atmosphères, le phénomène inverse se produit. Ainsi, le produit $P \times V$ diminue quand P augmente, présente un minimum quand la pression atteint 80 atmosphères, et augmente

d'une manière continue quand les pressions passent de 80 à 700 atmosphères.

4. *Densité de l'air.* — Quand il s'agit d'un gaz quelconque, on appelle densité de ce gaz le rapport de son poids à celui d'un égal volume d'air pris dans les mêmes circonstances de température et de pression. La densité de l'air, définie de cette manière, serait donc égale à l'unité. Si l'on rapporte cette densité à celle de l'eau, le poids d'un centimètre cube d'eau étant un gramme, la densité de l'air sera précisément le poids d'un centimètre cube d'air pris à zéro degré et sous la pression moyenne 0 m. 760. M. Regnault a déterminé avec le plus grand soin le poids d'un litre d'air sec à 0 degré et sous la pression de 0 m. 760; il a trouvé que ce poids est de 1 gr. 293187. La densité de l'air par rapport à l'eau est donc de 0,001293187.

Cette densité, comme celle d'un gaz quelconque, varie avec la température et avec la pression; cependant l'air est un des gaz pour lesquels cette variation est le plus faible.

5. *Dilatation de l'air.* — Nous parlerons plus loin des effets que la chaleur produit sur notre atmosphère; mais le phénomène général que l'on constate est celui-ci: quand l'air s'échauffe, il se dilate; il se contracte au contraire si la température diminue.

Si nous appelons coefficient de dilatation d'un gaz l'augmentation que subit l'unité de volume de ce gaz quand sa température augmente de un degré, nous reconnaitrons que ce coefficient

est sensiblement le même pour un grand nombre de gaz, et égal à 0,00366 ou à $\frac{1}{273}$. La dilatation de l'air a été l'objet d'expériences nombreuses effectuées par M. Regnault. Le coefficient de dilatation a été déterminé de deux manières bien différentes :

1° En maintenant l'air à une pression constante et en mesurant les variations de son volume quand la température s'élève;

2° En maintenant l'air sous un volume constant et en mesurant les pressions nécessaires pour obtenir ce résultat.

Les coefficients obtenus par ces deux méthodes ne sont pas tout à fait les mêmes. De plus, ils varient avec la pression à laquelle ils sont soumis. Si a représente le coefficient de dilatation, on trouve :

Volume constant.		Pression constants.	
Pression (100°)	100 a	Pression	100 a
149 ^{mm}	0,365	760 ^{mm}	0,367
2306	0,368	2525	0,367
4992	0,371	2620	0,370

6. *Liquéfaction et solidification de l'air.* — Nous pouvons admettre que l'air suit sensiblement la loi de Mariotte et diviser les différents gaz que nous connaissons en deux groupes : d'une part, ceux qui se compriment plus rapidement que l'air, et, d'autre part, ceux qui se compriment moins que lui. Dans le premier groupe se trouvent l'acide carbonique, l'ammo-

niaque, l'hydrogène sulfuré, etc. L'hydrogène est le type des gaz du second groupe. Nous remarquons que les gaz qui se liquéfient aisément appartiennent au premier groupe; la densité de ces gaz augmente soit quand la pression croît, soit quand la température diminue, et, à une température suffisamment élevée, la densité ne varie plus avec la pression; leur coefficient de dilatation augmente avec la pression. Les phénomènes inverses se produisent quand on opère sur des gaz très-difficilement liquéfiables, tels que l'hydrogène.

Que conclure de ces résultats? On en déduit que la loi de Mariotte se rapporte à un gaz fictif suffisamment éloigné de son point de liquéfaction. Dans ces conditions, à cette limite, qui d'ailleurs n'est pas la même pour les différents gaz, les gaz suivraient tous la loi de Mariotte: ils auraient tous la même dilatation, indépendante de la pression, et égale à 0,00366; leurs densités, variables d'un gaz à l'autre, seraient constantes pour chacun d'eux dans certaines limites de température et de pression. Quand on approche de cette limite à laquelle le gaz se transforme en liquide, sa compressibilité augmente, son coefficient de dilatation augmente: c'est ce qui arrive pour l'acide carbonique, l'ammoniacque, etc. Plus on s'éloigne de cette limite, plus les gaz paraissent jouir de propriétés communes.

Lorsque Van Helmont eut constaté l'existence des gaz, il crut pouvoir les distinguer nettement de cette autre catégorie de fluides

aériformes qu'on connaissait déjà sous le nom de *vapeurs*. Les gaz, disait-il, ne peuvent changer d'état, tandis que les vapeurs sont susceptibles au contraire de se liquéfier. Cette distinction était inexacte. Nous savons aujourd'hui que les vapeurs sont des gaz très-rapprochés de leur point de liquéfaction et qui se conduisent exactement comme les gaz quand on les porte à une température suffisamment élevée. La preuve a d'ailleurs été faite d'une façon péremptoire, le jour où l'on est arrivé à liquéfier les gaz.

En 1823, Faraday liquéfiait le chlore, l'acide sulfureux, l'ammoniaque, l'hydrogène sulfuré, l'acide carbonique, le protoxyde d'azote. C'est surtout par la compression que Faraday déterminait ces changements d'état. Des expériences ultérieures montrèrent que ces résultats pouvaient être obtenus même à la pression ordinaire en refroidissant suffisamment le gaz. « Soit que nous condensions les gaz par la pression, soit que nous les réduisions en liquide par un abaissement de température, l'un et l'autre moyen ont pour effet un rapprochement de leurs particules.... Mais il ne suffit pas de rapprocher les particules de certains gaz pour les liquéfier, et l'on ne peut pas les rapprocher indéfiniment par la pression seule.

M. Natterer de Vieux a comprimé l'oxygène, l'hydrogène et l'azote jusqu'à 3,000 atmosphères sans parvenir à les liquéfier. Ces gaz, appelés permanents jusque dans ces derniers mois, n'ont pu être liquéfiés que par l'action

combinée d'une forte pression et d'un grand froid ¹. »

Au commencement de l'année 1878, tous les gaz, sauf cinq, avaient été liquéfiés. Ces cinq gaz, appelés permanents, étaient : l'oxygène, l'azote, l'hydrogène, le bioxyde d'azote et l'oxyde de carbone. L'air, qui est un mélange d'oxygène et d'azote, comme nous le verrons plus loin, n'avait pu être liquéfié ni solidifié. Presque en même temps, MM. Cailletet, à Paris, et Pictet, à Genève, réussirent à liquéfier tous ces gaz.

M. Cailletet opère de la manière suivante : il refroidit le gaz à 30° au-dessous de zéro, puis le soumet à une pression de 300 atmosphères. Dans ces conditions, rien ne se produit. Mais, vient-on à laisser échapper ce gaz si fortement comprimé, par le fait même de la détente, la température du gaz descend à 200° au-dessous du point de départ (c'est-à-dire, dans les conditions actuelles, à 230 degrés au-dessous de zéro).

Pour produire de basses températures, M. Pictet commence par liquéfier du gaz acide carbonique en utilisant le froid (— 65 degrés) produit par la volatilisation de l'acide sulfureux liquide. L'acide carbonique liquéfié détermine, en se solidifiant, une seconde chute de température autour du tube qui renferme le gaz sur lequel on opère.

M. Cailletet, en soumettant l'air aux actions

1. Wurtz, *Constitution de la matière à l'état gazeux* (*Revue scientifique*, 8^e année, 2^e série, n^o 24.)

combinées du froid et de la pression, a obtenu de l'*air liquide* coulant en petits filets le long du tube à expériences. La pression augmentant, M. Cailletet aperçut enfin une masse semblable au givre : c'était de l'air gelé.

CHAPITRE III

Température de l'air.

1. *Le thermomètre.* — Lorsque nous plaçons des corps différents dans notre main, nous éprouvons des sensations de chaud ou de froid. La cause qui donne à ces corps la propriété de nous paraître chauds ou froids, on l'appelle *chaleur*. Cette impression ne nous permet pas toutefois d'avoir une idée exacte de l'état calorifique du corps, car elle est variable avec les circonstances : la même eau peut nous paraître chaude en été et froide en hiver. Les sensations calorifiques dépendent évidemment de l'état calorifique de notre corps. Aussi on a dû chercher les moyens de mesurer, s'il est possible, la chaleur possédée par les diverses substances. On a remarqué que la chaleur dilate les corps, et l'on a pu trouver certaines substances qui se dilatent régulièrement quand on les soumet à une chaleur progressivement croissante. On comprend qu'on ait pu faire servir ces dilata-tions à la mesure des températures. Nous ne décrirons pas, bien entendu, les nombreux ins-

truments qui sont employés à ces mesures; nous nous bornerons à quelques indications sur celui qui est le plus généralement adopté : le thermomètre à mercure.

Parmi les liquides dont la dilatation permet facilement d'évaluer les températures, on choisit le mercure : 1^o parce que sa dilatation est très-régulière; 2^o parce que, grâce à sa conductibilité très-grande et à sa faible chaleur spécifique, c'est-à-dire à la faible quantité de chaleur qui lui est nécessaire pour que sa température s'élève, il se met rapidement en équilibre de température avec les milieux dans lesquels on le place; 3^o parce qu'on le purifie aisément en le lavant avec de l'acide azotique; 4^o enfin parce qu'il ne se congèle qu'à des températures extrêmement basses.

Nous supposons qu'on nous ait remis un thermomètre bien construit : son tube, qui surmonte le réservoir du liquide, a un canal intérieur très-fin et parfaitement cylindrique; il a été divisé très-exactement en parties d'égal volume; le mercure a été purifié; l'air a été complètement chassé de l'instrument. En plongeant le thermomètre dans de la glace fondante (fig. 10), on a marqué zéro au point où le mercure est descendu; en plaçant le thermomètre dans la vapeur d'une eau chauffée à l'ébullition sous une pression atmosphérique de 760 millimètres (fig. 11), on a marqué 100 au point où s'est arrêté le mercure.

Ces deux points 0 et 100 sont tout à fait arbitraires; la température zéro n'indique pas

une chaleur nulle, tant s'en faut, puisqu'on est obligé de prolonger au-dessous de ce repère les divisions du tube. Ces deux points sont choisis à cause de la facilité avec laquelle on les détermine. L'échelle centigrade, celle que nous venons d'adopter, est due à un physicien

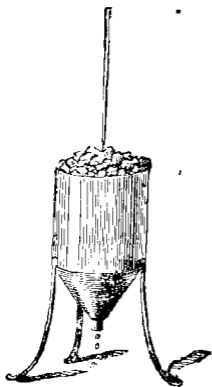


Fig. 10. — Détermination du point 0°.

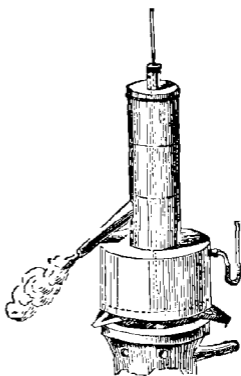


Fig. 11. — Détermination du point 100°.

suédois, Celsius. Pendant longtemps, on a divisé en 80 parties la distance qui sépare les extrémités de la colonne mercurielle quand on plonge l'instrument dans de la glace fondante et dans la vapeur d'eau bouillante : cette échelle était due à Réaumur. En Angleterre, on se sert encore aujourd'hui de l'échelle Fahrenheit, dont le zéro correspond à la division du tube à la-

quelle s'arrête le mercure quand on plonge l'instrument dans un mélange à poids égaux de sel ammoniac et de neige; dans la glace fondante, ce thermomètre marque 32 degrés, et dans la vapeur d'eau bouillante 212 degrés.

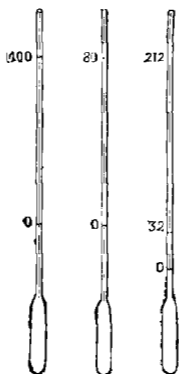


Fig. 12. — Comparaison des trois échelles, centigrade, Réaumur et Fahrenheit.

20 degrés centigrades, par exemple, correspondent donc à $\frac{20 \times 80}{100}$ ou 16 degrés Réaumur et à $32 + \frac{20 \times 180}{100}$ ou $32 + 36$, c'est-à-dire 68 degrés Fahrenheit (fig. 12).

Bien que le mercure n'entre en ébullition qu'à 350 degrés, on ne peut guère compter sur ses indications au delà de 100 degrés, à cause de la variation de son coefficient de dilatation;

le mercure se solidifiant vers 40 degrés au-dessous de zéro, on voit que le thermomètre à mercure ne peut être employé utilement que pour mesurer les températures comprises entre — 40 et 100 degrés.

Un thermomètre doit posséder deux qualités : il doit se mettre promptement en équilibre de température avec les corps : son réservoir doit donc être petit, afin que la masse du mercure à échauffer soit faible; il doit accuser de grandes variations de volume pour de très-faibles variations de température : sa tige doit être très-capillaire.

Tous les thermomètres à mercure concordent à zéro et à 100 degrés, puisqu'on a marqué ces divisions dans les mêmes conditions; cependant, d'une part, le zéro se déplace quelquefois sous l'influence d'un travail moléculaire qui s'opère dans le verre, et il y a lieu de vérifier souvent ce point initial; d'autre part, deux thermomètres qui concordent à zéro et à 100 degrés ne sont plus comparables dans l'intervalle, à cause des variations inégales de dilatation des verres, et il y a lieu, quand on emploie un instrument, de l'avoir au préalable comparé avec un thermomètre étalon.

Dans les stations météorologiques, on a trois thermomètres : celui que nous venons de décrire; un thermomètre à maxima; un thermomètre à minima. Ces deux derniers instruments ne donnent que la plus haute et plus basse température de la journée, au moyen de dispositifs qu'on trouvera dans tous les traités de

physique. Ce que l'on ne trouve indiqué dans aucun traité, c'est le mode d'installation des thermomètres; nous donnons dans une note spéciale (note D) des instructions qui sont celles suivies à l'observatoire de Montsouris.

Les météorologistes de quelques-uns des principaux observatoires de l'Europe se sont astreints, pendant plus ou moins longtemps, à observer le thermomètre à chacune des vingt-quatre heures du jour. Si chaque jour on additionne les 24 températures ainsi obtenues et qu'on divise la somme par 24, on aura ce qu'on nomme la *température moyenne* du jour. Si l'on divise la somme des températures moyennes des différents jours d'un mois par le nombre des jours de ce mois, on a la température moyenne du mois. Enfin, si l'on divise par 12 la somme des températures moyennes des mois, on a la température moyenne de l'année.

2. *Variations diurnes.* — La température de l'air augmente chaque jour, en même temps que le soleil s'élève au-dessus de l'horizon, atteint un maximum, décroît quand le soleil descend, passe par un minimum et se relève.

Ces températures extrêmes n'arrivent pas à heure fixe. En hiver, le maximum a lieu entre une heure et deux heures du soir; en été, il recule jusque vers trois heures. Le minimum a lieu une demi-heure environ avant le lever du soleil. La différence entre ces températures extrêmes, faible en hiver, est parfois considérable en été; elle dépend, comme nous le dirons plus loin, de la plus ou moins grande

quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Le docteur Livingstone a observé, dans le sud de l'Afrique centrale, qu'un jour de juin le thermomètre marquait le matin 6° et à midi 35°, soit une différence de 30° entre le lever du soleil et le milieu du jour! Dans l'Australie centrale, l'écart journalier du thermomètre est encore plus grand. Une fois, le 25 octobre, dit M. W. S. Jevons ¹, la température s'est élevée à 43° pendant la journée; mais vint une rafale, et, au lever du soleil suivant, elle n'était plus que de 3° : elle avait varié de 40° en moins de 24 heures... A Paris, l'écart minimum tombe en décembre : 3° environ; l'écart maximum, 10°, tombe en juin. « L'état habituel du ciel modifie ces variations. Dans les pays et dans les mois à ciel brumeux, l'oscillation diurne est moindre que dans ceux où le ciel est habituellement dégarni de nuages... L'écart moyen entre les maxima et les minima diurnes est d'autant plus grand qu'on pénètre plus avant dans l'intérieur des continents et qu'on se rapproche davantage des régions équatoriales. »

3. *Variations mensuelles.* — Les variations diurnes dont nous venons de parler sont dues au mouvement de rotation de la terre : un même point du globe est inégalement échauffé par le soleil aux différentes heures du jour. Mais la terre est animée d'un mouvement de translation autour du soleil et décrit sa trajec-

1. Climat de l'Australie et de la Nouvelle-Zélande.

toire en une année. Le soleil occupe donc, par rapport à chaque point du globe, des positions variables d'un jour à l'autre de l'année; les rayons qu'il envoie sont plus ou moins obliques; la chaleur est variable: c'est ce qui constitue le phénomène des saisons.

Si nous calculons les températures moyennes des différents mois, en les déduisant des soixante années d'observations faites à Paris, de 1806 à 1870, nous trouvons :

Janvier.	2°,4	Mai...	14°,2	Septembre.	15°,7
Février.	4,5	Juin..	17,2	Octobre....	11,3
Mars...	6,4	Juillet.	18,9	Novembre.	6,5
Avril...	10,1	Août..	18,5	Décembre.	3,7

Ces nombres varient évidemment d'un lieu à l'autre de la terre. A Paris, on remarque, en divisant les soixante années d'observation en plusieurs périodes, que le mois le plus froid, janvier, après avoir passé par un minimum de 1819 à 1848, se relève d'une manière très-sensible depuis cette époque. « Nos hivers sont plus doux que dans la première moitié de ce siècle; pareil fait a été constaté en Angleterre... La moyenne température d'avril tend aussi à monter, tandis que celle de mai tendrait plutôt à descendre. » D'ailleurs les moyennes annuelles sont peu variables. Celle de Paris est de 10°, 8.

4. *Extrêmes de froid et de chaleur.* — C'est en janvier, dans nos climats, que tombent les jours les plus froids de l'année, principalement vers

les 2, 3, 7 et 10 du mois. Le froid le plus vif observé à Paris a été de $23^{\circ},5$ au-dessous de zéro, le 25 janvier 1795. La température la plus basse observée en France a été $31^{\circ},3$, à Pontarlier, le 31 décembre 1788. Voici les températures les plus basses observées en Europe :

France : Pontarlier (1788).....	— $31^{\circ},3$
Angleterre : Londres (1796).....	— $20^{\circ},6$
Belgique : Malines (1823).....	— $24^{\circ},4$
Suède : Calix.....	— $55^{\circ},0$
Russie : Moscou (1836).....	— $43^{\circ},7$
Allemagne : Brême (1788).....	— $35^{\circ},6$
Italie : Turin (1755).....	— $17^{\circ},8$

La plus basse température observée sur notre globe a été de -59° , à Jakoutsk (Asie), en 1829.

En Afrique, le thermomètre ne descend presque jamais au-dessous de zéro; si l'on a pu observer, à Alger, un minimum de $-2^{\circ},5$, il faut dire qu'à l'île Bourbon, dans la Gorée, les minima observés s'élèvent encore à 15° au-dessus de zéro.

Dans l'Amérique septentrionale, les froids sont assez vifs; ainsi, on a observé : au fort Reliance, $-56^{\circ},7$; à l'île Melville, $-48^{\circ},3$; à Fort-Félix, $-50^{\circ},8$.

Dans l'Amérique méridionale, au contraire, si le thermomètre a pu descendre à Buénos-Ayres jusqu'à $-2^{\circ},2$, il s'est constamment maintenu au-dessus de 15° à Curaçao, Cayenne, Lima, etc.

La température la plus élevée qu'on ait ob-

servée en France a été de 41°,4, à Orange, en 1849. Voici d'ailleurs le tableau des températures maxima de l'Europe :

France : Orange (1849).....	41°,4
Angleterre : Londres (1852).....	35 ,0
Belgique : Malines (1824).....	38 ,8
Suède : Stockholm (1805).....	37 ,5
Russie : Varsovie (1826).....	38 ,8
Allemagne : Stuttgart.....	39 ,4
Grèce : Athènes.....	40 ,6
Italie : Naples (1807).....	40 ,0
Portugal : Lisbonne.....	38 ,8

La plus grande chaleur qu'on ait observée sur notre globe, à l'ombre bien entendu, a été de 56°, 2, à Moursouk (Afrique). Si l'on se rappelle que la plus basse température a été de — 59°, on voit que la différence entre ces températures extrêmes est de 115°!

En Afrique, les extrêmes de chaleur ont varié de 29 à 56°; en Asie, de 10°,7 (Nouvelle-Zemble) à 52° (Abou-Arich); dans l'Amérique septentrionale, de 10° (île Winter) à 42° (Cincinnati); dans l'Amérique méridionale, de 22° (Quito) à 38° (Equateur). On remarquera que ce n'est pas à l'équateur qu'on trouve la température la plus élevée.

5. *Variations annuelles.* — La température moyenne d'une année, différente d'un lieu à l'autre à la surface de la terre, reste toujours sensiblement constante dans le même lieu. Ces températures diminuent à mesure qu'on s'éloigne de l'équateur. Voici les nombres obtenus

dans les capitales les plus importantes, rangées dans l'ordre décroissant de leurs distances à l'équateur :

Saint-Pétersbourg.	3°,5	Bruxelles.....	10°,3
Christiania.....	5,0	Paris.....	10,7
Copenhague.....	7,6	Constantinople...	10,3
Berlin.....	9,0	Madrid.....	14,3
Londres.....	9,8	Mexico.....	16,3

Les lignes qui joignent tous les points du globe dont la température annuelle est la même s'appellent lignes *isothermes*. On appelle lignes *isochimènes* et lignes *isothères* celles qui joignent les points du globe qui ont même température moyenne en hiver ou même température moyenne en été.

Les lignes isothermes ne sont pas exactement parallèles à l'équateur. Ces lignes, dans notre hémisphère, s'inclinent vers le sud en passant sur notre continent ; à l'ouest de l'Europe, elles sont plus élevées qu'à l'est. A l'inverse des isothermes, les isothères ont une tendance à remonter vers le pôle en pénétrant sur notre continent.

6. *Variations dues à l'altitude.* — Quand on s'élève dans l'atmosphère, la température diminue. On peut dire qu'en moyenne le thermomètre baisse de 1° pour chaque élévation de 190 mètres. Gay-Lussac, dans son voyage aérien du 16 septembre 1804, trouva un froid de 10° au-dessous de zéro à une hauteur de 7,000 mètres. Dans la cour de l'Observatoire, d'où il était parti, le thermomètre marquait 28° ;

l'abaissement total était de 38°. Cette décroissance de la température varie selon les heures, les saisons, l'état du ciel, etc. De Humboldt a trouvé qu'un abaissement de un degré correspondait, dans l'Amérique du Sud, à une élévation de 191 mètres dans les montagnes et à une élévation de 243 mètres sur les plateaux. Ch. Martins a trouvé un décroissement de 1° pour 188 mètres en hiver et pour 129 mètres en été... Ce qui montre bien, du reste, que ces variations sont soumises à l'action de causes diverses, c'est la limite inégale à laquelle se présentent les neiges perpétuelles. Sur les Alpes, la limite inférieure des neiges perpétuelles n'atteint que 2,708 mètres, tandis que sur le versant septentrional de l'Himalaya cette limite inférieure s'élève à 5,067 mètres. Chose curieuse ! tandis que sur le versant septentrional de l'Himalaya les neiges ne commencent qu'à 5,067 mètres de hauteur, sur le versant méridional de ces mêmes collines la neige descend à 3,956 mètres, ce qui présente une différence de 1,111 mètres avec le versant opposé.

7. *Causes des variations du baromètre.* — Nous pouvons faire comprendre maintenant, comme nous l'annoncions en parlant de la pesanteur de l'air, quelle est la cause des variations diurnes du baromètre.

« Elle est intimement liée au mouvement de la chaleur dans les couches de l'atmosphère en contact avec le sol. Dans la matinée, l'air s'échauffe et tend à se dilater ; mais, pour y

parvenir, il lui faut refouler les couches supérieures : de là l'excès de pression du matin. Un peu plus tard, l'obstacle à la dilatation de l'air compense de moins en moins l'effet de la dilatation elle-même et de la diminution de densité qui en résulte ; le baromètre baisse jusqu'au moment où, l'air inférieur ayant commencé à se refroidir et à se contracter, les couches supérieures vont subir le mouvement de recul qui en est la conséquence : c'est le moment du minimum. L'oscillation diurne du baromètre sera d'autant plus grande que la variation diurne du thermomètre sera plus prononcée, que l'air sera plus calme ou animé d'un mouvement général plus régulier, et que les mouvements de l'air dans le sens vertical seront moins favorisés par la configuration du terrain. »

La variation de la hauteur du mercure dans les différents mois de l'année résulte « du balancement des températures sur les deux hémisphères et du transport de la masse gazeuse de l'un à l'autre suivant les saisons. »

CHAPITRE IV

Chaleur et lumière dans l'atmosphère.

1. *Spectre solaire.* — L'astre radieux autour duquel gravitent les planètes nous dispense la chaleur et la lumière. Quand on examine le

faisceau lumineux émané du soleil, on le trouve formé d'un certain nombre de rayons colorés qui, en se superposant, donnent la lumière blanche. Chacun de ces rayons jouit de propriétés spéciales, et Newton a montré qu'en obligeant un faisceau de rayons solaires à traverser un prisme de verre (fig. 13), les divers

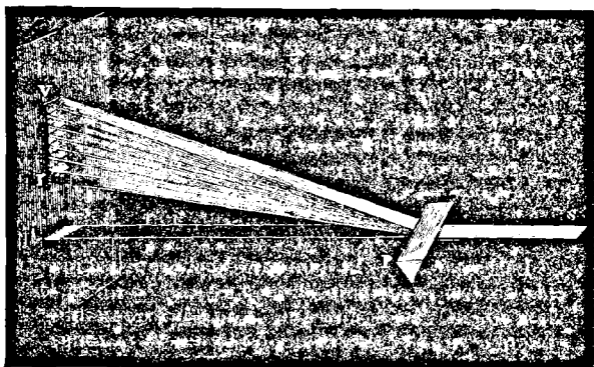


Fig. 13. — Expérience du spectre solaire faite dans la chambre obscure.

rayons se séparent les uns des autres en donnant sur un écran une image colorée qui s'appelle le *spectre solaire*. On distingue dans ce spectre les sept couleurs suivantes : violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge.

2. *Les rayons calorifiques.* — L'air pur et sec est entièrement transparent pour la cha-

leur, c'est-à-dire que les rayons solaires le traversent sans l'échauffer. On sait que, sur les hautes montagnes, l'air est froid tandis que le soleil envoie ses rayons brûlants; durant l'été, il suffit de se mettre à l'ombre pour sentir le froid de l'atmosphère. La terre absorbe au contraire ces rayons calorifiques, et, lorsque le soleil s'est abaissé au-dessous de l'horizon, la terre renvoie par rayonnement dans l'espace la chaleur qu'elle a accumulée durant le jour. Si donc l'atmosphère n'existait pas ou si elle était toujours sèche, les variations de température à la surface du sol s'opéreraient brusquement, sans transition. Nous dirons, un peu plus loin, que l'air renferme toujours en plus ou moins grande quantité de la vapeur d'eau. Considérant ce fait comme acquis, nous pouvons reconnaître que cette eau modifie considérablement les propriétés de l'air. M. Tyndall a montré que la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère exerce sur la chaleur rayonnante une action 72 fois plus grande que celle de l'air lui-même. Non-seulement la vapeur d'eau permet à l'air d'absorber partiellement les rayons calorifiques émanés du soleil, mais encore elle empêche le refroidissement brusque de la terre en absorbant une partie de la chaleur dégagée par le sol. « 10 pour 100 au moins de la chaleur que la terre tend à rayonner dans l'espace, dit Tyndall, sont interceptés par les 10 premiers pieds d'air humide qui entourent sa surface. »

Une conséquence importante peut se déduire

de cette observation. Dans les nuits claires, la chute du thermomètre qui mesure l'énergie du rayonnement est déterminée par la quantité de vapeur d'eau qui se trouve dans l'air. Plus il y a de vapeur, moins il y a de refroidissement. Aussi les agriculteurs ont-ils essayé de préserver leurs récoltes des gelées tardives du mois de mai, en formant, par la combustion d'huiles lourdes, des nuages artificiels qui s'opposent au rayonnement du sol.

La vapeur d'eau qui absorbe avec avidité la chaleur doit aussi la rayonner : M. Tyndall explique, par la radiation de la vapeur d'eau, les chutes de pluie fréquentes sous les tropiques et la formation, sous nos latitudes, de ces nuages à forme caractéristique qu'on appelle *cumulus*.

3. *Utilité de la vapeur d'eau.* — Si l'on enlevait à l'air qui recouvre la terre la vapeur d'eau qu'il contient, il se ferait à la surface du sol, dit M. Tyndall, une déperdition de chaleur semblable à celle qui a lieu à de grandes hauteurs. Le coucher du soleil serait suivi d'un refroidissement rapide ; la différence entre les maxima et les minima mensuels de température deviendrait énorme.

La suppression pendant une seule nuit de la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère serait accompagnée de la destruction de toutes les plantes que la gelée fait périr. Dans le Sahara, où *le sol est de feu et le vent de flamme*, le froid de la nuit est souvent très-pénible à supporter. On voit, dans cette contrée si chaude, de la

glace se former pendant la nuit. On peut, en un mot, prédire à coup sûr que, partout où l'air sera sec, l'échelle des températures sera très-considérable. Ajoutons que l'atmosphère peut être chargée de vapeur d'eau, quoique très-claire, car une grande transparence pour la lumière est parfaitement compatible avec une grande opacité pour la chaleur.

4. *La lumière.* — L'air est presque complètement transparent à la lumière, surtout après que les pluies ont entraîné sur le sol les poussières qu'il tient toujours en suspension; cependant, soit à cause de ces matières qui flottent dans l'air, soit surtout à cause de la présence de la vapeur d'eau, l'atmosphère ne se borne pas à laisser passer les rayons qui lui viennent du soleil.

« Biot disait fort justement : L'air est autour de la terre comme une sorte de voile brillant qui multiplie et propage la lumière du soleil par une infinité de répercussions. C'est par lui que nous avons le jour lorsque le soleil ne paraît pas encore sur l'horizon. Après le lever de cet astre, il n'y a pas de lieu si retiré, pourvu que l'air puisse s'y introduire, qui n'en reçoive de la lumière, quoique les rayons du soleil n'y arrivent pas directement. Si l'atmosphère n'existait pas, chaque point de la surface terrestre ne recevrait de lumière que celle qui lui viendrait directement du soleil.... Le soleil, quoique très-près de l'horizon, brillerait de toute sa lumière, et, immédiatement après son coucher, nous serions plongés dans une obscurité abso-

lue 1. » On sait que sur les hautes montagnes, où l'air est déjà très-rare, le pouvoir éclairant de l'atmosphère est si faible qu'à l'ombre on peut apercevoir les étoiles en plein midi.

L'atmosphère exerce sur les rayons lumineux qui lui sont envoyés par les astres des actions multiples et dont l'étude est du plus haut intérêt. Quand une règle de bois est plongée dans un vase plein d'eau (fig. 14), la règle paraît

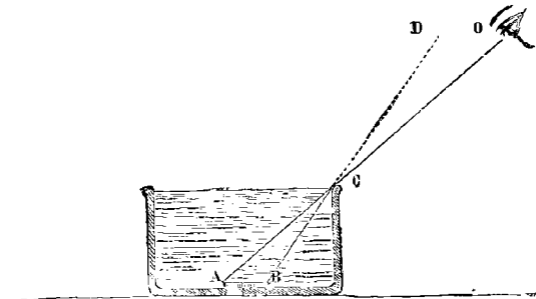


Fig. 14. — Expérience démontrant la réfraction de la lumière

brisée; la partie qu'on aperçoit dans le liquide n'est pas dans le prolongement de la règle. On dit que l'image de la règle est *réfractée*. Quand un faisceau de lumière tombe sur la surface d'un liquide, une portion de ce faisceau est *réfléchi*e à la surface du liquide, une autre portion pénètre dans le liquide et est *réfractée*.

5. *La réfraction.* — La lumière qui pénètre

1. Flammarion, *L'atmosphère*.

dans l'atmosphère subit ces deux phénomènes : réflexion et réfraction. Par l'effet de la réfraction, les astres ne nous apparaissent pas là où ils sont en réalité; ils sont tous rapprochés du zénith¹, et d'autant plus qu'ils sont plus voisins de l'horizon. On comprend que les astronomes aient besoin de connaître la position exacte des astres; aussi corrigent-ils toutes leurs observations de la réfraction au moyen de tables spéciales. Au zénith, la réfraction est nulle; elle est de 33",6 à 30° du zénith; de 1' 40",6 à 60°; de 33' 46", 3 à l'horizon.

C'est grâce à la réfraction atmosphérique que le soleil nous paraît visible le matin, avant qu'il soit réellement au-dessus de l'horizon, et que nous l'apercevons encore, le soir, quelques instants après qu'il est couché. C'est la même cause qui, trompant nos sens, nous fait attribuer aux objets élevés, aux montagnes par exemple, des hauteurs plus considérables qu'elles ne le sont en réalité.

Ces phénomènes de réfraction s'observent toujours quand un rayon lumineux passe d'un milieu dans un autre de densité différente. Aussi, dans les régions méridionales, là où le sol est fortement échauffé, les couches d'air qui avoisinent la terre ayant des densités très-inc-

1. Le zénith est le point du ciel visible, que rencontrerait, si elle était prolongée, la verticale d'un lieu. Cette verticale rencontrerait évidemment la voûte céleste en deux points : l'un placé au-dessus de nos têtes, l'autre au-dessous. Le premier point s'appelle zénith; le second s'appelle nadir.

gales, les rayons lumineux sont réfractés considérablement, à ce point que les objets terrestres aperçus par l'œil nous donnent une seconde image qui paraît placée au-dessous de la première, exactement comme si ces objets se réfléchissaient sur un miroir ou dans l'eau. Ce phénomène, connu sous le nom de *mirage*, fit éprouver de bien cruelles déceptions à nos soldats pendant l'expédition d'Égypte : la soif les dévorait, et à chaque instant le mirage leur donnait l'espérance d'une source d'eau voisine, dans laquelle les arbres semblaient réfléchir leur image. Le mirage ordinaire a lieu quand, près du sol, les couches les plus denses sont à la partie supérieure. Quelquefois, en mer, le phénomène inverse a lieu : les couches inférieures sont plus refroidies, et les vaisseaux éloignés donnent une image toujours renversée, mais placée *au-dessus d'eux*.

Nous avons dit, en parlant du spectre solaire, que la lumière réfractée à travers un prisme de verre se décomposait en divers rayons colorés. Un phénomène du même genre s'observe quand les rayons solaires frappent des gouttes de pluie en suspension dans l'air. On aperçoit, se détachant sur le ciel, un ou plusieurs arcs colorés présentant des apparences diverses : à la partie intérieure de l'arc le plus élevé, on voit une bande rouge, à la partie extérieure apparaît une bande violette, et, entre les deux, une série de bandes plus ou moins distinctes, colorées des 5 autres couleurs du prisme. Quand l'arc est double, l'ordre des couleurs est renversé dans

l'arc inférieur : le rouge est à la partie convexe, le violet à la partie concave. C'est le phénomène de l'arc-en-ciel.

Il nous faudrait encore, si nous pouvions nous étendre plus longuement sur les phénomènes lumineux dus à l'atmosphère, signaler : les *halos*, cercles colorés qui apparaissent autour du soleil ou de la lune pendant les saisons froides et qui sont dus à la réfraction des rayons solaires dans les cristaux de glace que l'atmosphère tient en suspension ; les *couronnes*, cercles irisés qui entourent la lune ou le soleil lorsque leur surface est voilée par un nuage léger et qui sont dues à une décomposition de la lumière connue sous le nom de *diffraction*.....

6. *Réflexion de la lumière.* — Si l'atmosphère laissait passer, sans les troubler, les rayons émanés du soleil, ce que nous appelons le ciel serait plongé dans la plus profonde obscurité ; le soleil se détacherait, lumineux, sur ce fond noir, et les étoiles seraient constamment visibles. Nous savons que le ciel nous paraît généralement bleu à l'heure de midi ; d'où vient cette couleur ? Les particules incolores qui existent dans l'atmosphère réfléchissent les rayons solaires, mais elles réfléchissent inégalement les divers rayons qui composent un faisceau de lumière blanche. Ce sont les rayons bleus qui sont réfléchis de préférence. M. Tyndall a fait, pour le démontrer, une expérience bien intéressante. Dans un tube de verre, il introduit un mélange d'air et de vapeur de nitrite de butyle,

mélange très-raréfié, n'exerçant qu'une pression de $\frac{1}{600}$ d'atmosphère. Dans ce mélange gazeux, il envoie un faisceau de lumière électrique ; l'intérieur du tube atteint graduellement un azur splendide. On peut employer pour faire cette expérience d'autres substances incolores douées de propriétés chimiques et optiques différentes ; dans tous les cas, le *nuage naissant* présentera ce bleu splendide.

Quand on enlève du bleu à la lumière blanche, le faisceau restant est orangé : c'est la couleur du ciel à l'horizon, aux heures de l'aurore ou du crépuscule, alors que la couche atmosphérique traversée par la lumière est à son maximum d'épaisseur. C'est surtout la vapeur d'eau qui joue le principal rôle dans ces phénomènes de coloration, et, quand elle se condense en formant ce qu'on appelle la vapeur vésiculaire, elle trouble la transparence de l'atmosphère. Aussi les cultivateurs et les marins se trompent-ils rarement sur le temps probable du lendemain, rien qu'en observant la couleur du ciel au lever et au coucher du soleil.

CHAPITRE V

Le son et l'électricité.

1. *Le son.* — Le son ne se propage pas dans le vide. Le physicien Hawksbee a montré, en

1705, que, si l'on place une sonnette sous la cloche d'une machine pneumatique et qu'on la mette en mouvement, le son s'affaiblit à mesure que l'air devient plus rare, et, dans le vide, il n'est plus perçu par l'oreille. Sans atmosphère, un silence de mort règnerait sur la terre : les hommes ne pourraient plus communiquer par la parole. C'est l'ébranlement du corps sonore, communiqué à l'air, qui lui-même le communique à une membrane placée

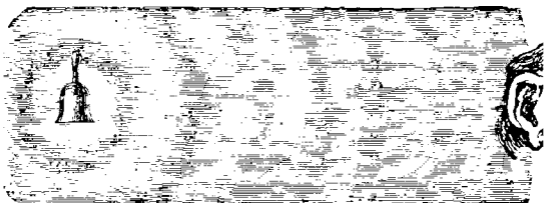


Fig. 15. — Les ondes sonores.

dans notre oreille et qu'on nomme le tympan, qui produit le son (fig. 15). On démontre que tout corps qui fait éprouver à l'oreille cette sensation particulière que l'on appelle *son*, est l'objet de mouvements vibratoires qui se succèdent avec la plus grande régularité. Une cloche de verre frottée par un archet fait entendre un son ; si l'on fixe à l'intérieur de cette cloche un fil soutenant une petite balle de sureau, on voit cette petite balle repoussée par le verre chaque fois qu'un son est produit (fig. 16).

On conçoit que cette transmission ne peut être

instantanée : le son parcourt environ 340 mètres par seconde, ce qui veut dire que si un son produit dans un endroit déterminé parvient à l'oreille au bout de 5 secondes, par exemple, on en pourra déduire que les deux stations de départ et d'arrivée sont distantes de 5 fois

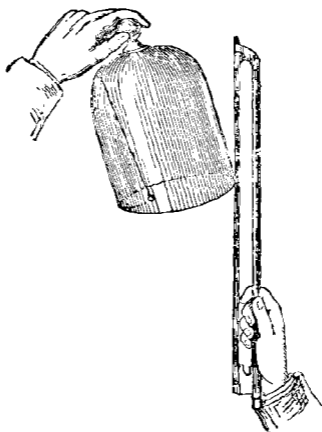


Fig. 16. — Vibrations d'une cloche de verre, manifestées par un pendule léger.

340 mètres. La vitesse du son varie d'ailleurs avec la densité et l'élasticité de l'air, et par conséquent avec sa température. Les ondes sonores, semblables aux ondes lumineuses et calorifiques, peuvent se réfléchir; si donc je pousse un cri, immédiatement perçu par mon oreille

et qu'un corps élastique, placé à 17 mètres par exemple, puisse renvoyer ce cri, le son aura parcouru 17 mètres pour aller, 17 mètres pour revenir, en tout 34 mètres ; il reviendra donc à mon oreille au bout d'un dixième de seconde, il y aura répétition du son : c'est le phénomène de l'écho.

A mesure qu'on s'élève dans l'atmosphère, l'intensité du son diminue. Au sommet du mont Blanc, dit de Saussure, la détonation d'un coup de pistolet ne produit pas plus de bruit que celle d'un pétard ordinaire dans la plaine. « L'intensité des sons émis à la surface de la terre se propage de bas en haut bien plus facilement que dans toute autre direction.... Quand on s'élève en ballon, dit M. Flammario, on perçoit un bruit immense, colossal, indescriptible, qui règne constamment à 300 et 400 mètres au-dessus de Paris.... Le sifflet d'une locomotive s'entend à 3,000 mètres de hauteur, le bruit d'un train à 2,500 mètres, les aboiements jusqu'à 1,800 mètres.... A 1,000 mètres, on reconnaît l'appel de la voix humaine... les légers bruits du grillon (vulgairement cri-cri) s'entendent très-distinctement jusqu'à 800 mètres de hauteur. Il n'en est pas de même pour les sons dirigés de haut en bas. » L'aéronaute entend la voix qui s'élève au-dessous de lui à 500 mètres, mais il ne parvient pas à se faire entendre dès qu'il s'est élevé à 100 mètres.

2. *L'électricité.* — Il y a toujours de l'électricité dans l'air, et non pas seulement quand le temps est orageux. On le démontre aisément

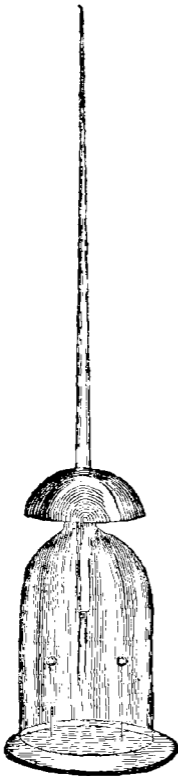


Fig. 17. — Electroscopie à lames d'or munie d'une longue tige terminée en pointe pour étudier l'électricité atmosphérique.

au moyen d'un de ces appareils nommés électroscopes, qui accusent la plus petite quantité d'électricité et qui sont désignés plus spécialement sous les noms d'électroscopes à feuilles, à boules, de Saussure, de Tellier, etc. Pour aller chercher l'électricité dans l'atmosphère, on emploie des moyens bien différents : on peut surmonter l'électroscope d'une longue tige métallique terminée en pointe, comme un paratonnerre ; une boule, reliée à cette tige par une chaîne métallique, est lancée dans l'air à des hauteurs plus ou moins grandes (fig. 17). MM. Becquerel et Braschet emploient, au lieu d'une boule, une flèche lancée avec un arc ordinaire ; c'est une modification du célèbre cerf-volant de Franklin.

Dans les observatoires, on utilise actuellement des appareils différents formés de deux parties distinctes : un *collecteur* de l'électricité, et un *électromètre*, qui mesure la quantité d'électricité puisée par le collecteur. Nous ne décrirons pas, bien entendu, les

différents électromètres de Palmieri, de Branly, de Thomson, l'électromètre enregistreur, qui servent aujourd'hui dans les observatoires. Nous renverrons le lecteur à l'étude publiée sur ce sujet dans l'Annuaire de Montsouris pour l'année 1879. Voici les résultats qui paraissent acquis.

3. *Variations diurnes et annuelles.* — Dans les lieux bas, dominés par des arbres ou des édifices, on n'obtient aucun signe électrique; en rase campagne, l'électricité commence à se manifester à quelques mètres au-dessus du sol et augmente à mesure qu'on s'élève. Immédiatement après le lever du soleil ou après le coucher du soleil, l'effet électroscopique croît avec une extrême rapidité, atteint un maximum, diminue peu à peu et passe par un minimum qui a lieu un peu avant le moment du lever ou du coucher du soleil. Ainsi, chaque jour on observe : un maximum, vers dix heures du matin; un minimum, vers deux heures de l'après-midi; un second maximum, vers dix heures du soir; un second minimum, vers deux heures du matin.

Cette double oscillation est liée aux variations de l'état hygrométrique de l'air. « L'air, mauvais conducteur de l'électricité quand il est sec, dit M. Marié-Davy, se laisse traverser par cet agent avec une facilité relative d'autant plus grande qu'il est plus humide. La précipitation de la rosée pendant la nuit permet aux couches inférieures de l'atmosphère de se décharger de leur électricité. Ce dépôt cesse au lever du so-

leil; mais les couches d'air moyennes, encore fraîches et humides, laissent descendre l'électricité des couches supérieures dans les couches inférieures, dont la charge augmente. Dans le milieu du jour, ce transport s'arrête; dans les journées chaudes, l'air tend à monter de la surface terrestre vers les hauteurs de l'atmosphère, et ce mouvement tend à éloigner les couches électrisées. Le mouvement ascendant se suspend ou se renverse dans la soirée, en même temps que l'air plus froid devient plus humide; l'électricité des couches élevées redescend donc vers le sol. »

Les résultats varient beaucoup, du reste, d'un lieu à l'autre. C'est ainsi que Kaemtz a trouvé que, dans les Alpes, il n'y a qu'un minimum, le matin, et un seul maximum, le soir; que Quetelet, à Bruxelles, trouve en été un maximum à huit heures du matin et un minimum très-prononcé à trois heures, le soir.

De treize années d'observations faites à Bruxelles, on déduit que l'électricité subit des variations annuelles : un maximum très-marké a lieu en hiver, et un minimum en été. Nous constatons, sans l'expliquer, ce résultat, qui paraîtra d'autant plus curieux que c'est en été d'ordinaire que se manifestent certains phénomènes électriques : orages, éclairs, tonnerre.

4. *Les deux électricités.* — On sait que les physiciens ont reconnu la présence de deux fluides électriques qui se manifestent par des propriétés différentes : l'un qui se dégage quand on frotte certaines substances dont le verre est

le type, l'autre qui se dégage par le frottement de la résine. Ces deux électricités s'appellent *positive* ou *vitree*, *negative* ou *resineuse*. Un corps électrisé positivement a la propriété de repousser tous les corps électrisés comme lui et d'attirer ceux qui possèdent l'électricité négative. Quand l'atmosphère est dépourvue de nuages, l'électricité qu'elle contient est positive ou vitrée, tandis que les corps placés à la surface de la terre sont chargés d'électricité négative. Quand les nuages couvrent le ciel, non-seulement les signes électriques de l'air acquièrent plus d'énergie, mais la nature même de l'électricité change fréquemment.

Les nuages sont, comme l'air, électrisés positivement; en s'élevant, ils emportent cette électricité, qui se répand à leur surface. Cependant certains nuages qui se sont formés par la condensation des vapeurs de l'air le long des montagnes prennent l'électricité de ces corps terrestres et par conséquent sont électrisés négativement. La présence dans l'atmosphère de ces nuages chargés d'électricités contraires détermine les orages locaux accompagnés d'éclairs, c'est-à-dire d'étincelles qui jaillissent entre les deux nuages, et du tonnerre, c'est-à-dire du bruit produit par la décharge électrique qui s'opère entre les nuages.

5. *Phénomènes électriques.* — Les mouvements de l'électricité atmosphérique donnent lieu à des phénomènes très-divers : ils agissent sur l'aiguille aimantée en lui communiquant une agitation presque continuelle; ils donnent

naissance à ces magnifiques aurores boréales qu'on admire surtout dans les régions polaires; enfin ils déterminent dans nos climats, et surtout à l'équateur, des orages. Ajoutons que les orages, à leur tour, favorisent la formation de ces grandes perturbations atmosphériques connues sous le nom de trombes.

6. *Origine de l'électricité atmosphérique.* — Quelle est l'origine de l'électricité atmosphérique? Nous ne sommes pas en état de le dire avec quelque certitude. On a supposé d'abord qu'elle était due au frottement continu des molécules gazeuses. Puis on a constaté, après les expériences de Pouillet, que, lorsque de l'eau évapore dans un creuset, la vapeur d'eau et le creuset s'électrisent en sens inverse. Quand le liquide qui évapore est acide, l'électricité de la vapeur est positive; elle est négative, au contraire, quand le liquide est alcalin. M. Pouillet examina particulièrement l'eau salée, et sa vapeur fut positive. On peut dès lors admettre que, pendant l'évaporation des eaux de la mer, les vapeurs emportent de l'électricité positive en se formant, qu'elles en chargent l'atmosphère, et que les vents la transportent sur les continents. « On remarque, à l'appui de cette hypothèse, que c'est dans les régions intertropicales, là où l'évaporation est la plus active et la condensation la plus abondante, que les orages se montrent avec le plus de fréquence et d'énergie ¹. »

1. Marié-Davy, *Météorologie et physique agricole.*

Nous dirons plus loin comment l'électricité atmosphérique, en se manifestant par des décharges lentes ou brusques, modifie la composition de l'air par la formation de l'ozone et des composés oxygénés de l'azote.

CHAPITRE VI

Forme et hauteur de l'atmosphère.

1. *Forme de l'atmosphère.* — Lorsqu'on se rappelle les idées singulières que les anciens se faisaient de la forme et des dimensions de la terre, lorsqu'on apprend que, entre autres hypothèses non moins ridicules, certains savants (!) admettaient « que la terre repose sur quatre éléphants qui s'appuient sur une immense tortue, laquelle repose sur un océan universel », on ne doit pas s'étonner de rencontrer chez ces mêmes savants les idées les plus fausses sur la nature et la forme de cet océan gazeux qui recouvre notre globe.

Les Grecs considéraient deux espèces d'air : l'air proprement dit, dont le nom, en grec, paraît venir du verbe *airo*, j'emporte, ou du verbe *ao*, je souffle; l'*éther*, dont le nom grec, *aîter*, veut dire matière céleste, libre de toute matière sensible. Platon dit, en effet, après Pythagore : « Il y a deux airs; l'un, grossier et rempli de vapeur, est celui que nous respirons; l'autre, plus subtil, est l'éther, dans lequel les

corps célestes sont plongés et y accomplissent leurs révolutions. » Cet air, disaient les anciens, constitue avec l'eau, la terre et le feu, les quatre éléments, c'est-à-dire les principes qui servent à former tous les corps.

Nous savons aujourd'hui que l'air est un gaz pesant; nous montrerons tout à l'heure qu'il est formé d'un mélange de deux gaz dont toutes les propriétés nous sont connues. Nous avons appris que la terre est un sphéroïde aplati vers les pôles et renflé vers l'équateur; nous savons enfin que la couche gazeuse qui entoure le globe participe aux mouvements de rotation de la terre autour de la ligne des pôles et de translation autour du soleil. Si la terre était immobile, elle serait sphérique, et l'atmosphère qui l'entoure aurait également la forme d'une sphère. Mais, en vertu du mouvement de rotation de la terre, la force centrifuge agit d'autant plus énergiquement sur les molécules d'air, qu'elles sont plus éloignées de l'axe de rotation, et, par conséquent, l'atmosphère, comme la terre, doit être renflée à l'équateur. Ajoutons que l'action solaire, qui s'exerce plus énergiquement à l'équateur, doit tendre à élever l'atmosphère de ce côté. Laplace a calculé que le rapport des axes de l'atmosphère aux pôles et à l'équateur était égal à $\frac{2}{3}$. Ce que nous ignorons encore, c'est l'épaisseur de cette couche gazeuse. Nous allons dire ce que l'on sait sur ce sujet.

2. *Hauteur déduite du baromètre.* —

Lorsque, partant du sol, on s'élève à une hauteur de 10 mètres et demi, la colonne de mercure du baromètre descend de 1 millimètre. Mais il ne serait pas exact de dire que, à mesure qu'on s'élève, chaque baisse de 1 millimètre correspond à une altitude constante de 10 mètres et demi : la colonne de mercure descend beaucoup plus rapidement que ne l'indiquerait cette loi.

Nos lecteurs trouveront dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* des tables qui permettent de calculer les hauteurs au moyen des observations barométriques. En les consultant, on trouve qu'à 2,500 mètres la pression est diminuée d'un quart environ; à 5,500 mètres, elle est diminuée de moitié; à 9,500 mètres, elle est diminuée des trois quarts. Que se passe-t-il ensuite? Quelle est la limite extrême de l'atmosphère? Et d'abord cette atmosphère est-elle limitée?

Si l'air pouvait s'étendre indéfiniment, cet air, modifié sans doute par les actions spéciales de chaque planète, entourerait également la terre, la lune, le soleil et les planètes; or la lune et la planète Vénus ne possèdent pas d'atmosphère appréciable. La hauteur de l'air est donc limitée, et, à cette limite, sa force expansive est détruite par la gravité qui attire tous les corps vers la terre.

Si l'air avait la même densité à toute hauteur, il serait bien facile de calculer son épaisseur totale. Nous dirions : Une colonne cylindrique d'air s'élevant du sol à la limite supé-

rieure de l'atmosphère, fait équilibre à une colonne de mercure ayant même surface et une hauteur de 760 millimètres; ces deux colonnes ont donc le même poids. La densité de l'air étant 10 472 fois plus faible que celle du mercure, la hauteur de l'atmosphère devrait être 10 472 fois plus grande que celle de la colonne mercurielle, c'est-à-dire égale à $10\,472 \times 0\text{ m. }760$ ou 7,958 m. 72. Il est à peine besoin d'ajouter que ce nombre serait inacceptable, puisque certains aéronautes ont pu s'élever à une hauteur plus considérable.

La détermination exacte de cette hauteur présente de grandes difficultés, surtout à cause des températures différentes que l'on observe dans les diverses régions atmosphériques. Le physicien français Biot, en discutant les nombreuses observations de pression et de température faites à diverses hauteurs, soit en s'élevant sur le flanc des montagnes, soit dans les ascensions acrostatiques, a trouvé que la hauteur de l'atmosphère ne doit pas dépasser 48,000 mètres, c'est-à-dire 12 lieues de 4 kilomètres. Des considérations d'une autre nature tendent toutefois à montrer que cette limite est trop petite ¹.

3. *Hauteur déduite de la durée du crépuscule.* — Lorsque le soleil vient de descendre au-dessous de l'horizon d'un lieu, la nuit ne se manifeste pas immédiatement. Si l'atmosphère était illimitée, la nuit ne serait jamais complète,

. 1. Voyez Ch. Delaunay et Albert Lévy, *Cours d'astronomie*.

car les couches d'air seraient toujours quelque peu éclairées par le soleil et nous renverraient cette illumination. Si, au contraire, l'atmosphère n'existait pas, au moment précis où le soleil descendrait au-dessous de l'horizon, la nuit serait complète et notre planète passerait sans transition de la pleine lumière à l'entière obscurité. Ni l'un ni l'autre de ces deux phénomènes ne se présente.

Au moment où le soleil vient de descendre au-dessous de l'horizon, lorsque ses rayons ne peuvent plus nous arriver directement, les couches atmosphériques sont encore éclairées et nous renvoient une lumière qui diminue progressivement à mesure que le soleil s'abaisse de plus en plus au-dessous de l'horizon. Le matin, avant le lever du soleil, le même phénomène se produit : une faible clarté, dont l'intensité augmente peu à peu, se répand sur la terre quelque temps avant l'apparition de l'astre radieux.

Cette clarté qui précède le lever du soleil et qui suit son coucher porte le nom de crépuscule ¹ : le crépuscule du matin est plus spécialement désigné sous le nom d'*aurora*, et celui du soir sous le nom de *brune*.

L'intensité de la lumière crépusculaire et sa durée sont intimement liées à la hauteur de l'atmosphère et permettent de la mesurer.

1. Ce mot vient du latin *crepusculum*, qui dérive lui-même de l'adjectif *creperus*, douteux. *Crepera lux* veut donc dire lumière douteuse.

Malheureusement, cette intensité dépend encore d'autres causes : état de l'atmosphère, quantité de vapeur qu'elle contient, transparence de l'air. La durée du crépuscule ne correspond donc pas toujours à un même abaissement du soleil au-dessous de l'horizon. On peut dire que, généralement, la lueur crépusculaire peut s'apercevoir, tant que le soleil se trouve abaissé de moins de 18 degrés au-dessous de l'horizon.

Quelle est la durée correspondant à cet abaissement? Lorsque le soleil est à un équinoxe, il se meut ¹ en suivant un cercle qui coïncide avec l'équateur; en un jour, il décrit donc un arc de 360° , et, par suite, il met 1 heure 12 minutes à descendre de 18° . Ce temps varie évidemment avec la position du lieu où l'on est placé et avec la position du soleil. Généralement, ce temps est plus grand que celui que nous venons de trouver et qui correspond à un point de l'équateur de la terre à l'époque de l'un des équinoxes. « Il y a même un grand nombre de lieux où, à certaines époques, le crépuscule dure toute la nuit, c'est-à-dire où le soleil, en s'abaissant au-dessous de l'horizon, entre son coucher et son lever, ne va pas jusqu'à la distance de 18° , au delà de laquelle le crépuscule cesse d'exister. C'est ce qui arrive à Paris, à l'époque du solstice d'été : la plus

1. Pour la simplicité du raisonnement, nous supposons que c'est le soleil qui se meut et la terre qui reste immobile; les résultats sont exactement les mêmes.

grande distance du soleil à l'horizon n'est alors que de 17 degrés 42 minutes ¹.

Le temps pendant lequel le soleil éclaire encore l'atmosphère après être descendu au-dessous de l'horizon dépend, on le comprend, de la hauteur de l'atmosphère, et a permis de le mesurer. L'astronome Képler, qui a imaginé la méthode que nous venons de décrire, évaluait cette hauteur à 15 kilomètres. Mais cette même méthode a donné aux différents observateurs des nombres très-variables. C'est ainsi que M. E. Liais, dans une traversée de France à Rio-de-Janeiro, ayant mesuré la durée du crépuscule, a trouvé pour hauteur probable de l'atmosphère 330 kilomètres. Bravais, en opérant au sommet du Faulhorn, trouva 115 kilomètres.

4. *Hauteur déduite du phénomène des étoiles filantes.* — Comme on le voit, ces nombres diffèrent singulièrement entre eux. D'un autre côté, certaines observations de bolides et d'étoiles filantes, « corps errants dans l'espace et que leur passage rapide au travers de l'atmosphère chauffe au point de les rendre incandescents, laissent supposer que la hauteur de l'atmosphère est au moins de 70 ou 80 lieues. Cette hauteur est probablement plus grande encore. Elle croît d'ailleurs assez rapidement des pôles à l'équateur. »

Ainsi, nous pouvons nous représenter l'atmosphère comme un anneau gazeux dont

1. Voyez Ch. Delaunay et Albert Lévy, *Astronomie*.

l'épaisseur serait supérieure à 80 lieues, entourant la terre de toutes parts, aplati aux pôles et renflé à l'équateur. Cette couche gazeuse, indépendamment des mouvements dont elle est le théâtre, circule avec la terre, de l'ouest à l'est, en accomplissant en 24 heures une révolution entière.

Si donc nous nous rappelons que la terre est une sphère dont le diamètre a 13,000 kilomètres environ, nous voyons que la hauteur de l'atmosphère, 320 kilomètres peut-être, ne serait que la quarantième partie du diamètre terrestre.

Dans quel état se trouve l'air aux dernières limites de l'atmosphère? Cet air est très-raréfié et très-froid; pour qu'il ne puisse s'élever plus haut, il faut que sa force élastique soit nulle. Le mathématicien Poisson a montré que, à cette limite, l'équilibre serait encore possible s'il avait une forte densité, pourvu qu'il ne fût pas expansible; Biot dit que les dernières couches atmosphériques doivent être comme « un liquide non évaporable ».

DEUXIÈME PARTIE

COMPOSITION CHIMIQUE DE L'AIR

CHAPITRE VII

Oxygène et azote.

1. *Les quatre éléments.* — L'air, nous l'avons dit déjà, fut pendant longtemps regardé comme un corps simple, comme un *élément*, c'est-à-dire comme un corps capable, en se transformant, de reproduire toutes les autres substances. Le philosophe grec Héraclite soutenait que les quatre éléments, le feu, l'air, l'eau et la terre, pouvaient se transformer l'un dans l'autre, et il complétait cette assertion étrange en faisant observer que, le feu étant dû au mouvement, toutes les forces de la nature provenaient du mouvement. Cette dernière hypothèse est généralement adoptée aujourd'hui.

Depuis Héraclite, qui vivait cinq cents ans avant notre ère, jusqu'à la fin du XVIII^e siècle, l'air fut considéré comme un corps simple. Il nous semble aujourd'hui que des milliers de faits auraient dû cependant, depuis longtemps, dessiller les yeux des savants. Nous savons par

exemple qu'un métal, chauffé à l'air, s'oxyde aux dépens de l'oxygène de l'air atmosphérique; que ce même oxygène transforme le soufre en acide sulfureux et le charbon en acide carbonique. Ces phénomènes étaient bien connus des chimistes, qui, pour les expliquer, avaient été obligés d'entasser hypothèses sur hypothèses.

2. *Le phlogistique.* — Le chimiste Stahl ¹ considérait les métaux, par exemple, comme formés : 1° d'un principe combustible (*das verbrennliche Wesen*), qu'il appelait aussi phlogistique, du grec *flos*, qui veut dire flamme; 2° d'une rouille (*c'est ce que nous nommons oxyde*), qu'il appelait *chaux*. Quand on chauffe un métal, disait Stahl, le phlogistique s'en va et la chaux reste. Cette opération portait le nom de calcination (*calx*, en latin, signifiant chaux), puisqu'elle avait pour effet de mettre la chaux en liberté. Inversement, chauffez une chaux avec du charbon, vous reconstituerez le métal, car le charbon, riche en phlogistique, en a donné à la chaux.

Une difficulté devait cependant arrêter les partisans de la doctrine de Stahl. Un métal chauffé à l'air augmente de poids, et cela nous paraît naturel à nous qui savons qu'il s'est approprié de l'oxygène; comment expliquer ce

1. Stahl, né à Anspach, en 1660, mourut à Berlin, en 1734. Sa *théorie du phlogistique* lui valut une immense renommée : le philosophe Kant déclarait que cette découverte était aussi importante que celle de la loi de la chute des corps.

résultat quand on suppose que le métal a perdu au contraire l'un de ses éléments ? « Nous savons parfaitement, disaient les partisans de Stahl, que les métaux augmentent de poids pendant leur calcination.... Cela provient de ce que le phlogistique, étant plus léger que l'air, tend à soulever le corps avec lequel il est combiné et à lui faire perdre une partie de son poids ; ce corps doit donc peser davantage après avoir perdu son phlogistique. » Vous remarquerez que cette explication était absolument insuffisante, car tout corps étant pesant, le phlogistique, comme les gaz, malgré sa légèreté prétendue, devait augmenter le poids d'un corps.

3. *Expériences de Lavoisier.* — Notre grand Lavoisier ¹, le véritable fondateur de la chimie moderne, détruisit la théorie ingénieuse, mais erronée de Stahl. Dans son admirable *Traité de chimie*, après avoir montré que solidité, liquidité, élasticité sont trois états différents de la

1. Antoine-Laurent Lavoisier naquit à Paris, en 1743. A 25 ans, il entra à l'Académie des sciences. Ses principaux travaux sont : la composition de l'air, ses recherches sur l'état des corps, la théorie de la combustion et de la respiration, l'analyse des matières organiques, la nomenclature chimique, etc.

En 1769, Lavoisier obtint une place de fermier général ; cette haute situation financière lui coûta la vie. En 1793, le tribunal révolutionnaire, par le seul fait qu'il appartenait au corps des fermiers généraux, le condamna à mort. Lavoisier fut exécuté le 8 mai 1794.

même matière, Lavoisier établit qu'il est très-probable que l'air est un fluide naturellement en vapeurs, ou pour mieux dire que notre atmosphère est un composé de tous les fluides susceptibles d'exister dans un état de vapeurs et d'élasticité constante, au degré habituel de chaleur et de pression que nous éprouvons.

Lavoisier se demande ensuite quel est le nombre et quelle est la nature des fluides élastiques qui composent cette couche inférieure que nous habitons, et, après de mémorables expériences que nous rapportons dans une note spéciale placée à la fin de ce volume (note E), Lavoisier conclut en ces termes : « L'air de l'atmosphère est principalement composé de deux fluides aériformes ou gaz : l'un respirable, susceptible d'entretenir la vie des animaux, dans lequel les métaux se calcinent et les corps combustibles peuvent brûler ; l'autre qui a des propriétés absolument opposées, que les animaux ne peuvent respirer, qui ne peut entretenir la combustion. Nous avons donné à la base de la portion respirable de l'air le nom d'*oxygène*, en le dérivant des deux mots grecs *oxus*, acide, *geinomai*, j'engendre, parce qu'en effet une des propriétés les plus générales de cette base est de former des acides en se combinant avec la plupart des substances... Les propriétés chimiques de la partie non respirable de l'air de l'atmosphère n'étant pas encore très-bien connues, nous nous sommes contenté de déduire le nom de sa base de la propriété qu'a ce gaz de priver de la vie les animaux qui le

respirent; nous l'avons donc nommé *azote*, de l'a privatif des Grecs et de *Zoe*, vie. »

Lavoisier montra, contrairement à la théorie de Stahl, qu'un métal chauffé à l'air libre augmente de poids, parce qu'il fixe une portion (l'oxygène) de l'air atmosphérique, laissant, après la calcination, l'azote en liberté. « L'air de l'atmosphère est donc composé de deux fluides élastiques de nature différente et pour ainsi dire opposée. Une preuve de cette importante vérité, c'est qu'en recombinaut les deux fluides qu'on a ainsi obtenus séparément on reforme de l'air en tout semblable à celui de l'atmosphère et qui est propre à peu près au même degré à la combustion, à la calcination des métaux et à la respiration des animaux. »

Il convient de rappeler que le gaz oxygène, trouvé dans l'air par Lavoisier, avait été antérieurement retiré par Priestley ¹, le 1^{er} août 1774, de l'oxyde rouge de mercure et avait été appelé air déphlogistiqué.

4. *L'oxygène*. — L'oxygène, qui est un des deux éléments constitutifs de l'air, est également l'un des deux corps dont la combinaison donne l'eau. 9 grammes d'eau contiennent en effet 8 grammes d'oxygène et un gramme d'hydrogène.

L'oxygène est un gaz et, pendant longtemps, on l'a regardé comme un gaz *permanent*, c'est-à-dire incapable d'être liquéfié et, à plus forte

1. Priestley, né à Fieldheat (Angleterre), en 1733, mourut en Amérique, en 1804.

raison, solidifié. Nous avons dit, page 44, que tout récemment ce gaz avait été obtenu à l'état liquide.

L'oxygène est incolore, inodore, sans saveur. Un litre de ce gaz pèse 1 gr. 429. Il est un peu soluble dans l'eau : un litre d'eau, à la température de 0°, dissout 41 centimètres cubes

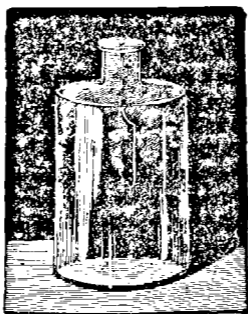


Fig. 18. — Combustion du phosphore dans un flacon contenant de l'oxygène.

d'oxygène. Il ne brûle pas; mais il active énergiquement la combustion. Du soufre, du charbon, du phosphore embrasés, introduits dans un flacon d'oxygène, brûlent avec un éclat éblouissant (fig. 18).

L'oxygène s'obtient en chauffant certains oxydes : oxyde de mercure, oxyde de manganèse. On le prépare souvent en décomposant par la chaleur le chlorate de potasse. Mais on

peut encore le retirer de l'air par divers procédés dus à MM. Boussingault, Deville et Debray, Teyssié du Motay et Maréchal, et que nos lecteurs trouveront dans tous les traités de chimie. Nous parlerons plus loin des applications qui ont été faites de l'inhalation de l'oxygène dans certaines maladies.

5. *L'azote.* — L'azote, comme l'oxygène, a été découvert par Priestley et a longtemps porté le nom d'air phlogistique. C'est un gaz incolore, inodore, sans saveur, considéré jusque dans ces derniers temps comme permanent. Sa densité par rapport à l'air est 0,971 ; un litre d'azote pèse donc $1 \text{ gr. } 293 \times 0,971$ ou 1 gr. 256.

On l'obtient aisément en brûlant sous une cloche pleine d'air un morceau de phosphore ; l'oxygène de l'air transforme le phosphore en acide phosphorique qui se dissout dans l'eau. Il ne reste que de l'azote sous la cloche (fig. 19).

L'azote, nous l'avons dit, n'entretient pas la vie : de là son nom. Il éteint les corps en combustion. Toutefois, il n'est pas vénéneux, surtout dilué dans l'oxygène, puisqu'il entre pour les quatre cinquièmes dans la composition en volume de l'air atmosphérique.

6. *Expérience de Scheele.* — Nous savons maintenant que l'air est formé de deux gaz : l'oxygène et l'azote ; en quelles proportions entrent-ils dans la composition de l'air atmosphérique ? Le chimiste Scheele, né en Suède en 1742, mort en 1786, s'occupa le premier de cette question. En faisant absorber l'oxygène de l'air par un mélange humide de limaille de

fer et de soufre en poudre, dans une éprouvette graduée, il reconnut que l'oxygène occupe environ le quart du volume de l'air. La méthode imaginée par Lavoisier donnait un volume d'oxygène trop faible, car le mercure ne l'absorbait pas en entier; Scheèle, au contraire, trouvait un volume d'oxygène trop fort, car le

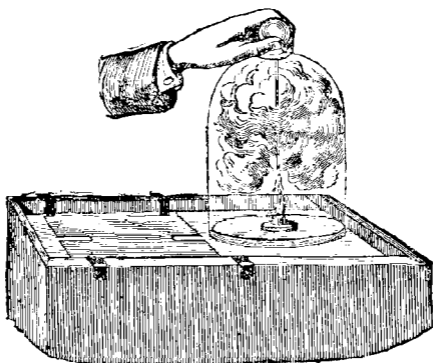


Fig. 19. — Procédé pour obtenir de l'azote.

sulfure qu'il mettait au contact de l'air absorbait non-seulement l'oxygène, mais une petite quantité d'azote.

7. *Analyse de l'air.* — La première analyse exacte de l'air fut faite par Gay-Lussac et Humboldt à l'aide de l'eudiomètre à mercure. Ces savants trouvèrent que 100 volumes d'air renferment 21 volumes d'oxygène et 79 volumes

d'azote. Nous n'insistons pas sur ces recherches, préférant exposer avec quelques détails la méthode suivie, en 1841, par MM. Dumas et Boussingault pour le dosage, en poids, des éléments de l'air. Ce qu'il faut dire cependant,

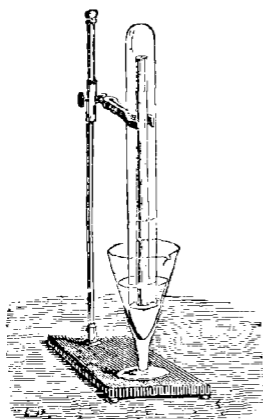


Fig. 20. — Analyse de l'air par le phosphore.



Fig. 21. — Analyse de l'air par l'acide pyrogallique.

c'est qu'on peut employer aujourd'hui diverses méthodes pour obtenir exactement la composition de l'air atmosphérique :

1^o Combustion du phosphore dans l'air et dosage, en volume, de l'azote restant (fig. 20). On peut remplacer le phosphore par de l'acide pyrogallique (fig. 21).

2° Procédé eudiométrique consistant à introduire, dans un volume V d'air, un volume V' d'hydrogène pur. Après avoir fait passer une étincelle électrique dans le mélange, l'hydrogène en excès s'est combiné avec tout l'oxygène de l'air pour donner de l'eau, et le volume primitif $V + V'$ a été réduit de tout le volume des gaz ayant formé l'eau. Connaissant la composition de l'eau, on déduit le volume d'oxy-

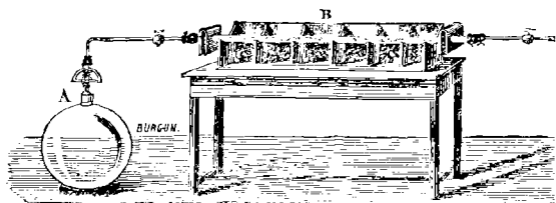


Fig. 22. — Analyse quantitative de l'air par le procédé de MM. Dumas et Boussingault.

gène disparu ; c'est le volume contenu dans l'air introduit.

3° Dosage en poids de l'air par la méthode de MM. Dumas et Boussingault, dont voici le principe :

Un ballon vide d'air A est mis en communication avec un tube B rempli de cuivre métallique et muni de robinets à ses deux extrémités (fig. 22). On a déterminé exactement le poids du tube. On chauffe le cuivre au rouge, et l'on ouvre le robinet qui fait communiquer le tube avec l'air extérieur. A mesure que l'air

afflue dans le tube, il abandonne au cuivre son oxygène, et le gaz azote se rend dans le ballon vide. Quand ce ballon est plein ou à peu près, on ferme tous les robinets. On pèse séparément le tube et le ballon qui sont pleins d'azote, puis on les pèse de nouveau après y avoir fait le vide. La différence de ces pesées donne le poids d'azote. Quant au poids d'oxygène, il est fourni par l'excès de poids que le tube qui contient le cuivre a acquis pendant la durée de l'expérience.

Nous dirons un plus loin quelles précautions MM. Dumas et Boussingault avaient prises pour débarrasser l'air des matières qu'il contient encore : acide carbonique, vapeur d'eau... et comment ils les dosaient. Nous avons reproduit, dans une note spéciale (note F) placée à la fin de ce volume, les remarques de ces deux savants sur la valeur de la méthode qu'ils employaient.

La moyenne des analyses de MM. Dumas et Boussingault a donné, pour 10,000 gr. d'air :

Oxygène.....	2,301 gr.	
Azote.....	7,699	
	<hr/>	
	10,000 gr.	

Les volumes d'un gaz s'obtenant en divisant le poids de ces gaz par leur densité, on trouve, pour la composition de l'air en volume :

Oxygène.....	20 lit. 80
Azote.....	79 20
	<hr/>
Air.....	100 lit. 00

Ces derniers résultats ne diffèrent que d'une manière insignifiante des nombres obtenus par Gay-Lussac et de Humboldt.

8. *L'air est un mélange.* — Nous dirons plus loin que les proportions d'oxygène et d'azote ne varient pas dans l'air recueilli à des hauteurs différentes ou en un point quelconque du globe. Cette constance dans la composition de l'air permettait de supposer que l'air est une combinaison définie d'oxygène et d'azote. Il n'en est rien. Dans l'air, ces deux gaz sont simplement *mélangés*. L'oxygène et l'azote, en effet, se réunissent pour former de l'air sans le moindre dégagement de chaleur ou d'électricité, phénomène qui accompagne toutes les combinaisons; les volumes de ces deux gaz n'ont point entre eux ces rapports simples qu'on rencontre dans toutes les combinaisons; enfin l'eau dissout l'air, mais le gaz dissous n'a pas la même composition que l'air atmosphérique: chacun des deux gaz dont il est formé s'est dissous suivant sa solubilité particulière, ce qui n'arriverait pas si l'air était une combinaison définie. Entrons dans quelques détails.

L'air se dissout facilement dans l'eau; on peut le constater aisément, ainsi que le montre la figure 23, en faisant bouillir de l'eau contenue dans un ballon dont la partie supérieure communique, par un tube deux fois recourbé, avec une éprouvette pleine de mercure. Des bulles d'air s'échappent du liquide en ébullition et viennent à la partie supérieure de l'éprouvette. C'est grâce à l'air qu'elle tient en

dissolution que certains animaux et certaines plantes peuvent vivre sous l'eau.

Quand un composé chimique bien défini se dissout dans l'eau, les éléments dissous sont dans les mêmes proportions que dans le gaz primitif. Au contraire, si l'on a affaire à un

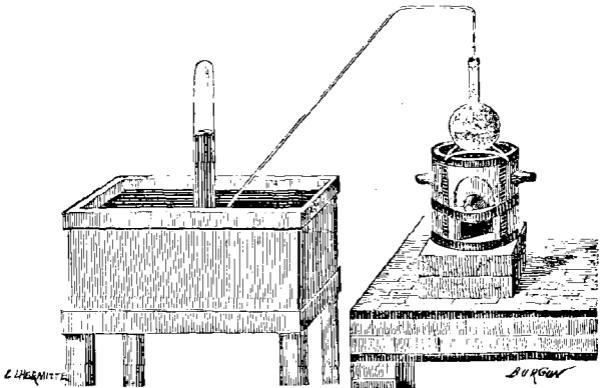


Fig. 23. — Extraction de l'air de l'eau par l'ébullition.

mélange gazeux, chacun des gaz se dissout comme s'il était seul, avec la pression propre qu'il avait dans le mélange. La solubilité étant d'ailleurs proportionnelle à la pression.

Si l'air est un mélange, que devra-t-on trouver en analysant le gaz recueilli dans l'expérience représentée figure 23 ?

1 litre d'eau dissout 41 centimètres cubes

d'oxygène à la pression ordinaire. Dans l'air l'oxygène n'a qu'une pression de $\frac{1}{5}$ d'atmosphère. Donc 1 litre d'eau devra dissoudre $41 \text{ cc.} \times \frac{1}{5}$ ou 8 cc. 2 d'oxygène.

1 litre d'eau dissout 20 centimètres cubes d'azote à la pression de 760 millimètres, il dissoudra donc $20 \times \frac{4}{5}$ ou 16 cc. de l'azote contenu dans l'air.

Si nous analysons l'air extrait de l'eau par ébullition nous trouvons qu'en effet les volumes de l'oxygène et de l'azote, dans ce mélange, sont entre eux comme les nombres 1 et 2, au lieu d'être dans le rapport de 1 à 5 comme cela a lieu dans l'air ordinaire. Donc l'air est bien un mélange.

CHAPITRE VIII

Acide carbonique et vapeur d'eau.

1. *Présence de l'acide carbonique.* — Il n'y a pas que de l'oxygène et de l'azote dans l'air. L'air contient, en proportions assez faibles, le gaz que Van Helmont retira, en 1664, des pierres calcaires chauffées au rouge et qui prit successivement les noms de gaz, air fixe, air méphitique, acide crayeux, enfin acide carbonique. La présence de ce gaz acide dans l'air

est facile à reconnaître : il suffit de laisser à l'air, pendant quelques instants, un lait de chaux pour distinguer dans la masse un dépôt blanchâtre de carbonate de chaux.

En faisant passer un volume déterminé d'air dans des tubes remplis d'une dissolution concentrée de potasse, M. Boussingault a établi que l'atmosphère contient environ 4 dix-millièmes de son volume d'acide carbonique. Cette proportion est d'ailleurs variable dans les différents lieux, aux différentes hauteurs, et, dans la même station, d'un jour à l'autre.

Certains pays, et en particulier les contrées volcaniques, ont une atmosphère considérablement chargée de gaz carbonique. M. Boussingault, explorant les cratères de l'Équateur, arriva en décembre 1831 dans la petite ville de Tunguravilla, voisine du volcan de Tunguragua. « Nos chevaux, dit l'éminent chimiste, nous indiquèrent bientôt que nous approchions; ils n'obéissaient plus à l'éperon, levaient la tête par saccades.... La terre était jonchée d'oiseaux, de reptiles, de papillons morts. Un vieil Indien qui nous accompagnait assurait que, lorsqu'on voulait dormir longtemps et paisiblement, il fallait faire son lit sur le Tunguravilla. » Est-il nécessaire de rappeler l'existence de la grotte du Chien, à Naples, dont l'atmosphère, sans action sur l'homme, tue au contraire les animaux qui rampent ou marchent à la surface du sol. L'air de cette grotte contient, sur 100 volumes, 5 d'oxygène, 21 d'azote et 74 d'acide carbonique.

Si l'air confiné dans la grotte du Chien est mortel pour les animaux qui respirent à une très-petite distance du sol, cela provient de ce que l'acide carbonique est, sous le même volume, beaucoup plus lourd que l'air et se trouve dans les couches inférieures. Aussi la proportion d'acide carbonique doit diminuer quand on s'élève dans l'atmosphère : c'est en effet ce qu'on observe. M. G. Tissandier a emporté dans une ascension aérostatique un appareil construit sur les indications de M. Hervé Mangon et formé d'un aspirateur de 22 litres, contenant un mélange d'eau et d'alcool, afin que le liquide ne se congèle pas, et de tubes à potasse. Deux expériences faites à 1,000 mètres ont donné, pour 10,000 volumes d'air, 2,4 et 3,0 d'acide carbonique.

La proportion d'acide carbonique est un peu plus forte pendant la nuit que pendant le jour ; elle varie, dans l'air à proximité des plantes vertes, suivant que ces parties vertes sont éclairées par le soleil, qu'elles sont à l'ombre ou dans l'obscurité. A la campagne, surtout au milieu des terrains stériles, on trouve moins de gaz carbonique qu'au milieu des champs en plein rapport ou même qu'à la ville ¹.

2. *Proportion d'acide carbonique dans l'air.*
— Théodore de Saussure, observant à Chambéry, près de Genève, a obtenu une moyenne de 4,15 pour 10,000 volumes d'air ; le maximum a été de 5,74, le minimum 3,15. Il a trouvé un

1. Expériences de M. Truchot.

maximum en été vers juillet et août et un minimum vers octobre et février, tout en observant une augmentation sensible en décembre et en janvier. De Saussure conclut que la sécheresse du sol, résultant soit d'une température élevée, soit d'un grand froid, exerce une grande influence sur l'augmentation de l'acide carbonique de l'air. La quantité de ce gaz diminue quand il pleut, mais surtout quand le sol est très-humide. Sur le lac de Genève, l'air contient moins d'acide qu'à une certaine distance. La sécheresse restituerait donc à l'air le gaz enlevé par l'humidité.

Depuis plusieurs années, nous nous sommes astreints à analyser tous les jours les éléments variables contenus dans l'air recueilli à l'observatoire de Montsouris. En particulier, nous donnons l'acide carbonique en volumes par une méthode assez simple indiquée par le chimiste Mohr. Le procédé d'analyse ainsi que les résultats obtenus sont longuement exposés dans un mémoire publié dans l'Annuaire de l'observatoire de Montsouris. Nous dirons seulement que, dans un même lieu, les variations de volume de gaz carbonique, quoique très-appreciables d'un jour à l'autre, sont cependant assez faibles. La moyenne de l'année météorologique 1877-1878 a donné 32 lit. 7 de gaz pour 100 mètres cubes d'air.

3. *Vapeur d'eau.* — L'air contient de la vapeur d'eau. Dans un vase de cuivre noirci à l'extérieur, versons un peu de glace ou mieux un mélange de glace pilée et de sel. Immédia-

tement la vapeur d'eau contenue dans l'atmosphère va se déposer sur la surface noire du vase et même se congeler de telle sorte que le vase noir sera devenu blanc. Tout le monde sait que la formation des nuages, le dépôt de la rosée, la chute des pluies, etc., sont autant de phénomènes dus à la présence de la vapeur d'eau dans l'air.

Pour doser cette vapeur d'eau, on emploie divers procédés dont le plus simple à imaginer consiste à recueillir cette eau et à la peser. M. Boussingault fait passer un volume déterminé d'air dans des tubes remplis de pierre ponce imbibée d'acide sulfurique et pesés à l'avance. La différence de poids de ces tubes, avant et après l'expérience, donne le poids de l'eau retenue (fig. 24).

Cette méthode, imaginée par Brunner, a l'inconvénient de durer plusieurs heures, car l'air doit traverser lentement les tubes à dessiccation et par conséquent ne peut être qu'accidentellement appliquée dans les stations météorologiques.

4. *Les hygromètres.* — Dans les observatoires météorologiques, on évalue plusieurs fois par jour la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. Les instruments qui sont employés à cette détermination s'appellent *hygromètres* (*ugros*, humide; *métron*, mesure), *psychromètres* (*psucros*, froid, humide; *métron*, mesure), *hygromètres condensateurs*.

Un grand nombre de substances, qu'on appelle hygroscopiques, sont sensibles aux varia-

tions de la sécheresse ou de l'humidité. Les cheveux, en particulier, s'allongent quand le temps est humide et se raccourcissent quand le

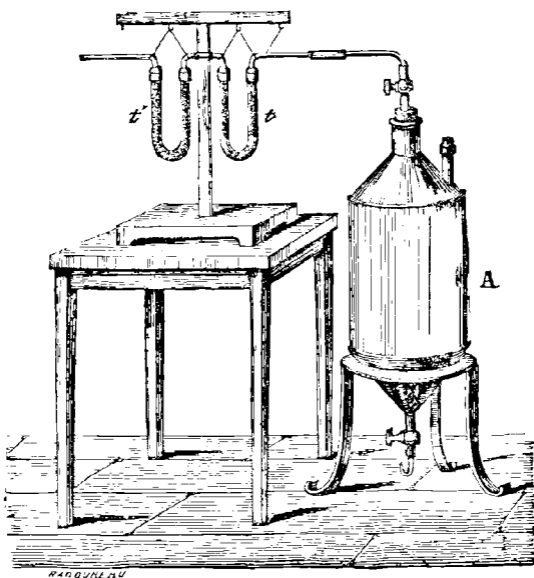


Fig. 21. — Procédé chimique pour déterminer l'état hygrométrique de l'air. — A, aspirateur plein d'eau. tubes desséchants en U.

temps est sec. On conçoit donc que les dilata-
tions ou les contractions de ce cheveu ou de
substances analogues puissent permettre de me

surer la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air. « Casbois employait des boyaux de vers à soie; Huth, des fragments de peau de grenouille; Wilson, des vessies de rat; Mayer, de Vérone, la membrane interne des coquilles d'œuf; Cazalet, des fils de soie; de Luc, des cylindres d'ivoire; Franklin, des fibres d'acajou; etc. »

En 1775, Saussure ² construisit un hygromètre à cheveu qui porte son nom et qui est utilisé aujourd'hui encore (fig. 25). Les allongements très-faibles du cheveu sont amplifiés d'une manière très-simple : le cheveu, fixé à l'une de ses extrémités est enroulé à l'autre extrémité sur une poulie à double gorge qui porte une longue aiguille mobile avec elle et se déplaçant devant un arc gradué. Sur la seconde gorge de la poulie passe un fil de soie terminé par un poids léger destiné à tendre le cheveu.

L'instrument étant suspendu dans une éprouvette contenant de l'eau, de façon, bien entendu, que l'hygromètre ne touche pas l'eau, on marque 100 sur une division de l'arc gradué devant laquelle s'arrête l'aiguille. L'instrument étant ensuite placé dans une enceinte parfaitement sèche, on marque zéro sur la division nouvelle devant laquelle l'aiguille s'est fixée.

On divise en 100 parties égales l'arc qui sépare les deux points de repère que nous venons

1. Hoefler, *Histoire de la physique*, p. 65.

2. Saussure, savant physicien et géologue, naquit à Genève en 1740 et mourut en 1799.

d'établir. Saussure employait des cheveux longs, lisses et soyeux, coupés sur une tête vivante et saine. Il faut toujours commencer par les dégraisser : Saussure les coud dans une en-

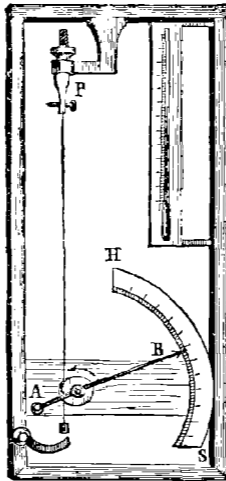


Fig. 25. — Hygromètre à cheveu de Saussure (La flèche indique le sens de l'enroulement du cheveu et du fil qui soutient le poids).

veloppe de toile ; il les fait bouillir pendant 30 minutes dans une lessive de carbonate de soude, et il les laisse refroidir en les maintenant dans la solution.

Cet hygromètre présente sans doute de pré-

cieux avantages au double point de vue de la simplicité de la construction et de l'observation; malheureusement il offre certains inconvénients: le cheveu est délicat, facile à rompre et à détériorer; la poulie ne tarde pas à s'en-crasser à l'air et à offrir des résistances qui faussent les indications de l'instrument; deux hygromètres ne donnent pas des indications identiques; il faut avoir pour chacun une échelle spéciale de graduation; etc. Arago avait proposé de remplacer le cheveu par un faisceau de trois ou quatre cheveux accouplés; M. Marié Davy prend pour substance hygroskopique un crin de cheval pris à un archet neuf....

On accorde généralement plus de confiance à l'instrument appelé *psychromètre*. Cet instrument, imaginé par le physicien écossais Leslie et modifié par August, de Berlin, se compose simplement de deux thermomètres très-sensibles et parfaitement d'accord placés l'un à côté de l'autre et dont l'un a son réservoir toujours mouillé. Ce dernier thermomètre marque une température toujours plus basse que celui dont le réservoir est sec. La différence de ces températures permet de conclure l'état hygrométrique du lieu.

Mais le psychromètre, très-sensible pendant les chaleurs de l'été, l'est beaucoup moins dans les temps froids, et ses indications sont même arrêtées pendant les gelées.

Il existe une autre méthode, indiquée et appliquée pour la première fois en 1752 par Le-

roy, médecin à Montpellier, puis modifiée successivement par Daniell et Regnault : c'est la méthode des hygromètres à condensation. Voici très-sommairement sur quel principe elle est établie : L'air ne peut pas indéfiniment se charger de vapeur d'eau ; à une certaine limite, cette vapeur se condense : on dit que l'air est saturé de vapeur. A ce moment, la pression exercée par la vapeur, sa tension, comme l'on dit, est la plus grande possible ; elle ne varie pas avec la pression qu'elle supporte. Mais cette tension maximum change avec les températures, et les physiciens possèdent des tables qui donnent cette tension pour chaque degré du thermomètre.

Ceci posé, l'air n'étant pas saturé (car, s'il l'était, il suffirait de recourir aux tables pour avoir la tension cherchée), je vais refroidir un vase contenant de l'eau jusqu'à ce que j'obtienne la température à laquelle la couche d'air qui entoure le vase serait saturée. Ce moment sera indiqué par un dépôt de rosée sur le vase. J'en déduis que la tension de la vapeur d'eau contenue dans l'air au moment de l'expérience est la même que la tension maxima de cette vapeur à la température artificielle que je viens d'établir. Le thermomètre dans l'air marquait 18° par exemple ; dans le vase refroidi, le thermomètre marquait 10° ; je cherche dans la table la tension maxima qui correspond à la température de 10° : c'est précisément la tension de la vapeur au moment de l'observation.

L'hygromètre à condensation de Regnault

se compose (fig. 26) de deux tubes de verre terminés par des dés d'argent dans lesquels plonge un thermomètre. Un seul de ces tubes est utilisé; le second ne sert que de repère. Dans l'un des tubes, on verse de l'éther; en in-

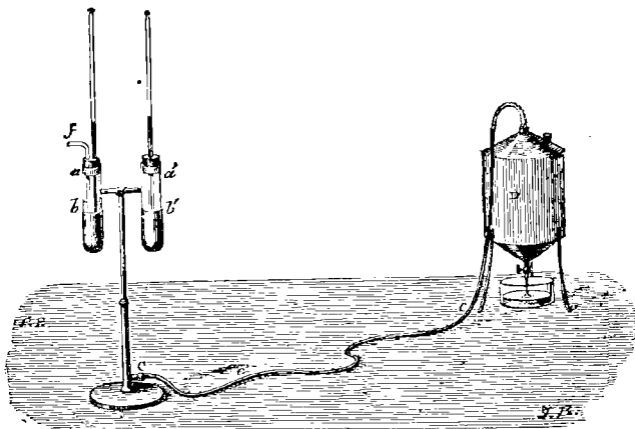


Fig. 26. — Hygromètre de M. Regnault. — La communication du tube *b* contenant de l'éther avec l'aspirateur se fait par l'intermédiaire du support, qui est formé de tubes creux.

sufflant de l'air dans l'éther soit avec la bouche, soit à l'aide d'un aspirateur, on refroidit le liquide, et on note avec soin le moment précis où la couche argentée du tube se couvre d'un dépôt de rosée. La surface ternie s'observe d'autant mieux qu'on la compare avec la surface brillante du second tube.

M. Alluard a ingénieusement modifié cet hygromètre, qu'il a rendu plus portatif et moins coûteux.

5. *Poids de la vapeur d'eau.* — D'après les calculs de Dalton, l'atmosphère renfermerait environ, en moyenne, 0.0142 parties de son poids d'eau. Ainsi, l'oxygène et l'azote formant à eux seuls les 99 centièmes et demi de notre atmosphère, sur l'autre demi-centième, 9 dixièmes sont de la vapeur d'eau; le reste est de l'acide carbonique.

Cette quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air est essentiellement variable suivant les saisons, la température, l'altitude, la situation géographique, les vents, etc. Kacmtz a montré que la quantité de vapeur est aussi petite que possible lorsque le vent souffle entre le nord et le nord-est; elle augmente quand il tourne à l'est, au sud-est et au sud, et atteint son maximum entre le sud et le sud-ouest, pour diminuer de nouveau en passant à l'ouest et au nord-ouest.

L'humidité de l'air s'accroît depuis la surface du sol jusqu'à 1,000 mètres; puis, à partir de cette hauteur, elle diminue sensiblement à mesure qu'on s'élève. Voici les indications obtenues par M. Glaisher dans sa célèbre ascension en ballon : au départ, l'hygromètre marquait 60; à 500 mètres, 70; à 1,000 mètres, 72; puis à 2,000 mètres, 60; à 3,000 mètres, 48; à 5,000 mètres, 36; enfin à 6,500 mètres, 16.

CHAPITRE IX

Composés nitreux et ozone.

1. *Ammoniaque.* — L'air contient de l'ammoniaque, gaz dont la dissolution est bien connue sous le nom d'alcali volatil. C'est un gaz incolore, doué d'une odeur très-vive qui provoque le larmolement; il est excessivement soluble dans l'eau. L'ammoniaque est une combinaison des deux gaz azote et hydrogène; sa présence dans l'air est facilement explicable car toutes les matières organiques azotées produisent de l'ammoniaque en se putréfiant; c'est le principe le plus important des fumiers. L'ammoniaque existe dans l'air, soit à l'état libre, soit en combinaison avec les acides azoteux et azotique; dans tous les cas, les quantités contenues dans l'air sont très-faibles. Les différents observateurs étaient loin d'estimer de la même façon les poids d'ammoniaque correspondant à un même poids d'air. C'est ainsi que, dans 1 million de kilogrammes d'air, M. Græger a trouvé 333 grammes d'ammoniaque; M. Kemp, 3,880 grammes; M. Frésenius, 89 grammes pendant le jour et 169 grammes pendant la nuit; M. Is. Pierre, 3,500 grammes à 3 mètres au-dessus du sol et 500 grammes à une hauteur de 8 mètres. Remarquons toutefois que ces observateurs opéraient sur de l'air recueilli à des hauteurs différentes, à des époques diverses de l'année, et sur des volumes en général

très-faibles. En opérant sur 50,000 litres d'air, M. Ville a obtenu le nombre moyen de 24 grammes par chaque million de kilogrammes de gaz.

Nous avons entrepris, depuis plusieurs années, à l'observatoire de Montsouris, l'analyse quotidienne de l'ammoniaque contenue dans l'air. Dans une note placée à la fin de ce volume (note H), nous donnons quelques indications sommaires sur nos procédés d'analyse ; ce que nous pouvons dire ici, c'est que la moyenne annuelle, en 1877-1878, de l'ammoniaque contenue dans 100 mètres cubes d'air, a été de 2 milligr. 86 ; nous avons obtenu 3 milligr. 7 l'année dernière. En prenant 3 milligrammes comme nombre moyen, se rapportant à 100 mètres cubes d'air qui pèsent 129 kilogr. 319, nous trouvons, pour un million de kilogrammes d'air, 23 gr. 3 d'ammoniaque, ce qui est très-sensiblement le nombre donné par M. Ville.

L'ammoniaque se trouve en plus grande quantité dans les parties supérieures de l'atmosphère ; cependant les pluies entraînent l'ammoniaque à la surface du sol et la mettent à la disposition des végétaux qui, nous le verrons plus loin, puisent dans cette ammoniaque un élément important de leurs tissus.

De Saussure, Brandes, Liebig, Is. Pierre, Barral ont successivement recherché l'ammoniaque dans les eaux météoriques. Nous avons repris cette étude, et nous ne voulons retenir, du mémoire publié dans l'Annuaire de Montsouris, que ce seul fait : en 1877-1878, la moyenne par litre d'eau de pluie a été de 2 milligr. 3. C'est

à peu près le même nombre que nous avons obtenu dans 100 mètres cubes d'air. La quantité d'ammoniaque dans une pluie décroît depuis le commencement jusqu'à la fin de l'averse ; à la fin, on ne trouve plus que des traces de cet alcali. En 1877-1878, il est tombé à Paris 600 millimètres d'eau de pluie, ayant fourni sur chaque mètre carré du sol un poids de 1,395 grammes et demi d'ammoniaque, nombre énorme sans doute et auquel il faut encore ajouter l'ammoniaque apportée par les brouillards, la neige, la rosée. Dans certains brouillards, on a trouvé jusqu'à 130 milligrammes d'ammoniaque par litre d'eau ; la présence de cet alcali est d'ailleurs attestée par l'odeur caractéristique des brouillards.

2. *Acide azotique.* — L'ammoniaque n'est pas le seul composé azoté qu'on rencontre dans l'air. Liebig, Bergmann, Brandes, Zimmermann avaient depuis longtemps constaté des traces d'acide azotique dans l'eau de pluie, lorsque M. Barral entreprit le dosage de ces petites quantités d'acide. M. Boussingault continua ces expériences et dosa l'acide azotique contenu dans la pluie, les brouillards et la rosée. Nous avons repris ces recherches, et nous analysons l'acide azotique de toutes les pluies qui tombent sur le sol parisien. Pendant longtemps, on avait admis que l'acide azotique de l'air, apporté sur le sol par les pluies, se formait dans l'atmosphère à la suite des décharges électriques qui ont lieu pendant les orages. On rencontre l'acide nitrique non-seulement dans les

pluies d'orage, mais dans les pluies recueillies à toutes les époques de l'année. M. Boussingault a montré qu'en général les premières prises de la pluie contiennent plus d'acide nitrique que les prises subséquentes, mais que la diminution de la quantité d'acide n'est ni aussi rapide ni aussi régulière que celle observée pour l'ammoniaque.

M. Boussingault a reconnu que la neige renfermait plus d'acide azotique que la pluie et que certains brouillards pouvaient contenir jusqu'à 10 milligr. 11 d'acide par litre d'eau. Cet éminent chimiste a constaté de plus qu'au Liebfrauenberg la rosée contenait moins d'acide que le brouillard. La rosée la plus riche en acide nitrique a été recueillie sur le trèfle; elle en contenait 1 milligr. 12 par litre.

L'air contient assez fréquemment un second composé oxygéné de l'azote : l'acide azoteux, combiné avec différentes bases et, en particulier, avec l'ammoniaque; mais, en général, les azotites sont en assez faible proportion dans l'air.

3. *Ozone*. — M. Schönbein a montré qu'il existe dans l'air un principe oxydant beaucoup plus énergique que l'oxygène et auquel il a donné le nom d'ozone, du mot grec *ozo*, je sens, à cause de l'odeur très-caractéristique de ce corps. Pour reconnaître la présence de l'ozone, il suffit de placer dans l'air un papier amidonné trempé dans une dissolution d'iode de potassium. L'ozone oxyde le potassium et le transforme en potasse; l'iode mis en

liberté colore en bleu l'amidon. L'ozone n'est pas autre chose qu'une modification particulière de l'oxygène; c'est de l'oxygène dont les propriétés sont exaltées. Quand on soumet de l'oxygène pur à l'influence d'étincelles électriques, on obtient de l'ozone. Ce gaz est un oxydant très-énergique : il oxyde le chlore, le brome, l'iode, l'argent, il brûle les matières organiques, les décolore. L'ozone commence à se transformer en oxygène vers 100 degrés; il est complètement détruit vers 200 degrés. Nous dirons dans un chapitre suivant dans quelles conditions il se forme.

Pendant longtemps, on a évalué la quantité d'ozone contenue dans l'air par le degré de coloration du papier amidonné et ioduré. Depuis plusieurs années, nous dosons l'ozone en poids par une méthode que nous indiquons dans une note spéciale (note H). On trouve généralement plus d'ozone dans l'air des campagnes que dans celui des villes, et on a quelquefois expliqué par cette raison la salubrité plus grande des campagnes. On a cru reconnaître l'absence d'ozone dans l'air au moment des épidémies cholériques; mais ces études, très-intéressantes sans doute, ont besoin d'être reprises et suivies avec soin. La direction des vents exerce une influence marquée sur la quantité d'ozone contenue dans l'air. Ainsi, à Montsouris, nous avons constaté cette année (1877-1878), comme nous l'avions déjà fait l'an dernier, que chaque fois que le vent tourne au sud la quantité d'ozone augmente; chaque fois au contraire que le vent

tourne au nord, la quantité d'ozone diminue. Si nous observons que l'observatoire est situé au sud de Paris, que les vents du nord ont passé sur la ville, tandis que les vents du sud viennent de la campagne, on pourra penser que l'influence de l'air parisien explique ces différences. On remarque en outre un phénomène assez curieux : un papier ozonométrique déjà coloré en bleu par suite de l'action de l'ozone, se décolore lorsque le vent passe au nord, comme si l'air contenait en ce moment un principe spécial qui décompose l'iodure d'amidon formé, en régénérant l'iodure de potassium. Nous avons mis ces faits hors de conteste sans avoir voulu encore les expliquer. Il n'est peut-être pas inutile, à ce propos, de rappeler que Théodore de Saussure a montré qu'il existe dans l'air une substance carbonée qui n'est pas l'acide carbonique. Ces expériences ont été confirmées par M. Boussingault, qui a trouvé qu'indépendamment d'un corps carburé l'air contenait un corps hydrogéné. Plusieurs chimistes pensent que ce principe hydrogéné et carboné est peut-être le carbure d'hydrogène, connu sous le nom de gaz des marais et dont il se dégage dans l'air des quantités considérables.

CHAPITRE X

Poussières atmosphériques.

1. *Matières minérales et organiques.* — L'atmosphère contient un grand nombre de poussières, de matières organiques, qu'un rayon de lumière fait apparaître et que les eaux météoriques amènent sur le sol. Au milieu de ces poussières, que Bergmann appelait les immondices de l'atmosphère, se trouvent des matières minérales que les analyses des eaux de pluie ont appris à reconnaître.

D'après Brandes, la proportion moyenne des matières étrangères entraînées dans les eaux pluviales s'élèverait à 26 kilogrammes pour 1,000,000 de kilogrammes d'eau. M. Isidore Pierre, dans une série d'expériences faites à Caen, en 1851, a trouvé, comme moyenne, 24 kilogrammes $1/2$. « Si nous admettons, dit M. Is. Pierre, qu'en France la quantité de pluie qui tombe annuellement s'élève, en moyenne, à 60 centimètres de hauteur, 1 hectare en recevrait 6,000 mètres cubes ou 6 millions de kilogrammes, contenant, d'après Brandes, 156 kilogrammes de matières solides en dissolution et plus de 147 kilogrammes d'après mes expériences. » Dans le voisinage de Caen, M. Is. Pierre a trouvé que 1 hectare de terre reçoit annuellement, par les eaux pluviales :

Chlorure de sodium.....	37 kil. 5
Chlorure de potassium.....	8 2

Chlorure de magnésium	2 kil. 5
Chlorure de calcium.....	1 8
Sulfate de soude	8 4
Sulfate de potasse.....	8 0
Sulfate de chaux.....	6 2
Sulfate de magnésie.....	5 9

Il convient encore de signaler la présence de certains corps, tels que l'iode, le chlore, des matières organiques.

L'analyse de ces matières organiques est extrêmement difficile. Nous nous bornons, à Montsouris, à évaluer la quantité d'azote dégagé à l'état d'ammoniaque par ces matières organiques quand on les soumet, à 100°, dans un milieu alcalin, à l'action du permanganate de potasse. Nous n'ignorons pas d'ailleurs que le permanganate n'attaque pas complètement les matières organiques et que certaines d'entre elles, la quinine, la toluidine, etc., n'abandonnent que la moitié environ de l'azote qu'elles renferment.

2. *Résumé.* — Ainsi, en résumé, dans 1 mètre cube d'air dont le poids est d'environ 1,290 grammes, on trouve :

Oxygène	206 lit.27,	pesant	294 gr. 915
Azote.....	754 92,	pesant	985 993
Vapeur d'eau.....	8 40,	pesant	6 757
Acide carbonique..	0 41,	pesant	0 811
			<hr/>
			1283 gr. 476

auxquels il faut ajouter des produits azotés ou des substances minérales qui se trouvent en

quantités impondérables dans une aussi faible quantité de gaz, mais qui, avec l'aide du temps, constituent pour le sol un apport très-appreciable.

Si les proportions d'eau, d'acide carbonique et des autres produits sont très-variables, on peut dire, au contraire, que l'air atmosphérique conserve une composition constante en azote et en oxygène pendant la suite des temps, dans les différents lieux et aux diverses hauteurs. Sans doute, trop peu d'années se sont encore écoulées depuis la découverte de Lavoisier, pour que la constance de cette composition à travers les siècles soit suffisamment établie. Cependant MM. Dumas et Boussingault sont arrivés aux mêmes nombres qui avaient été obtenus trente-cinq ans avant eux par Gay-Lussac et Humboldt. Nous avons reproduit, note G, les conclusions du beau travail de ces savants.

Des expériences faites simultanément par MM. Bravais et Martins, au sommet du Faulhorn, à 5,672 mètres au-dessus de la mer; par M. Dumas, à Paris; par M. Brunner, à Berne, à 540 mètres d'élévation, ont montré que l'air avait la même composition aux diverses hauteurs.

Des analyses d'air prises en un grand nombre de points de la surface de la terre ont établi enfin que la composition de l'air était sensiblement uniforme en tous lieux.

Cependant, pour tout dire, on a constaté que l'air recueilli sur mer contient moins d'oxygène que l'air ordinaire. Cette différence peut être

attribuée à ce que l'oxygène est plus soluble dans l'eau que l'azote et que les animaux qui peuplent les mers ont besoin d'oxygène pour leur respiration. « A mesure que ces animaux s'emparent de l'oxygène dissous, la surface de la mer qui est en contact avec l'atmosphère lui enlève une nouvelle quantité d'oxygène. »

CHAPITRE XI

Formation de l'atmosphère.

1. *L'atmosphère.* — D'après l'hypothèse de Laplace sur la formation de notre système solaire, la terre a dû être tout d'abord une masse fluide affectant la forme d'un sphéroïde aplati dans le sens de son axe de rotation, et environnée d'une atmosphère, reste de la nébuleuse qui lui a donné naissance. Cette masse fluide, en continuant à se refroidir, s'est solidifiée peu à peu sur toute sa surface... Si l'atmosphère contenait une grande quantité de vapeur d'eau, cette vapeur devait se condenser et former des masses d'eau énormes; mais cette eau devait se vaporiser, en raison de la température encore élevée du globe, puis se condenser de nouveau, par suite du refroidissement de l'air...

La température devait être extrême, à l'origine de notre terre; elle a successivement diminué, mais au bout d'un temps qui effraye l'imagination quand on songe qu'il faut des

milliers d'années pour que la température de l'atmosphère s'abaisse de un degré.

Notre globe, à l'origine, au moment où il fut détaché de la grande nébuleuse qui lui donna naissance, était une masse gazeuse incandescente. La température de cette masse diminuant peu à peu, à cause de son rayonnement à travers l'espace, cette masse gazeuse se refroidit; elle contenait alors à l'état de gaz tous les corps que nous trouvons sur la terre. Les corps les moins volatils se précipitèrent alors à l'état liquide; la terre était formée à ce moment : 1° d'une partie interne gazeuse; 2° d'une enveloppe liquide; 3° d'une deuxième enveloppe extérieure gazeuse. La masse liquide, continuant à se refroidir, augmentait sans cesse de volume, par le refroidissement des deux atmosphères gazeuses entre lesquelles elle se trouvait, et bientôt une partie de ce liquide se solidifiait. Cette pellicule solide augmente peu à peu d'épaisseur en même temps que l'atmosphère pèse d'un poids moins lourd sur la terre par la condensation de ses éléments.

Enfin, l'atmosphère, ayant successivement laissé déposer les matières les plus faciles à condenser, abandonne sa vapeur d'eau qui recouvre la terre. A ce moment, la température était relativement basse, et la vie végétale et la vie animale commencent à apparaître.

Quand on examine les spécimens que nous possédons des animaux et des plantes qui vivaient à cette époque, on est frappé de leurs dimensions gigantesques, qui attestent une su-

rabondance de vitalité que nous ne connaissons plus. Le milieu dans lequel la vie s'épanouissait alors devait certainement différer du nôtre.

2. *Formation d'acide carbonique.* — On s'est demandé si les quantités énormes de matériaux carbonatés qu'on trouve actuellement dans le sol n'indiquaient pas la présence dans l'air, à ces époques primitives, de torrents d'acide carbonique. Ce gaz carbonique, exhalé par les animaux, est décomposé par les plantes, qui fixent le carbone et ne le rendent qu'après la mort. Toutefois, M. Stanislas Meunier rappelle, dans un très-intéressant travail sur l'origine de l'atmosphère, que l'équilibre entre le gaz absorbé et celui qui est restitué à l'air ne saurait s'établir, car très-souvent le bois, les feuilles, enfouis dans le sol après la mort du végétal, sont protégés du contact de l'air et se transforment en *lignite*, puis en *houille*, et enfin en *anthracite*, voire même en *plombagine*. Van Dechen estime que les terrains carbonifères contiennent six fois plus de carbone que n'en renferme actuellement l'air atmosphérique. Cet air s'est-il donc tellement appauvri en gaz carbonique?

Si l'on imaginait, dit M. Stanislas Meunier, que notre atmosphère contînt tout l'acide carbonique actuellement combiné dans les roches carbonatées, on reconnaîtrait que sa pression seule, aux températures ordinaires, suffirait pour convertir à l'état liquide et même solide une forte proportion d'une telle atmosphère,

et, dans ces conditions, toute manifestation vitale serait impossible.

Il paraît plus exact d'admettre que ce gaz carbonique a été et est encore fourni à l'atmosphère par une source qui ne la donne que successivement. Si l'on se rappelle :

Que l'on a pu constater dans les régions profondes de notre globe des masses métalliques considérables formées de fer carburé ;

Que M. Cloez a montré que, sous l'influence d'un acide ou simplement de l'eau pure bouillante, les fontes dégagent des hydrogènes carbonés semblables à ceux qu'on trouve dans le sol ;

Enfin, que M. Daubrée a montré que le noyau de fonte existant dans les profondeurs du globe peut recevoir par infiltration de l'eau plus ou moins acidulée,

On peut conclure de ces observations qu'une grande partie de l'acide carbonique existant dans l'atmosphère provient des masses gazeuses combinées au fer au centre de la terre, « car la faible densité des produits hydrocarbonés ainsi formés les amène à la surface de l'écorce terrestre. »

3. *Formation de l'ozone.* — L'oxygène de l'air, qui est l'élément essentiel de toutes les combustions vitales, se modifie, sous l'influence des effluves électriques qui existent toujours dans l'air, en *oxygène électrisé* ou ozone. L'ozone n'est autre chose que de l'oxygène dont les propriétés sont exaltées.

Si l'on fait passer une série d'étincelles dans

de l'oxygène pur contenu dans une éprouvette renfermant une solution d'iodure de potassium et d'amidon, on voit ce liquide bleuir et l'oxygène disparaître (fig. 27).

Quand on décompose l'eau par la pile, l'oxy-

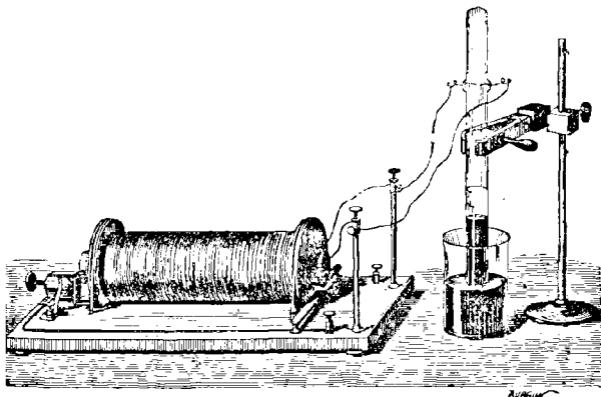


Fig. 27. — Production d'ozone.

gène, recueilli au pôle positif, a une odeur très-caractéristique : c'est de l'ozone. Lorsque l'on veut préparer de l'ozone, il est préférable de substituer à l'étincelle des décharges obscures d'électricité, des effluves électriques, afin d'empêcher la décomposition de l'ozone formé, par la chaleur de l'étincelle.

Ajoutons, du reste, que l'oxydation lente du phosphore à l'air humide ; que l'action de

l'acide sulfurique sur le bioxyde de baryum, peuvent également dégager de l'ozone.

4. *Formation des éléments azotés.* — Les décharges électriques qui s'opèrent dans l'atmosphère forment, au détriment de l'oxygène et de l'azote de l'air, des nitrites et des nitrates. Quand on fait passer des étincelles électriques dans un mélange des deux gaz oxygène et azote (fig. 28) il se produit des vapeurs orangées d'acide hypoazotique et cet acide, au contact de l'eau, donne à la fois de l'acide azoteux et de l'acide azotique. C'est Cavendish ¹ qui le premier fit cette expérience.

La combustion dans l'air du charbon, du gaz, des corps gras, donne naissance à de petites quantités d'acide azotique. M. Cloez a montré que toute oxydation qui a lieu dans l'air en présence de l'eau fournit des composés nitriques. Enfin, l'évaporation rapide de l'eau, l'action de l'oxygène sur l'ammoniaque, produisent de l'acide azotique.

Les nitrites et les nitrates formés dans l'atmosphère sont entraînés sur le sol par les eaux météoriques. Les eaux de drainage emportent ces nitrates dans la mer, et, chose curieuse, on ne les retrouve plus quand on soumet l'eau de mer à l'analyse. Ces nitrates servent probablement à la végétation aquatique et se transforment en ammoniaque. M. Schloësing pense

1. Cavendish, célèbre chimiste anglais, né en 1731, mort en 1810. On lui doit, entre autres découvertes remarquables, celle de la composition de l'eau.

qu'il existe une circulation d'acide nitrique et d'ammoniaque à la surface du globe. L'acide

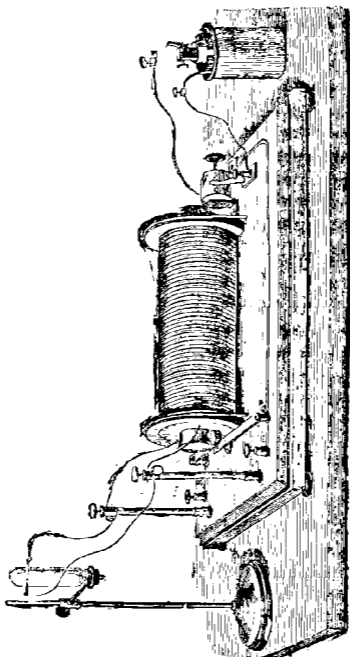


Fig. 28. — Formation d'acide azotique et d'acide azoteux.

nitrique, formé dans l'atmosphère par des décharges électriques, amené sur le sol par les pluies, conduit à la mer, se transforme, comme

nous l'avons dit, en ammoniacque. En cet état, dit M. Schlœsing ¹, le composé est éminemment propre à se diffuser : il passe dans l'atmosphère et, voyageant avec elle, va, comme l'acide carbonique, à la rencontre des êtres privés de locomotion, à la nutrition desquels il doit contribuer : telle doit être la circulation des composés minéraux de l'azote.

En admettant que le volume de la mer soit égal à une couche de 4,000 mètres d'épaisseur, étendue sur le globe entier, et en lui supposant un titre uniforme de 0 milligr. 4 d'ammoniacque par litre, on trouve qu'à chaque hectare de la surface correspondrait une provision de 4,000 kilogrammes d'ammoniacque. La mer, disait M. Boussingault, est un immense réservoir d'azote combiné. M. Schlœsing pense qu'elle est en outre le régulateur de sa distribution annuelle sur les continents par les courants aériens.

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. LXXX, p. 175.

TROISIÈME PARTIE

L'AIR ET LA VIE

CHAPITRE XII

Action de l'air sur l'homme et sur les animaux.

1. *La respiration.* — L'homme, les animaux, les plantes, ont besoin d'air pour vivre. Si nous plaçons un petit oiseau sous la cloche d'une machine pneumatique et que, progressivement, nous fassions le vide sous cette cloche, l'oiseau ne tardera pas à périr. Ce n'est pas parce que l'oiseau est dans le vide qu'il périt, mais bien parce que l'air lui manque ; car si, au lieu de faire le vide, nous avons créé une atmosphère artificielle d'acide carbonique, d'azote, voire même d'oxygène, l'oiseau plongé dans ce milieu aurait également succombé.

Le premier besoin de l'enfant qui vient de naître, avons-nous dit déjà, c'est de respirer. Cette première inspiration d'air se manifeste par les cris qu'il fait entendre. « Provoqué par les sensations nouvelles et probablement pénibles que le contact de l'air et l'impression du froid déterminent à la surface du corps, le cri

du nouveau-né a pour but, en raison de l'effort qu'il suppose et de l'inspiration profonde qui le précède ou qui le suit, de dilater amplement les vésicules pulmonaires, de refouler les viscères abdominaux qui empiétaient sur la cavité thoracique, de chasser le sang veineux dans l'artère pulmonaire et dans les bronches ¹. »

L'air agit de deux façons sur les animaux : il agit comme corps pesant, exerçant des pressions qui peuvent varier dans des limites très-étendues; il agit comme substance chimique, capable d'alimenter, grâce à son oxygène, cette remarquable combustion qui porte le nom de respiration.

Nous avons dit déjà que notre grand chimiste Lavoisier avait montré que, contrairement aux idées de Stahl, les corps qui brûlent à l'air augmentent de poids en empruntant à l'air un de ses éléments : l'oxygène. C'est ainsi, par exemple, que le charbon, brûlant à l'air, se transforme en acide carbonique ou, dans certains cas, en oxyde de carbone. On démontre ce fait en brûlant du charbon dans une atmosphère limitée, dans une cloche, par exemple, et en analysant l'air avant et après la combustion du charbon. Dans le second cas, tout l'oxygène a disparu; il ne reste que de l'azote et de l'acide carbonique.

Si, dans cette même cloche, nous mettons, à

1. Jaccoud, *Dictionnaire de médecine et de chirurgie*.

la place du morceau de charbon, un petit animal, un oiseau je suppose, nous observons qu'au bout de peu de temps l'animal périt si la provision d'air n'est pas renouvelée; sous la cloche, tout l'oxygène a disparu et a été remplacé par un volume égal d'acide carbonique. En même temps, il s'est formé un peu de vapeur d'eau produite par l'oxydation de l'hydrogène contenu dans les tissus de l'animal.

Écoutez Lavoisier résumer lui-même, en une admirable page, sa belle découverte :

« La respiration n'est qu'une combustion lente de carbone et d'hydrogène semblable en tout à ce qui s'opère dans une lampe ou dans une bougie allumée; sous ce point de vue, les animaux qui respirent sont de véritables corps combustibles qui brûlent et se consomment.

« Dans la respiration, comme dans la combustion, c'est l'air atmosphérique qui fournit l'oxygène et le calorique; mais, comme dans la respiration c'est la substance même de l'animal, c'est le sang qui fournit le combustible, si les animaux ne réparaient pas habituellement par les aliments ce qu'ils perdent par la respiration, l'huile manquerait bientôt à la lampe, et l'animal périrait comme une lampe s'éteint quand elle manque de nourriture. Les preuves de cette identité d'effet entre la respiration et la combustion se déduisent immédiatement de l'expérience. En effet, l'air qui a servi à la respiration ne contient plus, à la sortie du poumon, la même quantité d'oxygène; il renferme non-seulement du gaz carbonique, mais encore

beaucoup plus d'eau qu'il n'en contient avant l'inspiration. Or, comme l'air vital (l'oxygène) ne peut se convertir en acide carbonique que par une addition de carbone, qu'il ne peut se convertir en eau que par une addition d'hydrogène, que cette double combinaison ne peut s'opérer sans que l'air vital perde une quantité de son calorique spécifique, il en résulte que l'effet de la respiration est d'extraire du sang une portion de carbone et d'hydrogène et d'y déposer à la place une portion de son calorique spécifique, qui, pendant la circulation, se distribue avec le sang dans toutes les parties de l'économie animale et entretient cette température à peu près constante qu'on observe dans tous les animaux qui respirent.

« On dirait que cette analogie qui existe entre la combustion et la respiration n'avait point échappé aux poètes, ou plutôt aux philosophes de l'antiquité, dont ils étaient les interprètes et les organes. Ce feu, dérobé du ciel, ce flambeau de Prométhée, ne présente pas seulement une idée ingénieuse et poétique ; c'est la peinture fidèle des opérations de la nature, du moins pour les animaux qui respirent. On peut donc dire avec les anciens que le flambeau de la vie s'allume au moment où l'enfant respire pour la première fois et qu'il ne s'éteint qu'à sa mort. »

Une expérience très-simple met en évidence la production d'acide carbonique par l'organisme. Prenons deux verres remplis d'eau de chaux : dans l'un, à l'aide d'un soufflet, faisons

passer de l'air ; dans l'autre soufflons de l'air expiré par notre bouche. Nous verrons dans ce dernier verre l'eau se troubler par la formation de carbonate de chaux, bien avant que l'eau du premier verre soit troublée (fig. 29).

Lavoisier pensait que c'est dans le poumon

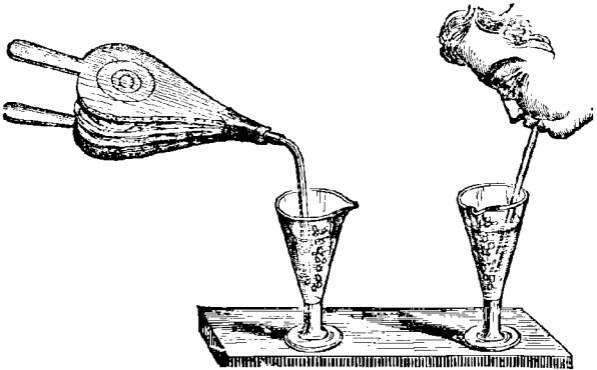


Fig. 29. — Expérience comparative qui montre que l'air expiré contient beaucoup plus d'acide carbonique que l'air atmosphérique.

que s'opère directement et immédiatement la combustion du carbone et de l'hydrogène contenus dans le sang ; cette opinion paraissait confirmée par ce fait que le sang veineux noir se transforme immédiatement en sang artériel rouge en passant par le poumon. Il n'est pas douteux en effet que, dans le poumon, le sang absorbe l'oxygène ; mais Magnus a montré de-

puis que ces phénomènes étaient complexes. L'air inspiré se dissout dans le sang, et c'est pendant le cours de la circulation qu'il se combine avec le carbone du sang. Celui-ci contient donc à la fois de l'oxygène, de l'azote et de l'acide carbonique à l'état de dissolution et en proportions différentes suivant qu'il est artériel ou veineux. En passant par le poumon, il y a non plus une combinaison, mais un échange de gaz : l'oxygène se dissout dans le sang en même temps qu'une partie de l'acide carbonique se trouve chassée. Ce qui montre bien d'ailleurs que la combustion ne se produit pas instantanément, c'est que des animaux plongés dans une atmosphère d'hydrogène continuent néanmoins à dégager de l'acide carbonique. (Expérience de Spallanzani.)

Nous sortirions des limites qui nous sont imposées par les dimensions restreintes de ce petit volume, si nous voulions montrer que c'est dans toute l'étendue du système vasculaire sanguin et principalement dans les capillaires que l'oxygène se transforme en acide carbonique. Nous ne pouvons pas davantage insister sur les modifications que subit l'appareil respiratoire : poumons, branchies, tranchées, dans la série animale. Nous ne pouvons que donner succinctement quelques résultats d'analyses relatifs au phénomène chimique de la respiration.

La quantité moyenne d'air mise en circulation dans le poumon, pendant chaque mouvement respiratoire normal, est d'environ un demi-litre. L'homme adulte absorbe par la res-

piration de 20 à 25 litres, soit 29 à 36 grammes, d'oxygène par heure, ce qui fait 500 litres par jour. Il exhale à peu près le même volume d'acide carbonique, un peu moins cependant; la différence de ces deux volumes est due à la formation de vapeur d'eau.

La population du globe (un milliard d'individus peut-être) absorbe donc 500 millions de mètres cubes d'oxygène par jour et exhale 480 millions de mètres cubes ou 1,000 millions de kilogrammes d'acide carbonique! Par jour encore, l'humanité exhale plus de 15 milliards de kilogrammes d'eau!!

MM. Andral et Gavarret ont déterminé, à l'aide d'un dispositif particulier, les variations de l'acide carbonique exhalé aux différents âges de la vie. « L'appareil consiste en un masque de cuir dont le bord, recouvert de caoutchouc, peut s'appliquer exactement sur la face. Deux tubes placés de chaque côté des lèvres font pénétrer l'air extérieur; des sphères de moelle de sureau servent de soupapes pour empêcher que l'air expiré ne passe par ces tubes; en face de la bouche, une ouverture, munie d'un tube de caoutchouc, communique avec trois grands ballons dans lesquels on a fait le vide, et dont le volume de 140 litres environ, sera rempli par l'air expiré. » Nous n'insistons pas sur l'analyse même de cet air.

Voici quelques-uns des résultats obtenus :

Age.	Poids de carbone brûlé par heure.
De 12 ans.....	8 ^{gr} ,3
De 28 ans.....	12 ,4

De 50 ans.....	10 ^{gr} ,7
De 59 ans.....	10 ,0
De 68 ans.....	9 ,6

Ainsi, augmentation rapide de la combustion respiratoire à l'âge de la puberté jusqu'à 30 ans. Après cet âge le poids d'acide carbonique exhalé baisse d'une manière régulière.

Voici les résultats relatifs au sexe féminin :

Age.	Poids de carbone brûlé par heure.
De 10 à 15 ans.....	6 ^{gr} ,4
De 15 à 30 ans.....	6 ,4
De 45 ans.....	6 ,2
De 49 ans.....	8 ,4

Ainsi, chez la femme, l'activité de la combustion respiratoire est à peu près constante de 10 à 45 ans; elle augmente un peu à cet âge et diminue ensuite régulièrement.

Il nous faut renvoyer le lecteur aux ouvrages spéciaux qui donnent : les volumes d'acide carbonique, d'eau, expirés par les animaux; la chaleur dégagée par l'homme et les animaux, etc. Le dispositif de ces expériences est représenté sur la figure 30, qui fera suffisamment comprendre comment on opère.

Nous avons vu que, malgré ces énormes quantités d'acide carbonique versé dans l'atmosphère, quantités auxquelles il faut ajouter encore le produit des combustions naturelles ou artificielles qui s'opèrent chaque jour, la composition de l'air est constante.

2. *Pression exercée par l'air sur l'homme.*

— L'air est pesant : chaque centimètre carré à la surface de la terre subit de la part de l'air une pression qui est en moyenne de 1,033 gr. 6. Le corps d'un homme de stature moyenne, présentant une surface de 17,000 centimètres carrés, supporte donc une pression de 17,570 kilogrammes. Si nous ne sommes pas écrasés par

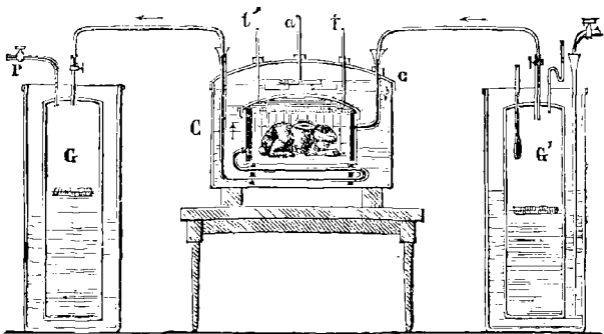


Fig. 30. — Appareil de Dulong pour l'étude de la chaleur animale. — C, calorimètre. — G', gazomètre dont l'air, déplacé par un courant d'eau, se rend dans la boîte où il sert à la respiration. — G, gazomètre qui reçoit les gaz expirés après qu'ils ont traversé un serpentín. — t', t, thermomètres. — a, agitateur.

ce poids considérable, cela tient à ce que les fluides élastiques renfermés dans notre corps exercent de dedans en dehors une pression égale à la pression atmosphérique, et surtout à ce que l'incompressibilité à peu près absolue de nos tissus nous épargne un écrasement ou une dilatation également redoutables.

Une diminution de 1 centimètre, par exemple, dans la hauteur de la colonne barométrique, indique une diminution de pression sur notre corps égale à 231 kilogrammes : il est facile de comprendre que, dans une foule de circonstances, cette diminution brusque ou, au contraire, dans l'hypothèse inverse, une augmentation brusque de pression puisse déterminer chez l'homme des accidents graves : des apoplexies ou des phénomènes nerveux parfois très-graves.

Si, à la surface du sol, les variations ordinaires du baromètre peuvent correspondre à de pareilles variations de la pression de l'air, il est bien évident qu'à mesure qu'on s'élève soit sur les montagnes, soit dans les airs, ces changements de pression, devenant considérables, peuvent occasionner chez l'homme des accidents sérieux.

3. *Mal des montagnes et des aéronautes.* — Lorsqu'on s'élève, sur les montagnes, à des hauteurs qui dépassent 2,500 mètres, on éprouve « une lassitude extrême, une prostration considérable des forces avec un tel degré d'abattement moral, que l'indifférence la plus absolue y tient la place de la volonté; la respiration s'accélère, s'arrête, s'agite, devient anxieuse, irrégulière; la circulation s'accélère, la chaleur animale diminue. »

Des bourdonnements d'oreilles, des éblouissements, des vertiges surviennent alors; le malaise général, dit M. Paul Bert, la faiblesse deviennent tels que, sous peine de défaillance,

le voyageur doit s'arrêter. En même temps, d'autres accidents du côté des voies digestives, nausées ou vomissements, ont, se joignant au dégoût et à l'affaissement général, mérité à cet ensemble de symptômes ce nom caractéristique de *mal des montagnes*, qui rappelle le mal de mer.

Parvenus à la même hauteur, mais en ballon, les aéronautes ne ressentent aucun de ces effets, probablement à cause de leur immobilité. Toutefois, s'ils continuent à s'élever, des phénomènes graves ne tardent pas à se manifester.

On sait que MM. Glaisher et Coxwell faillirent périr dans une ascension faite en Angleterre, le 5 septembre 1862, à une hauteur dépassant 9,000 mètres. « A la hauteur de 8,500 mètres, dit M. Glaisher, mon bras droit perdit instantanément sa puissance; j'essayai de me servir du bras gauche, et je vis qu'il était également paralysé. J'essayai encore une fois de lire le baromètre, et, pendant que je me livrais à cette tentative, ma tête tomba sur mon épaule gauche. Je voyais vaguement M. Coxwell, et j'essayais de lui parler, mais sans parvenir à remuer ma langue impuissante. En un instant, des ténèbres épaisses m'envahirent, le nerf optique avait subitement perdu sa puissance. J'avais encore toute ma connaissance, et mon cerveau était tout aussi actif qu'en écrivant ces lignes. Je perdis subitement connaissance, comme lorsqu'on s'endort. Voyant que mes bras et ma tête pendaient, M. Coxwell comprit

que j'étais évanoui. Il chercha à m'approcher, mais ne put y parvenir, sentant que l'insensibilité le gagnait lui-même. Alors il voulut ouvrir la soupape; mais, ayant perdu l'usage de ses mains, il ne put y réussir. Il ne serait point parvenu à tempérer notre course s'il n'avait eu l'idée de saisir la corde entre ses dents et de lui imprimer deux ou trois mouvements en secouant violemment la tête. »

Est-il nécessaire de rappeler qu'en avril 1875 trois aéronautes français, voulant exécuter une ascension à grande hauteur, s'élevèrent à plus de 8,000 mètres. M. Tissandier s'était évanoui. Quand il revint à lui, il vit ses deux compagnons, Sivel et Crocé-Spinelli, la figure noire, la bouche pleine de sang. ... ils étaient morts.

Les dangers auxquels s'exposent les aéronautes tiennent à trois causes : le refroidissement de la température, la sécheresse de l'air et la diminution de la pression atmosphérique. Nous avons indiqué dans des chapitres spéciaux comment ces éléments météorologiques varient à mesure qu'on s'élève dans l'air.

A quelle cause sont dus le mal des montagnes et les accidents dont les aéronautes sont victimes quand ils s'élèvent à de grandes hauteurs?

Déjà Saussure avait pensé que, à ces grandes hauteurs, il y avait une insuffisance de l'acte respiratoire ou, d'une manière plus précise, de la quantité d'oxygène absorbé. M. Jourdanet a montré que, lorsque la pression diminue, la quantité des gaz contenus dans le sang dimi-

nue également. Donc, un homme qui s'élève en ballon ou gravit une montagne a dans le sang, à sa disposition, pour exciter ses tissus et fournir à sa dépense de force et de chaleur, une quantité de plus en plus petite, et bientôt insuffisante d'oxygène. De là la nécessité de s'arrêter dans les ascensions et de ne pas dépasser une limite où l'asphyxie devient menaçante.

La diminution dans la proportion d'oxygène dissous dans le sang devient manifeste dès 20 centimètres de diminution de pression, c'est-à-dire dans des conditions à peu près égales à celles où vivent des millions d'hommes, particulièrement sur le plateau mexicain de l'Anahuac. M. Jourdanet a montré ¹ que la raréfaction de l'air commence à agir d'une manière très-sensible sur les hommes à 2,000 mètres.

Les expériences de M. Paul Bert ont confirmé ces vues de Saussure et de M. Jourdanet. M. P. Bert a montré qu'un oiseau qui meurt dans un air raréfié à 18 centimètres de pression vit dans une atmosphère d'oxygène bien plus raréfiée. Nous donnons dans une note spéciale (note I) quelques extraits du travail de M. P. Bert ².

4. *Air comprimé.* — Nous sommes exposés à vivre non-seulement dans des milieux très-

1. Jourdanet, *Influence de la pression sur la vie de l'homme.*

2. *Revue scientifique*, t. XI, p. 49.

raréfiés, mais aussi dans des milieux d'air comprimé : les ouvriers qui travaillent dans les mines, à la construction des piles de pont, dans les cloches à plongeur, etc., sont dans ce cas. Quand l'homme est soumis à des pressions qui dépassent 5 ou 6 fois la pression atmosphérique, il subit des souffrances violentes qui peuvent se terminer par la mort. D'abord, on ressent « des démangeaisons atroces que les ouvriers appellent des *puces*, puis des douleurs violentes dans les muscles et les articulations qui ont le plus travaillé; des paralysies, surtout dans les membres inférieurs, souvent persistantes et mortelles; enfin la mort subite. » Ces effets terribles ne sont pas dus à la compression, d'après M. P. Bert; on les obtient en effet à une faible pression dans une atmosphère d'oxygène, et ils ne se manifestent pas dans un air comprimé à 20 atmosphères si cet air est pauvre en oxygène. C'est donc l'oxygène qu'il faut incriminer; c'est lui qui tue à dose trop élevée, en arrêtant les oxydations intra-organiques. Ainsi, les ouvriers qui travaillent dans un air comprimé, pourront vivre sans dangers si on leur fournit, au lieu d'air pur, un mélange d'air et d'azote calculé de manière que la pression de l'oxygène ne dépasse pas un niveau suffisamment bas.

Nous ajouterons que ce n'est pas l'excès seul de pression qui constitue un danger, mais le retour brusque à la pression normale. C'est donc surtout la décompression qui peut être fatale. Voici ce qui arrive dans ce cas : « l'animal en

respirant dans l'air comprimé a chargé son sang d'air. Je le ramène à la pression normale ; aussitôt les gaz dont il était sursaturé ont repassé à l'état libre ; c'est une bouteille de bière que l'on débouche. L'oxygène, lui, se combine sur place ; mais l'azote redevient libre aussitôt et entraîne de l'acide carbonique en se dégageant. La mort s'explique aisément par arrêt de la circulation. »

CHAPITRE XIII

Action de l'air atmosphérique sur les plantes.

1. *L'air sert à la respiration et à l'alimentation.* — Les plantes, comme les animaux, ont besoin d'air pour vivre. Si l'on plaçait une plante dans le vide, sa croissance s'arrêterait immédiatement, et, au bout d'un temps plus ou moins long, la plante périrait.

Mais, tandis que chez les animaux l'air est exclusivement employé à produire, grâce à son oxygène, cette combustion intérieure qu'on appelle respiration, chez le végétal l'air sert de plus à l'alimentation de la plante.

2. *Oxygène.* — Priestley reconnut le premier que les plantes, pendant la nuit, s'emparaient de l'oxygène atmosphérique en exhalant un gaz qui, dit-il, « affectait tellement l'air, qu'une chandelle ne put plus y brûler le lendemain matin ; » ce gaz est l'acide carbonique. Ce phénomène, analogue au moins dans ses résultats

au phénomène de la respiration des animaux, a fait dire à de Saussure que les plantes respireraient¹. Nous continuons à nous servir de cette expression sans vouloir en rien chercher une autre analogie entre ces deux phénomènes. La plante, dans toutes les phases de son évolution, a besoin d'oxygène en plus ou moins grande quantité; mais c'est surtout durant la germination, la floraison et la maturation que la présence de ce gaz lui est le plus nécessaire. Pendant la germination, en effet, la vie de la plante réside tout entière dans cet acte que nous avons appelé respiration; la graine, loin de s'enrichir, doit donc perdre constamment de son poids, puisque l'un de ses éléments, le carbone, est à chaque instant brûlé par l'oxygène. C'est ce qui ressort en effet des expériences de M. Bous-singault. Cette diminution de poids se prolonge d'ailleurs bien au delà de la germination proprement dite, jusqu'au moment où la graine mère cesse d'alimenter la plante.

L'oxygène est absolument indispensable à la graine pour qu'elle puisse germer; et, s'il est des graines, comme les pois et les semences aquatiques, qui peuvent germer sous l'eau, de Saussure a montré qu'elles utilisaient alors l'oxygène de l'air dissous dans l'eau. De Saus-

1. Le phénomène de *respiration* est complètement distinct du phénomène de *nutrition aérienne* qu'on désigne généralement du même nom et qui donne au contraire lieu à une absorption d'acide carbonique et à un dégagement d'oxygène.

sure a montré, en outre, que la quantité d'oxygène nécessaire pour déterminer la germination variait avec les graines diverses; « la laitue, le haricot, la fève en exigent environ 1/100 de leur poids respectif; il en faut dix fois moins pour le froment, l'orge, le pourpier. »

Aussitôt que la graine a germé, la plante entre dans une nouvelle phase de son existence; elle commence à s'assimiler les matériaux dont elle a besoin pour l'élaboration de ses tissus, et nous allons dire tout à l'heure quels sont les matériaux qu'elle emprunte à l'air. Mais la respiration qu'on peut appeler *animale*, la seule que l'on constate dans la graine, se manifeste également dans toutes les parties de la plante et même dans les parties vertes. Elle persiste pendant toute la durée de la végétation, le jour et la nuit; elle est seulement masquée pendant le jour par un phénomène d'un autre ordre, que nous étudierons un peu plus loin.

Cette respiration est surtout active dans les fleurs dont les parties sexuelles absorbent une forte proportion d'oxygène. A mesure que les fruits verts approchent de la maturité, ils absorbent de l'oxygène et ils dégagent des quantités croissantes d'acide carbonique. M. Cahours a montré que l'absorption de l'oxygène a lieu même par les fruits détachés de l'arbre.

L'action de l'oxygène sur les plantes est d'ailleurs modifiée sous l'influence de la chaleur et de la lumière. C'est ainsi, pour n'en citer qu'un

exemple, que, dans le phénomène de la germination, des températures trop basses ou trop élevées empêchent l'action de l'oxygène atmosphérique. La température nécessaire pour que la vie s'éveille varie avec les espèces : pour le blé d'hiver, l'orge et le seigle, la température minima est de + 6, + 7 degrés, tandis que le *sinapis alba* peut germer à zéro et le lin à + 2 degrés. La limite supérieure de température au-dessus de laquelle la semence perd ses qualités vitales, pour peu qu'elle y reste exposée pendant un certain temps, varie également beaucoup avec les espèces; des semences des pays tropicaux germent à 45 et 50 degrés, tandis qu'à 38 degrés la semence de la rave devient stérile.

On a cru, au siècle dernier, que la lumière était défavorable à la germination; mais on admet aujourd'hui, d'après les expériences de de Saussure, que c'est seulement par la dessiccation qu'ils opèrent que les rayons solaires sont nuisibles à la germination.

L'oxygène qui entoure la plante suffit largement aux besoins de l'agriculteur; celui-ci devra seulement permettre à la graine, enfouie dans le sol, d'avoir un contact suffisant avec l'air, ce qu'il obtiendra en ameublissant ses terres. Si les plantes sont aquatiques, il conviendra que l'eau qui les recouvre soit toujours en contact direct avec l'air.

3. *Acide carbonique.* — Vers 1750, Priestley eut le bonheur, ce sont ses propres expressions, « de trouver par hasard une méthode de

rétablir l'air altéré par la combustion des chandelles et de découvrir au moins une des ressources que la nature emploie à ce grand dessein : c'est la végétation. »

« On serait porté à croire, continue Priestley, que, puisque l'air commun est nécessaire à la vie végétale aussi bien qu'à la vie animale, les plantes et les animaux doivent l'affecter de la même manière; et j'avoue que je m'attendais au même effet, la première fois que je mis une tige de menthe dans une jarre de verre renversée sur l'eau; mais, après qu'elle y eut poussé quelques mois, je trouvai que l'air n'éteignait plus la chandelle et qu'il n'était pas nuisible à une souris que j'y exposai... Le 17 août 1771, je mis un jet de menthe dans une quantité d'air où une bougie avait cessé de brûler, et je trouvai que, le 27 du même mois, une autre bougie pouvait y brûler parfaitement bien. »

Si l'on rapproche cette dernière observation de Priestley de l'expérience du même chimiste que nous avons rappelée plus haut, on voit que les plantes agissent de deux manières distinctes et opposées sur l'air. Dans la respiration proprement dite, elles consomment de l'oxygène et dégagent de l'acide carbonique; cet effet dure jour et nuit, en raison de l'activité de la végétation, et varie avec les phases de la végétation de chaque plante. Dans la nutrition aérienne, c'est l'inverse : la plante absorbe de l'acide carbonique, le réduit, en fixe le carbone et en dégage l'oxygène. Ce dernier phénomène exige

l'intervention de la lumière et se passe dans la matière verte des plantes. Il s'annule dans l'obscurité, en sorte que les effets de la respiration y apparaissent seuls; dans le jour, au contraire, il masque les effets de la respiration. En résumé, dans une plante placée dans les conditions normales, le dégagement d'oxygène avec fixation de carbone l'emporte de beaucoup sur le phénomène inverse; il y a gain d'oxygène pour l'air et gain de carbone pour la plante; c'est une condition nécessaire pour que la plante prospère.

La décomposition de l'acide carbonique par les végétaux a été l'objet d'un grand nombre de travaux du plus grand intérêt, auxquels sont attachés les noms de Bonnet, Priestley, Sennebier, de Saussure, Boussingault, etc. Nous ne pouvons les résumer ici même très-succinctement, et nous renvoyons le lecteur au travail que nous avons publié dans l'Annuaire de l'observatoire de Montsouris (1874) sous ce titre : *Rôle de l'air atmosphérique en agriculture.*

M. Boussingault a montré que les feuilles s'assimilent le carbone qui se rencontre dans l'atmosphère à l'état de gaz acide carbonique. Non seulement cet acide carbonique est utile, mais il est indispensable à la vie des plantes, et M. Cailletet a montré¹ que les plantes à chlorophylle en pleine végétation ne peuvent continuer à se développer, lorsqu'on soustrait leurs

1. *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XXIII, p. 1476.

parties vertes à l'action de l'acide carbonique de l'atmosphère.

Ce sont les parties vertes des plantes qui seules décomposent l'acide carbonique (M. Cloez); aussitôt qu'elles commencent à apparaître, l'assimilation du carbone commence et elle continue alors même que ces plantes cessent d'augmenter leur richesse en substances minérales. M. Isidore Pierre avait établi qu'à la fin de la floraison les plantes cessent de s'enrichir en matières minérales. Nous avons montré que non seulement les plantes cessent de s'enrichir, mais qu'elles perdent une partie de leurs éléments minéraux et même de leur azote. Il y a donc un moment, dans le développement de certains végétaux¹, où le poids des substances minérales qu'ils renferment passe par un maximum; ce moment paraît coïncider avec l'époque de la floraison. A partir de ce moment, ce poids diminue, et la plante paraît restituer au sol ou refouler dans la racine, par voie d'excrétion, les matières qu'elle s'est assimilées jusque-là. Même à cette époque, la plante continue, suivant M. Is. Pierre, à décomposer l'acide carbonique de l'air et à assimiler le carbone.

La chaleur, la lumière modifient singulièrement cette action. Au-dessous de 10°, beaucoup de plantes cessent de décomposer l'acide carbonique.... Les rayons rouges et jaunes du spectre

1. Dans nos *Études sur la végétation*, nous n'avons opéré que sur quelques céréales et en particulier sur le froment.

solaires agissent plus énergiquement que les rayons bleus et verts.

Ces deux actes bien distincts : dégagement d'acide carbonique jour et nuit, dégagement d'oxygène sous l'influence de la lumière, ne paraissent pas se compenser. M. Corenwinder a établi que la quantité d'acide carbonique décomposée pendant le jour, au soleil, par les feuilles des plantes, est beaucoup plus considérable que celle qui est exhalée par elles pendant la nuit. « Le matin, dit-il, il leur suffit souvent de trente minutes d'insolation pour récupérer ce qu'elles peuvent avoir perdu pendant l'obscurité. » Donc l'assimilation du carbone constitue la principale action des plantes, et leur effet final sur l'air atmosphérique est de décomposer l'acide carbonique qu'il contient en lui restituant du gaz oxygène.

Les récoltes absorbent des quantités considérables de carbone. En France, sur une surface de terres cultivées évaluée à 41,103,879 hectares, le carbone absorbé ne pèserait pas moins de 60 millions de tonnes, ainsi que le montre le tableau suivant :

	Surfaces cultivées.	Carbone absorbé.
Culture et prés.....	30,659,255 h.	41,910,000 t.
Forêts et vignes...	9,776,334	} 18,320,000
Oliviers, amandiers, mûriers.....	109,261	
Châtaigneraie.....	559,029	
Surface cultivée....	<u>41,103,879</u>	
Total du carbone absorbé....		<u>60,230,000</u>

Ce chiffre, a fait observer M. Ville, dépasse de près de 2 millions de tonnes la somme des transports maritimes auxquels donne lieu le commerce extérieur de tous les pays de l'Europe.

Le carbone fixé par les plantes ne vient pas uniquement de l'air ; les matières organiques contenues dans le sol, en se décomposant, dégagent de l'acide carbonique dont les plantes s'emparent ; toutefois l'apport de l'air est considérable, et l'on peut s'étonner que les traces de gaz carbonique qui existent dans l'air permettent une absorption si considérable de carbone. Ce fait s'explique quand on se rappelle l'énorme surface que présentent à l'air les parties vertes des différentes plantes.

4. *Azote.* — La surface totale des terres cultivées en France absorbe un poids d'azote qui s'élève à 1,880,000 tonnes par an. D'où vient cet azote ? Du sol et de l'atmosphère. Sous quelle forme l'atmosphère intervient-elle dans ce cas ? Est-ce par l'azote gazeux qu'elle contient ou par les composés azotés qu'elle renferme ?

L'action de l'atmosphère sur le développement des matériaux azotés de la plante n'est pas douteuse. On sait, par exemple, que certaines récoltes contiennent plus d'azote que les plantes ne peuvent en fournir ; cette différence peut être comprise, suivant l'assolement adopté, entre 4 et 31 kilogrammes par hectare. M. Boussingault a montré que dans un sol préalablement calciné, débarrassé par conséquent des moindres traces de matières organiques et arrosé

d'eau distillée, les plantes contiennent plus d'azote qu'il n'y en avait dans la graine. L'excédant provient donc de l'air. Mais l'air contient de l'ammoniaque, des nitrates et surtout de l'azote gazeux; ces trois sources d'azote sont-elles utilisées par les végétaux?

Il serait excessivement important de savoir si l'azote gazeux de l'air peut directement s'assimiler aux plantes, car cet azote existant en abondance dans l'atmosphère, il deviendrait inutile de le fournir aux plantes au moyen d'engrais. Les savants sont partagés sur cette question. M. Boussingault en France, MM. Lawes, Gilbert et Pugh en Angleterre, ont trouvé que l'azote gazeux de l'air n'a aucune action sur la végétation. « Nos expériences, concluait ces savants, n'étant pas favorables à l'assimilation de l'azote de l'air, il est à désirer que l'on recherche plus complètement qu'on ne l'a fait encore toutes les sources où les végétaux peuvent en puiser; car, s'il est établi qu'ils ne sont pas aptes à opérer l'assimilation de l'azote libre, il faut convenir que nous ignorons à quelles forces et à quelle action il faut attribuer une grande partie de celui qu'ils contiennent. »

M. Ville est arrivé à un résultat diamétralement opposé : « L'azote de l'air, dit-il, est absorbé par les plantes et sert à leur nutrition. »

Nous n'avons pas, pour l'instant, à nous prononcer entre ces résultats si différents. Il convient de dire seulement que les expériences de M. Ville n'ont pas encore été reprises par d'au-

tres chimistes, et que généralement la fixation par les plantes de l'azote gazeux de l'atmosphère paraît improbable.

La supposition la plus vraisemblable, dit M. Boussingault, est de considérer comme l'origine des substances azotées des végétaux, soit les vapeurs ammoniacales de l'atmosphère, soit l'ammoniaque formée aux dépens de l'azote de l'air par la combustion lente des matières hydrogénées, soit les composés nitrés qui prennent naissance dans un sol poreux, humide, et renfermant des matières organiques en décomposition. Ce seraient les mouvements de l'électricité atmosphérique qui disposeraient le gaz azote de l'atmosphère à s'assimiler aux êtres organisés, et il est possible de prouver que pendant l'année entière, tous les jours, probablement même à tous les instants, il se fait dans l'air, en quelque point du globe, une continuité de décharges électriques bruyantes ou silencieuses.

5. *Sels ammoniacaux et nitrates.* — L'action directe des sels ammoniacaux de l'air n'est pas douteuse, de même que l'action des nitrates. Tandis que dans l'air pur, le colza, le blé, le seigle contenaient les proportions suivantes d'azote : 1,99, 1,10, 1,18 ; dans une atmosphère contenant 0,00041 d'ammoniaque, ces mêmes plantes ont donné 4,19, 3,77, 3,07 d'azote (Ville). Mais on ignore encore si les sels ammoniacaux agissent directement ou s'ils ont besoin d'être transformés en nitrates pour enrichir d'azote les végétaux.

L'action des nitrates n'est pas douteuse. Voici quelques-uns des résultats obtenus par M. Boussingault dans un sol privé complètement de matières organiques :

	Azote acquis au bout de 86 jours.
Le sol n'ayant rien reçu.....	0 ^{re} ,0023
Le sol ayant reçu phosphates et cendres.....	0 ,0027
Le sol ayant reçu de plus du ni- trate de potasse.....	0 ,1666

6. *Matières minérales. Résumé.* — Enfin, les matières minérales contenues dans l'air sont certainement utilisées par les plantes; mais nous ne savons encore exactement pour quelle fraction l'atmosphère intervient dans le total des matières minérales qu'on recueille dans les cendres des végétaux.

En résumé, les végétaux respirent et se nourrissent.

Nous avons indiqué ce qu'il faut entendre par le mot de *respiration*, introduit dans la science par de Saussure et qui se justifie par l'analogie des phénomènes chimiques de la vie végétale qu'il désigne, avec ceux de la respiration des animaux. Ces phénomènes consistent dans une absorption d'oxygène et un dégagement d'acide carbonique. Les plantes ont donc besoin d'oxygène pour germer, pour vivre et pour fructifier.

Les végétaux se *nourrissent* en empruntant au sol et à l'atmosphère les éléments : carbone, hydrogène, azote, matières minérales, qui com-

poseront leurs tissus. Nous avons montré que la plupart des éléments qui constituent le végétal peuvent lui être fournis par l'air, mais en quantités inégales et presque toujours très-insuffisantes, sauf pour le carbone.

CHAPITRE XIV

Les fermentations.

1. *La fermentation.* — Lorsqu'une matière animale ou végétale est abandonnée à elle-même, au contact de l'air, elle ne tarde pas à se décomposer. Si cette matière est à l'état liquide, sa masse entre bientôt en mouvement : on dit qu'elle est en fermentation (de *fervere*, bouillir). Cette décomposition est en général accompagnée d'un dégagement abondant de gaz ; lorsque ceux-ci ont une odeur fétide, on donne plus particulièrement à cette fermentation le nom de putréfaction. On peut supposer qu'il s'opère dans ce cas une action chimique, oxydation et déshydratation, analogue à celles qui sont réalisées dans nos laboratoires.

Certaines fermentations ne peuvent se produire que sous l'influence d'êtres organisés qui se reproduisent au sein même du liquide qui fermente, et les produits de la fermentation peuvent varier avec la nature de l'être organisé qu'on appelle *ferment*. C'est ainsi, pour n'en citer qu'un exemple, que le sucre peut se trans-

former en alcool et en acide carbonique, ou bien en acide lactique, ou bien encore en acide butyrique, suivant la nature du ferment qui lui est fourni.

On ne croit plus aujourd'hui, comme l'indiquait Van Helmont, qu'il est possible de faire naître spontanément des souris, des grenouilles ou des anguilles. La théorie des générations spontanées est cependant encore professée par un certain nombre de savants, mais elle est invoquée en faveur de certains organismes de l'ordre le plus inférieur. Nous n'avons pas à intervenir dans les grandes discussions qu'a soulevées et que soulève encore la question des générations spontanées. Nous devons, pour le sujet qui nous occupe, rappeler que l'air atmosphérique contient un grand nombre de germes, lesquels, en tombant dans certains milieux, développent des fermentations. Si l'on fait passer un grand volume d'air à travers un tube de verre contenant sur une longueur de un centimètre une bourre de coton-poudre et qu'on dissolvé ensuite ce coton dans un mélange d'alcool et d'éther placé dans un petit tube, toutes les poussières se rassemblent au fond de ce tube. Ce résidu, examiné au microscope, accuse la présence de corpuscules organisés, visibles sur la figure 31 qui représente, sous un grossissement de 500 diamètres, les fructifications cryptogamiques qui flottent dans l'air de Paris. Cette figure a été dessinée par M. Miquel.

2. *Expériences de M. Pasteur.* — M. Pasteur a montré que ces particules constituent réelle-

ment des germes féconds, capables d'engendrer

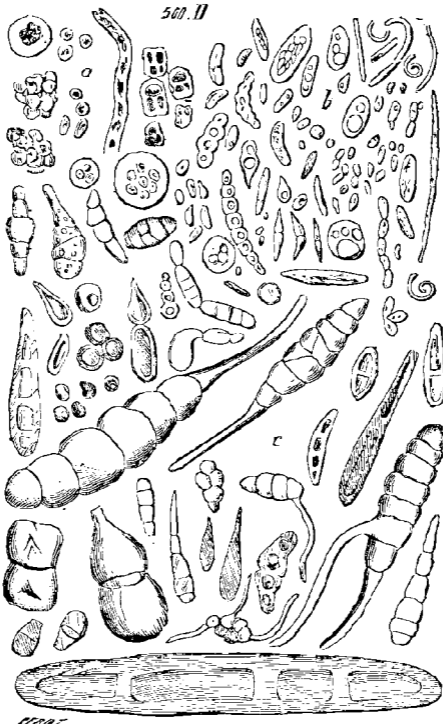


Fig. 34. — Fructifications cryptogamiques qui flottent dans l'air de Paris. (Grossissement de 500 diamètres.)

les infusoires qui se développent en si grande abondance dans les liquides organiques exposés à l'air. Nous renverrons le lecteur qui désirerait avoir le détail de ces belles expériences, soit au mémoire original de M. Pasteur ¹ soit au bel ouvrage sur les fermentations de M. Schutzenberger.

Ainsi, dans tous les ballons contenant une eau sucrée albumineuse, dans lesquels furent introduites les poussières recueillies dans l'air, M. Pasteur observa : 1° des productions organisées commençant à apparaître dans le liquide après vingt-quatre, trente-six, quarante-huit heures au plus : c'est précisément le temps nécessaire pour que ces mêmes productions apparaissent dans l'eau de levûre sucrée exposée au contact de l'atmosphère; 2° que les productions observées sont du même ordre que celles que l'on voit apparaître dans le liquide abandonné librement à l'air (mucors, mucédinées ordinaires, torulacées, bactériums et vibrions de la plus petite espèce, dont le plus gros, le *monas lens*, a 0 m. 004 de diamètre).

Non-seulement, d'après M. Pasteur, ces poussières déterminent la fermentation, mais, en leur absence, les liquides les plus fermentescibles ne sont pas troublés. Et, pour priver l'air des germes qu'il contient, il n'est pas nécessaire de lui faire traverser du coton ou de le faire passer à travers des tubes chauffés au rouge : il suffit d'étirer le ballon de manière à former

1. *Annales de physique et de chimie*, t. LXIV, p. 27.

une effilure très-longue que l'on recourbe de diverses manières, comme par exemple dans la figure ci-contre. Lorsque l'on a expulsé l'air primitif et tué les germes préexistants par une ébullition prolongée, on laisse refroidir lentement le ballon (fig. 32). L'air qui pénètre ainsi dans le ballon ne contient pas de germes, et des liquides tels que le sang, l'urine... peuvent être

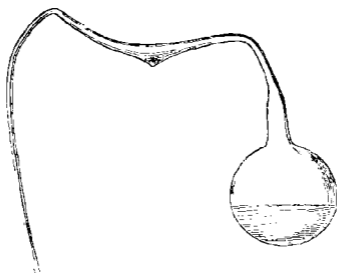


Fig. 32. — Ballon de M. Pasteur.

conservés indéfiniment sans se putréfier. Si l'on casse l'extrémité effilée du tube, l'air entrant par une ouverture plus large, la fermentation ne tarde pas à se manifester.

M. Pasteur a montré que la plus petite quantité d'air suffit pour développer des multitudes d'organismes; que cet air paraît d'autant plus pur qu'on s'élève plus haut dans l'atmosphère.

M. Tyndall a repris les expériences de M. Pasteur au moyen d'un dispositif que nous décrirons dans une note spéciale (note J) et est

arrivé au même résultat que notre illustre compatriote.

3. *Nombre des germes.* — Dans une note publiée dans l'Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour 1879, M. Miquel fait l'histoire des travaux entrepris sur l'analyse microscopique de l'air et donne quelques-uns des résultats qu'il a obtenus lui-même. C'est de cette note que nous extrayons les détails qui suivent.

L'air est chargé en toute saison d'une quantité très-variable de germes; leur nombre, faible en hiver, s'accroît rapidement au printemps, reste élevé en été et diminue en automne. Une pluie de quelque durée provoque toujours une recrudescence de *microbes*, c'est-à-dire d'organismes revêtus d'une tunique organisée. Le nombre de ces microbes, par litre d'air, a été en 1878 : de 42, en juin; de 29, en juillet; de 25, en août; de 12 en septembre; de 19, en octobre; de 11, en novembre.

M. Miquel fait remarquer que si les mois de juillet et de septembre, plus chauds que les mois qui les ont suivis, ont possédé des atmosphères moins riches en spores que celles d'août et d'octobre, cela tient à la faible quantité de pluie tombée durant ces premiers mois... le nombre des microbes pouvant être plus faible dans un mois chaud et sec que dans un mois plus froid et plus humide. En moyenne, durant l'année 1878, on a trouvé 15 corpuscules organisés pour chaque litre d'air.

QUATRIÈME PARTIE

NOTES

NOTE A

COPIE DE LA LETTRE DE M. PASCAL, LE JEUNE,
A M. PÉRIER, DU 15 NOVEMBRE 1647 (EXTRAITS).

Tous les philosophes ont tenu pour maxime que la nature abhorre le vide; et presque tous, passant plus avant, ont soutenu qu'elle ne peut l'admettre et qu'elle se détruirait elle-même plutôt que de le souffrir. Ainsi les opinions ont été divisées; les uns se sont contentés de dire qu'elle l'abhorrait seulement, les autres ont maintenu qu'elle ne pouvait le souffrir. J'ai travaillé à détruire cette dernière opinion... Je travaille maintenant à examiner la vérité de la première; savoir, que la nature abhorre le vide, et à chercher des expériences qui fassent voir si les effets que l'on attribue à l'horreur du vide, doivent être véritablement attribués à cette horreur du vide, ou s'ils doivent l'être à la pesanteur et pression de l'air..... Je n'estime pas qu'il nous soit permis de nous départir légèrement des maximes que nous tenons de l'antiquité, si nous n'y sommes obligés par des preuves indubitables et invincibles. Mais, en ce cas, je tiens que ce serait une extrême fai-

blesse d'en faire le moins scrupule, et qu'enfin nous devons avoir plus de vénération pour les vérités évidentes que d'obstination pour ces opinions reçues.

J'ai imaginé une expérience qui pourra seule suffire pour nous donner la lumière que nous cherchons, si elle peut être exécutée avec justesse. C'est de faire l'expérience ordinaire du vide ¹ plusieurs fois en un même jour, dans un même tuyau, avec le même vif-argent (mercure), tantôt en bas et tantôt au sommet d'une montagne, élevée pour le moins de 5 ou 600 toises, pour éprouver si la hauteur du vif-argent suspendu dans le tuyau se trouvera pareille ou différente dans ces deux situations. Vous voyez déjà, sans doute, que cette expérience est décisive de la question, et que, s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne (comme j'ai beaucoup de raisons pour le croire, quoique tous ceux qui ont médité sur cette matière soient contraires à ce sentiment), il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent et non pas l'horreur du vide, puisqu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne que non pas sur son sommet; au lieu qu'on ne saurait dire que la nature abhorre le vide au pied de la montagne plus que sur son sommet. ... J'espère de votre bonté que vous m'accorderez la grâce de vouloir faire vous-même cette expérience sur le Puy de Dôme. Je vous prie seulement que ce soit le plus tôt qu'il vous sera possible et d'excuser cette liberté où m'oblige

1. C'est-à-dire l'expérience de Torricelli.

l'impatience que j'ai d'en apprendre le succès.....

NOTE B

COPIE DE LA RELATION DE L'EXPÉRIENCE FAITE
PAR **M. Pérrier.**

La journée de samedi dernier, 19 de ce mois (septembre 1648), je me résolus d'aller au sommet du Puy de Dôme pour y faire l'expérience.

Pour reprendre et comparer ensemble les différentes élévations des lieux où les expériences ont été faites, avec les diverses hauteurs du vif-argent qui est resté dans les tuyaux, il se trouve :

Qu'en l'expérience faite au plus bas lieu, le vif-argent restait à la hauteur de 26 pouces 3 lignes et demie.

En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ sept toises, le vif-argent est resté à la hauteur de 26 pouces 3 lignes;

En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ 27 toises, le vif-argent s'est trouvé à la hauteur de 26 pouces 1 ligne;

En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ 150 toises, le vif-argent s'est trouvé à la hauteur de 25 pouces;

En celle qui a été faite en un lieu élevé au-dessus du plus bas d'environ 500 toises, le vif-argent s'est trouvé à la hauteur de 23 pouces 2 lignes.

Et partant il se trouve qu'environ 7 toises

d'élévation donnent de différence, en la hauteur du vif-argent, $1/2$ ligne;

Environ 27 toises, 2 lignes $1/2$;

Environ 150 toises, 15 lignes $1/2$, qui font 1 pouce 3 lignes $1/2$;

Et environ 500 toises, 37 lignes $1/2$, qui font 3 pouces 1 ligne $1/2$.

Voilà, au vrai, tout ce qui s'est passé en cette expérience.

NOTE C

INSTRUCTIONS POUR L'OBSERVATION DU BAROMÈTRE

Lorsqu'on veut observer le baromètre, on commence par lire la température du thermomètre attaché à l'instrument, puis on fait affleurer exactement la surface du mercure à l'extrémité inférieure de la pointe d'ivoire en relevant ou baissant la peau de chamois au moyen de la vis qui la soutient. Quand le mercure est trop bas, on aperçoit un intervalle éclairé entre la pointe et son image réfléchiée par le mercure; quand il est trop haut, on aperçoit le bourrelet formé autour de la pointe qui plonge dans le mercure.

L'affleurement étant obtenu, on donne avec le doigt quelques petits chocs à l'instrument pour vaincre l'adhérence du mercure au verre et pour rendre à la capillarité dans le tube sa valeur normale.

On fait ensuite mouvoir le curseur du tube barométrique jusqu'à ce que l'œil, placé dans le plan des bords antérieur et postérieur du bas du vernier, cesse d'apercevoir un trait lumineux continu entre ces bords et le sommet arrondi du mercure. Le curseur ne doit pas

couper ce sommet, mais lui être tangent. Cette opération est facilitée par une feuille de papier blanc bien éclairée que l'on pose en arrière du baromètre, le curseur étant lui-même un peu dans l'ombre.

Le vernier du curseur (fig. 33) fait connaître la hauteur du mercure en millimètres et fractions de millimètre, généralement les dixièmes. A cet effet, le vernier a une longueur de 9 millimètres qu'on divise en 10 parties égales : chaque division de ce vernier vaut 9 dixièmes

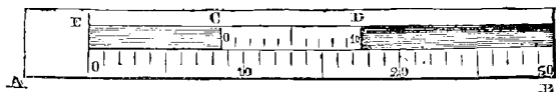


Fig. 33. — Règle mobile vernier.

de millimètre ou un millimètre moins un dixième. Si le zéro du vernier est compris, par exemple, entre 760 et 761 millimètres, la lecture sera 760 millimètres plus quelque chose. Si la division du vernier, qui coïncide exactement avec une division du tube, est la sixième, chaque trait du vernier étant distant du trait inférieur correspondant du tube de un dixième de millimètre, cela voudra dire que le zéro du vernier, c'est-à-dire le niveau du mercure, est distant du trait 760 de 6 dixièmes de millimètre. La lecture sera donc 760 millimètres 6.

Mais il faut faire à cette lecture une double correction. Il n'est pas de baromètre qui ne soit en erreur constante de quelques fractions de millimètre, soit par l'effet de la capillarité, soit par suite d'un défaut d'ajustage rigoureux de la pointe. L'acquéreur d'un baromètre Fortin

doit donc exiger du constructeur un bulletin de comparaison de son instrument avec un étalon sûr. Cette comparaison fait connaître la correction constante, comprenant l'erreur due à la capillarité, qu'il faudra faire à toutes les lectures.

D'autre part, la hauteur observée du baromètre doit subir une seconde correction dépendant de la température marquée par le thermomètre de l'instrument : cette correction se nomme *réduction du baromètre à zéro*. La chaleur qui dilate les corps augmente le volume du liquide : les hauteurs obtenues quand la température s'élève sont donc trop fortes. Des tables spéciales donnent pour chaque température et chaque pression la correction qu'il faut faire. Le chiffre que l'on obtient, en consultant ces tables, doit être *retranché* de la hauteur, si la température est au-dessus de zéro ; il doit être *ajouté* au contraire, si la température est inférieure à zéro degré.

Il reste encore une troisième correction due à la hauteur de la cuvette du baromètre au-dessus du niveau de la mer ; cette *réduction du baromètre au niveau de la mer* exige des données spéciales et en particulier la température que marquerait le thermomètre de la station, si cette station était au niveau de la mer.

Quand on veut déplacer ou transporter un baromètre de Fortin, on remonte la vis de la cuvette jusqu'à ce que le mercure remplisse à peu près exactement le tube ; on renverse alors l'instrument, la cuvette en haut, et on le fait voyager autant que possible dans cette position s'il est renfermé dans un étui, ou au moins dans une position horizontale s'il est renfermé dans une boîte.

NOTE D

INSTRUCTIONS POUR L'INSTALLATION DU THERMOMÈTRE

Le mode d'installation des thermomètres est différent suivant les pays et le degré de force que le vent peut y atteindre. Pour qu'un thermomètre donne bien la température de l'air, il faut qu'il ne soit pas trop voisin de corps volumineux, comme des murs de clôture ou d'habitation, parce que ces murs, ayant une température presque toujours différente de celle de l'air, troubleraient la marche de l'instrument; il ne faut pas non plus que des murs blancs frappés par les rayons solaires puissent rayonner vers les thermomètres, qu'ils échaufferaient d'une manière sensible. En France, là où le vent n'atteint pas un degré de violence capable d'enlever ou de briser les instruments, on installe les thermomètres à l'air libre sous des abris appelés *abris Montsouris* (figure, p. 2).

Deux poteaux s'élèvent verticalement à 1 mètre environ de distance, l'un à l'est, l'autre à l'ouest. Entre ces deux poteaux sont placés deux toits parallèles entre eux, distants l'un de l'autre de 10 à 15 centimètres, et s'inclinant vers le midi d'un angle d'environ 30 degrés. Les deux toits parallèles sont en zinc... Le toit inférieur est de dimensions un peu moindres que l'autre, afin qu'il ne reçoive pas les rayons directs du soleil; mais il doit masquer le plan supérieur pour les thermomètres. Deux volets verticaux arrêtent les rayons du soleil levant ou couchant; des arbustes plantés sur le pourtour, excepté sur le côté nord, abritent le sol, qui est d'ailleurs gazonné.

Dans les pays de grands vents, on peut disposer sous cet abri une caisse à persiennes permettant encore la circulation de l'air, mais protégeant les instruments qui y sont renfermés. Il convient alors que les lames des persiennes soient en tôle mince pour prendre rapidement la température de l'air, et aussi que le toit soit agrandi pour que les parois de la caisse ne reçoivent pas les rayons directs du soleil.

L'abri des caisses à persiennes est généralement employé en Angleterre et en Italie; il abaisse un peu les maxima et élève les minima, sans altérer sensiblement les moyennes des deux extrêmes.

NOTE E

EXPÉRIENCE DE LAVOISIER

• La chimie présente, en général, deux moyens pour déterminer la nature des parties constituantes d'un corps, la composition et la décomposition...

J'ai pris un matras de 36 pouces cubiques environ de capacité, dont le col était très-long et avait 6 à 7 lignes de grosseur intérieurement. Je l'ai courbé de manière qu'il pût être placé dans un fourneau, tandis que l'extrémité de son col irait s'engager sous une cloche placée dans un bain de mercure (fig. 34). J'ai introduit dans ce matras 4 onces de mercure très-pur, puis, en suçant avec un siphon que j'ai introduit sous la cloche, j'ai élevé le mercure; j'ai marqué soigneusement cette hauteur avec une bande de papier collé, et j'ai observé exactement le baromètre et le thermomètre.

Les choses ainsi préparées, j'ai allumé du feu dans le fourneau, et je l'ai entretenu presque continuellement pendant douze jours, de manière que le mercure fût échauffé jusqu'au degré nécessaire pour le faire bouillir.

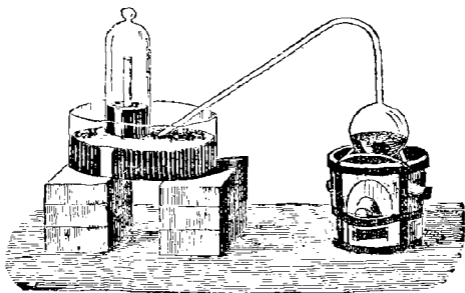


Fig. 34. — Expérience de Lavoisier.

Il ne s'est rien passé de remarquable pendant tout le premier jour : le mercure, quoique non bouillant, était dans un état d'évaporation continuelle; il tapissait l'intérieur des vaisseaux de gouttelettes, d'abord très-fines, qui allaient ensuite en augmentant et qui, lorsqu'elles avaient acquis un certain volume, retombaient d'elles-mêmes au fond du vase et se réunissaient au reste du mercure. Le second jour, j'ai commencé à voir nager sur la surface du mercure de petites parcelles rouges, qui, pendant quatre ou cinq jours, ont augmenté en nombre et en volume; après quoi elles ont cessé de grossir et sont restées absolument dans le même état. Au bout de douze jours, voyant que la calcination du mercure ne faisait plus aucun progrès, j'ai

éteint le feu et j'ai laissé refroidir les vaisseaux. Le volume de l'air contenu, tant dans le matras que dans son col et sous la partie vide de la cloche, réduit à une pression de 28 pouces et à 10 degrés du thermomètre, était, avant l'opération, de 50 pouces cubiques environ. Lorsque l'opération a été finie, ce même volume, à pression et à température égales, ne s'est plus trouvé que de 42 à 43 pouces; il y avait donc eu une diminution de volume d'un 6^e environ.....

L'air qui restait après cette opération, et qui avait été réduit au cinq sixièmes de son volume par la calcination du mercure, n'était plus propre à la respiration ni à la combustion, car les animaux qu'on y introduisait y périssaient en peu d'instants, et les lumières s'y éteignaient sur-le-champ, comme si on les eût plongées dans de l'eau.

D'un autre côté, j'ai pris les 45 grains de matière rouge qui s'était formée pendant l'opération, je les ai introduits dans une très-petite cornue de verre, à laquelle était adapté un appareil propre à recevoir les produits liquides et aériformes qui pourraient se séparer; ayant allumé du feu dans le fourneau, j'ai observé qu'à mesure que la matière rouge était chauffée sa couleur augmentait d'intensité.

Lorsqu'ensuite la cornue a approché de l'incandescence, la matière rouge a commencé à perdre peu à peu de son volume, et en quelques minutes elle a entièrement disparu; en même temps, il s'est condensé dans le petit récipient 41 grains 1/2 de mercure coulant, et il a passé sous la cloche 7 à 8 pouces cubiques d'un fluide élastique beaucoup plus propre que l'air de l'atmosphère à entretenir la combustion et la respiration des animaux.

Ayant fait passer une portion de cet air dans un tube de verre d'un pouce de diamètre, et y ayant plongé une bougie, elle y répandait un éclat éblouissant; le charbon, au lieu de s'y consumer paisiblement comme dans l'air ordinaire, y brûlait avec flamme et une sorte de décrépitation, à la manière du phosphore, et avec une vivacité de lumière que les yeux avaient peine à supporter. Cet air, que nous avons découvert presque en même temps, M. Priestley, M. Scheele et moi, a été nommé, par le premier air déphlogistique; par le second, air empyréal... L'air de l'atmosphère est donc composé de deux fluides élastiques de nature différente et pour ainsi dire opposée.

NOTE F

ANALYSE EN POIDS DE L'AIR ATMOSPHÉRIQUE
PAR **MM. Dumas et Boussingault.**

Nous devons dire sur quoi se fonde notre conviction relativement à la base même du procédé, c'est-à-dire l'absorption totale de l'oxygène de l'air qui passe par le tube au moyen du cuivre. La rapidité du courant d'air qui traverse le tube a nécessairement de l'influence sur l'absorption de l'oxygène; il ne faudrait pas l'exagérer. Cependant nous avons vu qu'elle pouvait être assez grande. En effet, nous avons souvent fait passer plus de dix litres d'air par heure au travers des tubes sans que l'absorption d'oxygène en parût en rien altérée. L'air se dépouille tout à coup d'oxygène dès son entrée dans le tube. Le cuivre qui s'oxyde occupe une zone tout à fait limitée; et, après les plus lon-

gues expériences, l'oxydation se trouve renfermée dans l'espace de 2 ou 3 centimètres. La presque totalité du tube contient donc encore, à la fin de l'expérience, du cuivre métallique doué de tout son éclat et éminemment propre à recueillir les dernières traces d'oxygène. Nous n'avons pas voulu néanmoins nous en rapporter à ces apparences. Tout étant disposé comme à l'ordinaire, nous avons triplé la vitesse du courant d'air dans l'appareil, et, sous cette condition défavorable, nous avons essayé s'il retenait de l'oxygène; il n'en avait pas gardé la moindre trace. En effet, nous avons dirigé l'azote tout entier au travers d'un tube contenant une dissolution ammoniacale de protochlorure de cuivre bien incolore, et nous n'avons pu découvrir le moindre indice de coloration dans ce liquide. Or la plus légère trace d'oxygène l'aurait fait passer au bleu foncé. Parmi les causes d'erreur qui pourraient exercer une grande influence sur les résultats des analyses faites par la méthode que nous avons décrite, la plus grave à la fois et la plus facile à éviter est celle qui proviendrait de la présence de l'eau dans le cuivre employé. Avec des soins convenables, on se met à l'abri de cet inconvénient; mais il est plus simple de faire passer d'abord dans le tube qui contient le cuivre quelques litres d'air; le tube étant chauffé au rouge, on l'oxyde ainsi et l'on perd un peu de cuivre, mais on enlève les plus petites traces d'humidité; on fait ensuite le vide dans le tube refroidi, on pèse celui-ci, et l'on procède à son analyse. — Exécutées à l'aide de ce procédé et sur une grande échelle, toutes nos expériences sans exception sont venues confirmer la composition de l'air admise par les chimistes fran-

çais et fondée sur les belles expériences eudiométriques par lesquelles MM. de Humboldt et Gay-Lussac ont fixé, il y a 35 ans, la composition de l'air d'une manière irréprochable dans les limites de sensibilité de leur instrument. L'air que nous soumettions à l'analyse était aspiré par des tubes de verre qui le puisaient dans le jardin de mon laboratoire, près le Jardin des Plantes.

NOTE G

FIXITÉ DE LA COMPOSITION DE L'AIR
(MM. Dumas et Boussingault).

Pour atteindre la limite à laquelle devien-
draient sensibles les variations que l'atmo-
sphère pourrait éprouver de la part des ani-
maux ou des plantes, de la part des saisons, des
pluies et des vents ; pour décider si sa compo-
sition demeure invariable à diverses latitudes
ou à diverses hauteurs, il ne s'agit pas d'exé-
cuter l'analyse de l'air même à un millième ; il
faut aller plus loin encore : comme si, par une
prévision providentielle, la nature n'avait pas
voulu que les altérations possibles de l'atmo-
sphère par le jeu régulier des forces qui agis-
sent à la surface de la terre puissent jamais
approcher, même de loin, de la limite où la vie
des animaux et celle des plantes pourraient en
souffrir ! Quelques calculs qui ne peuvent avoir
une précision bien absolue sans doute, mais
qui reposent néanmoins sur un ensemble de
données suffisamment certaines, vont montrer
jusqu'où il conviendrait de pousser l'approx-
imation pour atteindre la limite où les varia-

tions de l'oxygène pourraient se manifester d'une manière sensible.

L'atmosphère est sans cesse agitée ; les courants excités par la chaleur, par les vents, par les phénomènes électriques, en mêlent et en confondent sans cesse les diverses couches. C'est donc la masse générale qui devrait être altérée pour que l'analyse pût indiquer des différences d'une époque à une autre. Mais cette masse est énorme. Si nous pouvions mettre l'atmosphère tout entière dans un ballon et suspendre celui-ci à une balance, pour lui faire équilibre il faudrait dans le plateau opposé 581,000 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté. Supposons maintenant avec B. Prévost que chaque homme consomme 1 kilogramme d'oxygène par jour, qu'il y ait 1,000 millions d'hommes sur la terre, et que, par l'effet de la respiration des animaux ou par la putréfaction des matières organiques, cette consommation attribuée aux hommes soit quadruplée, supposons de plus que l'oxygène dégagé par les plantes vienne compenser seulement l'effet des causes d'absorption d'oxygène oubliées dans notre estimation ; ce sera mettre bien haut, à coup sûr, les chances d'altération de l'air. Eh bien ! dans cette hypothèse exagérée, au bout d'un siècle, tout le genre humain réuni, et trois fois son équivalent, n'aurait absorbé qu'une quantité d'oxygène égale à 15 ou 16 cubes de cuivre de 1 kilomètre de côté, tandis que l'air en renferme près de 134,000. Ainsi, prétendre qu'en y en employant tous leurs efforts, les animaux qui peuplent la surface de la terre pourraient en un siècle souiller l'air qu'ils respirent au point de lui ôter la huit millième partie de l'oxygène que la nature y a déposé, c'est faire

une supposition infiniment supérieure à la réalité.

Rien de plus facile à vérifier que cette conclusion dans ce qu'elle a de général. La respiration des animaux produit de l'acide carbonique; les plantes le détruisent en s'emparant du carbone et restituent l'oxygène à l'air. Les modifications que l'air peut éprouver sous le rapport de l'oxygène seront donc tout au plus du même ordre que les modifications sous le rapport de l'acide carbonique. Or il a été facile d'estimer rigoureusement la quantité d'acide carbonique contenue dans l'air; cette quantité varie de 4 dix-millièmes à 6 dix-millièmes en volume. En supposant que cet acide carbonique vienne de l'oxygène fourni par l'air et qu'il n'ait rien de commun avec celui que les volcans émettent sans cesse, la différence de ces nombres, qui est égale à 2 millièmes du volume de l'air, exprimerait la variation que l'oxygène y aurait éprouvée. Ainsi, dans 10,000 volumes d'air, on trouverait 2081 ou 2,083 d'oxygène. Cette différence serait évidemment inappréciable si l'on se bornait à analyser 10 grammes et même 25 grammes d'air, comme nous l'avons fait, puisqu'elle serait représentée par 2 ou 3 milligrammes environ. En opérant sur 1,000 grammes d'air, la différence deviendrait égale à 200 ou 300 milligrammes. Il faut en arriver là si l'on veut que l'analyse de l'air puisse réellement devenir de quelque utilité dans la discussion générale des lois de la physique du globe.

NOTE H

DOSAGE DE L'OZONE, DE L'AMMONIAQUE ET DE LA MATIÈRE ORGANIQUE DE L'AIR ATMOS- PHÉRIQUE.

Voici le dispositif que nous avons adopté, à Montsouris :

L'air atmosphérique, aspiré par des trompes à eau, traverse des liquides appropriés placés dans des barboteurs de verre et de platine, et, de là, se rend dans un compteur qui indique à chaque instant le volume du gaz introduit. Chaque barboteur, fig. 35, se compose d'un tube de platine de 1 centimètre de diamètre sur 14 à 15 centimètres de long. Ce tube droit, ouvert à son extrémité supérieure, est évasé à son extrémité inférieure et formé par une sorte de capsule ayant la forme du fond du verre. La partie évasée est percée sur son pourtour de 20 trous de 1/2 millimètre de diamètre donnant passage à l'air. Le tube de platine est dressé dans l'axe d'un verre étroit et profond à peu près cylindrique et fixé à un couvercle de platine qui ferme hermétiquement le verre. Une seconde tubulure de métal fixée au couvercle met l'intérieur du verre en communication avec la trompe, tandis que l'extrémité supérieure du tube de platine est reliée par des tubes de verre avec l'extérieur.

Ozone. — L'air aspiré du dehors traverse un liquide formé de 20 centimètres cubes d'eau distillée, 2 centimètres cubes d'arsénite de potasse (0 gr. 730 par litre) et 1 centimètre cube d'iodure de potassium pur. L'oxygène ozonisé transforme partiellement l'arsénite en arséniate,

Iodure de potassium jouant seulement le rôle d'intermédiaire destiné à faciliter la réaction. Avant l'opération, nous avons transformé un volume égal d'arsénite en arséniate, au moyen

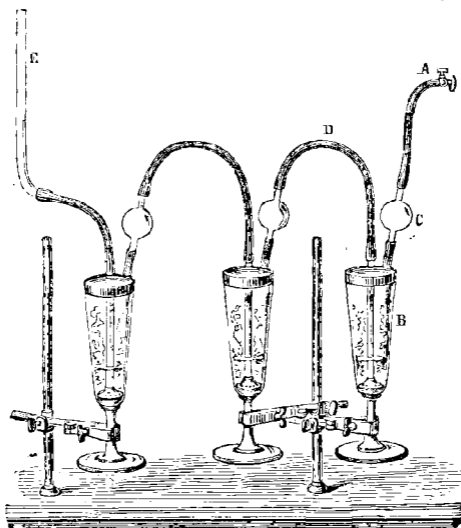


Fig. 35. — Barboteurs en verre et platine pour l'analyse de l'air. (Installation de Montsouris.)

d'une dissolution très-étendue d'iode. Après l'opération, nous transformons en arséniate, au moyen de la même liqueur d'iode, l'arsénite non attaqué par l'ozone. Dans ce dernier cas il faut évidemment employer moins d'iode.

La différence des volumes d'iode employé nous indique le poids d'arsénite directement oxydé par l'ozone et, après un calcul très-simple, le poids d'ozone lui-même¹. Cette opération est faite tous les jours par notre aide, M. Allaire.

Ammoniacque. — Un second barboteur, contenant 30 centimètres cubes d'eau distillée acidulée par 1 centimètre cube d'acide sulfurique au dixième, est affecté au dosage de l'ammoniacque. Tous les jours, ce liquide, rendu alcalin avec de la magnésie pure et calcinée, est soumis à la distillation. Le produit de la distillation est reçu dans une fiole contenant 2 centimètres cubes d'acide sulfurique *titré*, coloré en jaune par trois gouttes d'une dissolution alcoolique de cochenille. Alcaline et bouillante, l'eau du barboteur abandonne toute son ammoniacque aux deux premiers cinquièmes de la liqueur qui distille, et cette ammoniacque sature en partie l'acide dans lequel on la reçoit. Cet acide, repéré avant et après la distillation avec une liqueur alcaline titrée, indique, par la différence des volumes d'alcali versé, le poids de l'ammoniacque correspondant au volume d'air qui a passé dans l'eau.

Notre liqueur alcaline, qui est simplement une dissolution ammoniacale très-étendue, est telle qu'un centimètre cube correspond à un poids de 0 milligr. 056 d'ammoniacque: l'erreur qu'on peut commettre en versant l'alcali n'atteint pas un dixième de centimètre cube: elle correspond donc, au maximum, à un poids de 0 milligr. 0056.

Matière organique. — Si nous versons dans le résidu de la distillation précédente un oxy-

1. *Annuaire de l'observatoire de Montsouris pour 1879.*

dant très-énergique, le permanganate de potasse par exemple, la matière organique déposée par l'air dans le barboteur va être décomposée : l'azote qu'elle renferme sera transformé en ammoniaque, et cette ammoniaque, nous la doserons par le procédé que nous venons d'indiquer plus haut. Malheureusement le permanganate de potasse ne se comporte pas d'une façon identique avec toutes les matières organiques : certaines d'entre elles sont entièrement décomposées ; quelques-unes n'abandonnent que la moitié de leur azote ; d'autres, enfin, ne paraissent pas subir de décomposition. Ce dosage de la matière organique est donc incomplet, et les analyses ne peuvent donner que par comparaison des résultats intéressants.

Acide azotique. — L'eau soumise à l'analyse est d'abord débarrassée des matières organiques qu'elle peut contenir par une distillation en présence d'une solution acide de permanganate de potasse. La liqueur qui a distillé est traitée dans une cornue, complètement débarrassée d'air, par un mélange acide qui décompose les nitrates et par un sel de protoxyde de fer qui absorbe l'oxygène dégagé dans cette décomposition, en se transformant en sel de peroxyde. Le sel de fer a été titré avant l'opération ; il est titré à nouveau après l'opération : la différence des deux titres indique la quantité de sulfate de fer peroxydé, par conséquent la quantité d'oxygène qu'il a absorbé, par conséquent encore le poids d'acide nitrique qui a fourni cet oxygène.

NOTE I

LA PRESSION DE L'AIR ET LES ÊTRES VIVANTS
PAR M. Paul Bert.

Ce n'est pas la diminution de pression mécanique qui occasionne les accidents (mal des montagnes, mal des aéronautes), mais bien la moindre tension de l'oxygène dans l'air dilaté, tension qui empêche l'oxygène de pénétrer en quantité suffisante dans le sang.

Je n'ai pas fait l'expérience que sur des moineaux; je l'ai faite sur moi-même, avec des résultats tout aussi frappants et, j'ose dire sans vanité, non moins intéressants.....

La chambre d'air dilaté se compose de deux cylindres en tôle boulonnée dans laquelle une pompe actionnée par la vapeur permet de faire progressivement le vide.

Je me suis placé dans cet appareil muni d'un grand sac de caoutchouc qui renfermait de l'oxygène. Puis, la pompe entrant en marche, j'ai éprouvé les accidents classiques de la décompression : accélération de la respiration et du pouls, que le moindre mouvement augmentait beaucoup; dégoûts, nausées, troubles sensoriels et intellectuels. Je me sentais indifférent à toutes choses et incapable d'agir; une fois, ayant compté les battements du pouls pendant un tiers de minute, puis voulant faire la multiplication par trois, je ne pus y arriver et fus contraint d'écrire sur mon papier : Trop difficile. Eh bien ! tous ces accidents disparaissaient comme par enchantement aussitôt que je respirais l'oxygène de mon sac, et ils se reproduisaient lorsque je revenais à l'air ordinaire.

Au fur et à mesure que baissait la pression, le pouls augmentait; avec une pression de 42 centimètres (correspondant à la hauteur du mont Blanc), il était passé de 60 à 84 pulsations. A ce moment, je fis deux ou trois aspirations d'oxygène; aussitôt le pouls tomba à 71; je cessai et lis un mouvement, il remonta à 100, pour redescendre à 70 après la respiration d'oxygène...

Deux autres personnes sont entrées comme moi dans les cylindres et ont éprouvé les mêmes accidents et la même action bienfaisante de l'oxygène : c'étaient MM. Crocé Spinelli et Sivel. M. Crocé, fort sensible à la décompression, avait les lèvres et les oreilles noires et ne voyait plus son papier, lorsqu'il se décida à avoir recours à l'oxygène; l'effet fut instantané pour lui, qui put aussitôt écrire, et pour moi, qui regardais avec une certaine anxiété son oreille violacée et m'apprêtais à ouvrir les robinets à air.

C'est forts de ces expériences qu'ils partirent pour l'ascension du 22 mars 1874... et pour celle du 15 avril 1875... Le tube à oxygène pendait à une certaine distance au-dessus de leur tête; sentant qu'ils n'avaient que très-peu de ce cordial gazeux, ils le réservaient pour le moment où le mal les attaquerait trop fortement; et, lorsqu'ils voulurent saisir et porter à leur bouche l'ajutage qui les aurait sauvés, leurs bras étaient paralysés.

NOTE J

L'INFECTION ET LA PUTRÉFACTION

(Extrait d'une note de **M. Tyndall** 1.)

J'ai fait construire un certain nombre de chambres ou caisses de bois dont la partie antérieure est formée par une glace sans tain; les deux parois latérales sont également munies d'une plaque de verre (fig. 36)... Par une ouverture pratiquée dans le haut passe le bout effilé d'une longue pipette terminée à sa partie supérieure par un petit entonnoir et dont l'extrémité inférieure peut se déplacer latéralement de manière à se trouver au-dessus de chacune des éprouvettes... Dans deux autres ouvertures plus petites, également pratiquées dans la paroi supérieure de la cuisse, je fais passer les extrémités ouvertes de deux tubes de petit diamètre plusieurs fois recourbés en S, destinés à mettre l'intérieur de la caisse en communication avec l'atmosphère... Le fond de la caisse est percé d'ouvertures dans lesquelles sont fixées, à frottement hermétique, de grandes éprouvettes destinées à contenir le liquide qui sera soumis à l'action de l'air privé de toutes matières en suspension...

Les éprouvettes sont alors remplies au moyen de la pipette, puis portées à l'ébullition pendant cinq minutes et abandonnées à l'action de l'air de la caisse. Nous avons donc ici l'oxygène, l'azote, l'acide carbonique, l'ammoniaque, la vapeur d'eau et toutes les substance gazeuses

1. Voyez *Revue scientifique*, 2^e série, tome X, page 553.

qui se mêlent en plus ou moins grande quan-

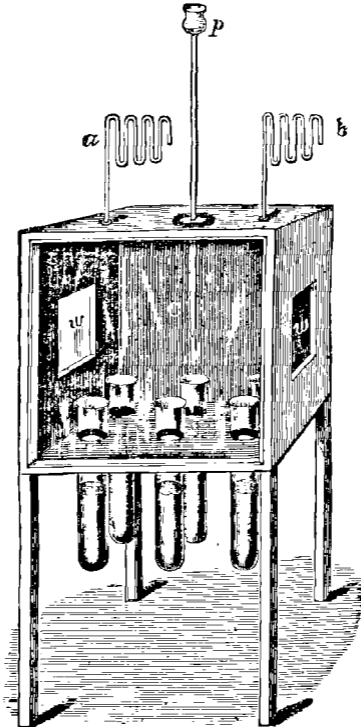


Fig. 36. — Chambre de M. Tyndall.

tité avec l'air d'une grande ville. Nous les

avons, de plus, sans les avoir torturées par la calcination, sans même les avoir modifiées par le filtrage ou par une manipulation quelconque...

Parmi les végétaux, le foin, le navet, le thé, le café, le houblon ont été soumis à ces expériences, répétées de différentes façons, et sur des solutions tantôt acides et tantôt alcalines. Parmi les substances animales sur lesquelles nous avons opéré, citons l'urine, le bœuf, le mouton, le lièvre, le lapin, les reins, le foie, etc. Tandis que les infusions de ces différentes substances, exposées à l'air ordinaire du laboratoire, sont toutes entrées en putréfaction dans un espace de temps variant de deux à quatre jours, dans aucun cas l'air qui entraît dans les caisses ne manifesta la moindre tendance à produire les phénomènes de putréfaction. Cet air était d'ailleurs d'une pureté parfaite, ce qui démontre que la faculté de développer les organismes et le pouvoir de disperser la lumière sont inséparablement unis dans l'air atmosphérique.

Après que les infusions soumises à mes expériences étaient restées 4 mois aussi limpides que de l'eau distillée, il m'a suffi d'ouvrir la porte de la paroi postérieure des caisses et de laisser ainsi pénétrer l'air chargé de poussières en suspension, pour qu'en trois jours toutes les infusions devinssent putrides et pleines d'organismes vivants.

Il est donc pleinement démontré que ces organismes proviennent des particules en suspension dans l'air.

FIN

TABLE DES MATIÈRES

INTRODUCTION.	3
-----------------------	---

PREMIÈRE PARTIE

PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DE L'AIR

CHAPITRE I. — PESANTEUR DE L'AIR.	
1. Tous les corps sont pesants.	10
2. L'air est pesant.	11
3. L'horreur du vide.	13
4. Expériences de Torricelli.	16
5. Expériences de Pascal.	17
6. Expériences d'Otto de Guéricke.	19
7. Poids de l'atmosphère.	21
8. Le baromètre.	22
9. Variations de la pression à la surface de la terre.	25
10. Marées atmosphériques.	29
11. Prévion du temps.	29
CHAPITRE II. — ÉLASTICITÉ DE L'AIR.	
1. Existence des gaz.	33
2. Constitution moléculaire de l'air.	34
3. Loi de Mariotte.	38
4. Densité de l'air.	40
5. Dilatation de l'air.	40
6. Liquéfaction et solidification de l'air.	41
CHAPITRE III. — TEMPÉRATURE DE L'AIR.	
1. Le thermomètre.	45
2. Variations diurnes.	50
3. Variations mensuelles.	51
4. Extrêmes de froid et de chaleur.	52
5. Variations annuelles.	54

6. Variations dues à l'altitude	55
7. Causes des variations du baromètre	56
CHAPITRE IV. — CHALEUR ET LUMIÈRE DANS L'ATMOSPHÈRE.	
1. Spectre solaire	57
2. Les rayons calorifiques	58
3. Utilité de la vapeur d'eau	60
4. La lumière	61
5. La réfraction : mirage, arc-en-ciel, halos.	62
6. La réflexion de la lumière.	65
CHAPITRE V. — LE SON ET L'ÉLECTRICITÉ DANS L'ATMOSPHÈRE.	
1. Le son	66
2. L'électricité.	69
3. Variations diurnes et annuelles	71
4. Les deux électricités	72
5. Phénomènes électriques.	73
6. Origine de l'électricité atmosphérique	74
CHAPITRE VI. — FORME ET HAUTEUR DE L'ATMOSPHÈRE.	
1. Forme de l'atmosphère	75
2. Hauteur déduite du baromètre	76
3. Hauteur déduite de la durée du crépuscule.	78
4. Hauteur déduite du phénomène des étoiles filantes.	81

DEUXIÈME PARTIE

COMPOSITION CHIMIQUE DE L'AIR

CHAPITRE VII. — OXYGÈNE ET AZOTE.	
1. Les quatre éléments	83
2. Le phlogistique	84
3. Expériences de Lavoisier	85
4. L'oxygène.	87
5. L'azote	89
6. Expérience de Scheele.	89
7. Analyse de l'air	90
8. L'air est un mélange.	94

CHAPITRE VIII. — ACIDE CARBONIQUE ET VAPEUR D'EAU.	
1. Présence de l'acide carbonique.	96
2. Proportion d'acide carbonique dans l'air.	98
3. Vapeur d'eau	99
4. Les hygromètres	100
5. Poids de la vapeur d'eau.	107
CHAPITRE IX. — COMPOSÉS NITREUX ET OZONE.	
1. Ammoniaque	108
2. Acide azotique	110
3. Ozone.	111
CHAPITRE X. — POUSSIÈRES ATMOSPHÉRIQUES.	
1. Matières minérales et organiques.	114
2. Résumé	115
CHAPITRE XI. — FORMATION DE L'ATMOSPHÈRE.	
1. L'atmosphère	117
2. Formation d'acide carbonique	119
3. Formation de l'ozone.	120
4. Formation des éléments azotés.	122

TROISIÈME PARTIE

L'AIR ET LA VIE

CHAPITRE XII. — ACTION DE L'AIR SUR L'HOMME ET LES ANIMAUX.	
1. La respiration.	125
2. Pression exercée par l'air sur l'homme.	132
3. Mal des montagnes et des aéronautes	134
4. Air comprimé.	137
CHAPITRE XIII. — ACTION DE L'AIR SUR LES PLANTES.	
1. L'air sert à la respiration et à l'alimentation	139
2. Oxygène	139
3. Acide carbonique	142
4. Azote.	147
5. Sels ammoniacaux et nitrates	149
6. Matières minérales. Résumé.	150

CHAPITRE XIV. — LES FERMENTATIONS.

1. La fermentation	151
2. Expériences de M. Pasteur.	152
3. Nombre des germes.	156

QUATRIÈME PARTIE

NOTES

NOTE A. Pesanteur de l'air. Lettre de PASCAL.	157
» B. Pesanteur de l'air. Expérience de PÉRIER. « . . .	159
» C. Instructions pour l'observation du thermomètre.	160
» D. Instructions pour l'installation du thermomètre	163
» E. Expérience de LAVOISIER	161
» F. Analyse de l'air par MM. DUMAS et BOUSSINGAULT.	167
» G. Fixité de la composition de l'air, par MM. DUMAS et BOUSSINGAULT.	169
» H. Dosage de l'ozone, de l'ammoniaque et de la matière organique.	172
» I. La pression de l'air et les êtres vivants. M. PAUL BERT.	176
> J. L'infection et la putréfaction. M. TYNDALL.	178

FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

COULOMMIERS. — Typ. PAUL BRODARD.