

## Eudiométrie et eudiomètres \*

---

L'eudiométrie est l'art de reconnaître la pureté de l'air au moyen d'instruments appelés eudiomètres.

D'après BRUNOT [1], le mot eudiomètre (de eudia beau temps, dans le sens d'atmosphère pure, et métron mesure) fut introduit vers 1775 par Felice FONTANA qui inventa un eudiomètre resté célèbre.

D'après PARTINGTON [2], c'est le Comte Marsiglio LANDRIANI qui, vers cette époque, forgea ce mot.

Ainsi l'étymologie n'apporte guère de renseignements et pour comprendre l'origine du mot, il faut évoquer les recherches chimiques du XVIII<sup>me</sup> siècle sur la salubrité de l'air. C'est ce que j'ai essayé de faire dans cet article qui comprend trois parties :

- I. Un aperçu historique des travaux effectués sur l'air avant PRIESTLEY.
- II. Les méthodes d'étude de l'air utilisées par PRIESTLEY et ses imitateurs.
- III. L'évolution de la méthode eudiométrique à la suite des travaux de VOLTA.

Une description des principaux eudiomètres et une bibliographie complètent ces trois parties.

### I. APERÇU HISTORIQUE DES TRAVAUX EFFECTUES SUR L'AIR AVANT PRIESTLEY.

« De tous les phénomènes de l'économie animale, il n'en est pas de plus frappant ni de plus digne de l'attention des physiens et des physiologistes que ceux qui accompagnent la respiration... L'air, comme tout le monde sait, est l'agent ou plus exactement, le sujet de la respiration ; mais en même temps, toutes sortes d'airs, ou plus généralement toutes sortes de fluides élastiques ne sont pas propres à l'entretenir et il est un grand nombre d'airs que les animaux ne peuvent respirer sans périr aussi promptement au moins que s'ils ne respiraient point du tout » [3].

---

(1) Réponse à la question de notre collègue SIAUD (B.U.P. n° 612, mars 1979.

Comme l'écrivait LAVOISIER en 1777, les chimistes attachaient une importance exceptionnelle aux problèmes de la respiration et de la combustion et cela depuis des siècles. Mais pour résoudre ces questions difficiles, il fallait avoir une idée correcte de la nature de l'air : celui-ci fut en effet très longtemps le seul « élément » gazeux connu.

« Les différents auteurs qui ont parlé, avant PARACELSE, de la substance qui se dégage des corps pendant la combustion..., la fermentation..., les effervescences, ne paraissent pas s'être formé des idées bien nettes de sa nature et de ses propriétés, ils l'ont désigné sous le nom de « Spiritus Sylvestre », « esprit sauvage ». PARACELSE et quelques auteurs ont pensé que cette substance n'était autre chose que l'air même tel que celui que nous respirons » [4]. Ainsi Etienne DE CLAVE considère l'air comme un corps simple indécomposable, incapable, à son avis de se combiner avec les autres corps simples [5].

C'est VAN HELMONT qui, le premier, réalise que les différents « gas » [6] qu'il prépare lors de ses distillations de matières végétales, lors de l'action des acides sur les carbonates, ou lors de la décomposition des sels par la chaleur, sont des « vapeurs incoercibles » différentes de l'air principe [7]. Cependant il ne s'agit pour lui que d'un même « gas » ayant des propriétés différentes selon les circonstances et qu'il rapproche de « l'eau réduite en vapeurs », l'air n'étant qu'une substance inerte qui sert au remplissage de l'espace.

Les progrès ne peuvent être que lents car pour VAN HELMONT « le gas ne peut pas être obtenu dans des vaisseaux ni réduit en corps visible » et ce n'est que plus tard que BOYLE et MAYOW montrent le moyen de recueillir les gaz sur la cuve à eau.

L'étude de la qualité de l'air atmosphérique apparaît vers cette époque : HAUKSBEЕ constate que de l'air passé dans un tube en laiton chauffé au rouge éteint la flamme et tue les animaux, ce qui n'est pas le cas si le tube est en verre [7]. BOYLE va plus loin en établissant un lien entre respiration et combustion : il mène des expériences comparatives mesurant la durée de vie d'un animal (souris, oiseau) et la durée de la flamme de « l'esprit de vin » enfermés dans des récipients clos. Il montre également que l'air est nécessaire à la flamme en expérimentant dans le vide : un morceau de bois enflammé voit sa flamme décroître dans le vide et reprendre son éclat dans l'air. La fleur de soufre ne peut être enflammée dans le vide (1672) [8]. BOYLE observe qu'une partie seulement de l'air est absorbée par la combustion et rattache ce fait à la présence de particules qui sont nécessaires à la fois au feu et à la vie.

Peu de temps après, MAYOW (1674) découvre que l'air contient un principe que l'on retrouve dans le salpêtre et qui pro-

voque la « calcification » (oxydation) des métaux. Il écrit qu' « il existe, quelque soit le corps, quelque chose d'aérien (« esprit nitro-aérien ») nécessaire à l'alimentation de la flamme car celle-ci, exactement emprisonnée sous une cloche ne tarde pas à s'éteindre, non pas comme on le croirait vulgairement par l'action de la suie mais par défaut d'un aliment aérien » [10] ; cependant, pour lui, cet aliment n'est pas l'air supposé inerte mais des particules « igno-aériennes » qui font corps avec lui. HOOKE utilise la même théorie et se demande si ces particules ne forment pas la « partie vitale » de l'air permettant d'enflammer les corps et de faire vivre les animaux [11].

Cependant, ces théories de la combustion eurent peu de succès car elles furent éclipsées peu après par la théorie du phlogistique de STAHL.

L'un des principaux mérites de MAYOW fut de créer la véritable technique de manipulation des gaz, technique qui sera introduite en France par MOTTREL D'ÉLÉMENT (1719) [12]. La manipulation des gaz fut très perfectionnée par HALES. Celui-ci se préoccupe nettement de la comparaison de la combustion et de la respiration dans sa « Statique des végétaux et l'analyse de l'air » [13] ; il est le premier qui essaie de mesurer de façon précise les quantités de gaz produites lors de nombreuses expériences, ou d'évaluer le volume d'air absorbé lors des combustions et de la respiration : « une chandelle allumée de 3/5<sup>e</sup> de pouce anglais de diamètre absorbe 78 pouces cubiques d'air, un rat emprisonné dans un récipient de 204 pouces cubiques absorbe 78 pouces également, un homme qui respire 73 pouces cubiques d'air jusqu'à ce qu'il fut près de suffoquer... 20 pouces » [14].

Les idées théoriques de HALES sont moins précises que celles de ses devanciers : il pense que l'air est rendu impropre à la respiration par la perte de son élasticité et par la présence de vapeurs grossières ; s'il prépare de nombreux « airs », il n'a pas l'idée qu'ils puissent différer les uns des autres.

Une des préoccupations principales de HALES est d'évaluer la salubrité de l'air : le premier, il emploie un mélange de soufre et de fer pour évaluer « l'excellence de l'air » [15] ; il invente un « impregnated muffler », sorte de masque à gaz destiné à être employé lors des incendies. Il imagine de renouveler par une ventilation forcée l'air confiné des mines, des cales de navires ou celui des prisons [16]. On peut ainsi affirmer que ce sont les travaux de HALES sur le rôle de l'air dans la respiration qui sont le point de départ des études de PRIESTLEY et que ce sont les ouvrages de HALES qui, vulgarisant les méthodes de manipulation des gaz, permettent l'avènement de la « chimie pneumatique ».

Cependant, au milieu du XVIII<sup>me</sup> siècle, le problème de la salubrité de l'air et de sa composition est loin d'être résolu : il suffit de comparer ce qu'écrivait MARIOTTE en 1676 dans son « discours de la nature de l'air », à ce que publie BOERHAVE dans ses « éléments de chimie » en 1732 (parus en France en 1754).

Pour MARIOTTE « l'air est si nécessaire à la conservation de notre vie et son étendue est d'une grandeur si considérable que nous ne pouvons pas connaître par le moyen de ses autres propriétés. SENDIGOVIVUS a prétendu qu'il y avait dans l'air un aliment propre à conserver la vie... mais on ignore ce que c'est que cet aliment, comment il agit et quels sont proprement ses effets... Quelqu'un pourra-t-il à présent déterminer si cette vertu cachée est attirée de l'air par les animaux et les végétaux ? » [17].

Pour BOERHAVE, les expériences de BOYLE et des autres « prouvent donc qu'il y a dans l'air quelque vertu cachée que nous ne pouvons pas connaître par le moyen de ses autres propriétés. SENDIGOVIVUS a prétendu qu'il y avait dans l'air un aliment propre à conserver la vie... mais on ignore ce que c'est que cet aliment, comment il agit et quels sont proprement ses effets... Quelqu'un pourra-t-il à présent déterminer si cette vertu cachée est attirée de l'air par les animaux et les végétaux ? » [18]

Les idées de BOERHAVE sont intéressantes car elles ne tiennent aucun compte de la théorie dominante de l'époque qui est celle du phlogistique de BÉCHER et de STAHL ; ce dernier, d'après FOURCROY [19] ne croit pas du tout « à la fixation de l'air, à la perte de son élasticité par la combinaison, à son union avec des liquides, à son dégagement ou à son passage de l'état élastique à l'état non élastique. »

Ce sont cependant des phlogisticiens convaincus qui vont découvrir les principaux gaz. Ainsi, c'est BLACK qui, le premier, prépare le dioxyde de carbone, notamment par action des acides sur la « potasse » (carbonate de potassium), « la magnésie blanche » (carbonate de magnésium), le calcaire. Il reconnaît qu'il obtient un « air » différent de l'air commun, lui donne le nom d'air fixé et reconnaît son action sur « l'eau de chaux » [20]. Ses résultats permettent d'expliquer les recherches de DE SALUCE sur le fluide élastique qui se dégage de la poudre à canon [21], de MACBRIDE sur l'air qui se dégage lors des effervescences et des fermentations (1764) [22], de CAVENDISH sur « l'air artificiel nommé air fixé » (1766) [23].

CAVENDISH identifie en 1765 « l'air inflammable » (l'hydrogène) qui devient ainsi le deuxième air artificiel connu, et il montre que l'air inflammable a besoin d'air commun pour pouvoir brûler. Lors de ses recherches sur les airs artificiels [23], CAVENDISH introduit l'usage de la cuve à mercure, ce qui permet dès lors aux chimistes de recueillir les gaz solubles dans l'eau.

La découverte de l'oxygène était le dernier pas à franchir pour pouvoir étudier la nature de l'air. En 1774, PRIESTLEY découvre l' « air déphlogistiqué » (l'oxygène) en chauffant le « précipité per se » (l'oxyde mercurique) [24]. En 1775, LAVOISIER et PRIESTLEY constatent que cet « air » entretient la respiration des animaux et qu'il participe à la respiration des végétaux. SCHEELÉ trouve les mêmes résultats indépendamment. Quoique l'interprétation correcte de la nature de l'oxygène n'ait été acquise que vers 1785 grâce à LAVOISIER [25], les chimistes tiennent enfin le principe vital de l'air et commencent à essayer de mesurer sa « salubrité » : l'eudiométrie peut naître.

## II. L'EUDIOMETRIE DE PRIESTLEY ET DE SES IMITATEURS.

En 1772, PRIESTLEY découvre « l'air nitreux » (monoxyde d'azote) par action de l'acide nitrique sur certaines pyrites puis sur le fer, le cuivre, l'étain... Le gaz formé donnait des vapeurs rouges au contact de l'air et lorsque le mélange était fait sur l'eau « environ 1/5<sup>e</sup> d'air commun et autant qu'il est nécessaire d'air nitreux pour produire cet effet disparaissaient » [26].

PRIESTLEY remarqua que cette diminution de volume était « particulière à l'air commun ou à l'air propre à la respiration et... très sensiblement si ce n'est très exactement en proportion de sa qualité pour cet usage ; ainsi par ce moyen la qualité (goodness) de l'air peut être reconnue d'une manière bien plus précise que celle qui consiste à faire respirer par des souris ou d'autres animaux. » [27].

ROULAND [28] écrit en 1784 : c'est ce « physicien célèbre (PRIESTLEY) qui nous a mis sur la voie de calculer en quelque sorte le risque qu'on court à respirer telle ou telle espèce d'air pendant un temps donné en le mêlant pour cela avec l'air nitreux... On se sert dans cette expérience de tubes calibrés et divisés en degrés dont chacun doit répondre juste à une mesure avec laquelle on mêle les airs dans le tube. »

Le mode opératoire suivi par PRIESTLEY était le suivant : « on remplissait d'air à examiner un vaisseau de verre de la capacité d'une once et on le faisait passer dans une cloche d'un pouce et demi de diamètre, renversée sur l'eau ; on y faisait ensuite passer un égal volume de gaz nitreux récemment préparé et on laissait le tout reposer deux minutes. On faisait alors passer le gaz résiduel dans un tube de verre de deux pieds de long et de 1/3 de pouce de diamètre, divisé en dixièmes et centièmes d'once mesure ; et l'on connaissait ainsi la quantité d'oxygène absorbé par la diminution qui avait lieu » [29].

FONTANA, à Florence et à Paris réalise vers la même époque, de nombreuses expériences sur la salubrité de l'air, expérimentant

tant sur des grenouilles, des moineaux, des souris, ou avec la flamme des chandelles. Comme ses résultats manquent de fidélité, il adopte et perfectionne la méthode de PRIESTLEY en créant « l'eudiomètre de FONTANA » [30] que l'on trouve également décrit par INGEN-HOUSZ [31] et SIGAUD DE LA FOND [32] : il s'agit d'un *tube gradué* étroit et long, muni d'un entonnoir et dans lequel on peut introduire rapidement l'air et « l'air nitreux », ce dernier étant employé en excès pour contrebalancer sa qualité fort inégale selon les préparations (voir fig. 1).

L'eudiométrie devient à la mode : LANDRIANI effectue un « voyage eudiométrique » à travers l'Italie et écrit le 17 novembre 1776 à PRIESTLEY qu'il « a trouvé qu'un air qu'on disait être mauvais l'est bien, ceci au moyen d'un eudiomètre de ma fabrication... » Il affirme que l'air des montagnes est meilleur que celui des vallées... mais DE SAUSSURE trouve le résultat inverse... [33].

FONTANA [34], SIGAUD DE LA FOND [35], utilisant l'eudiomètre à gaz nitreux trouvent simultanément qu'il n'y a que de faibles différences dans les qualités des diverses espèces d'air. La même (année 1779), INGEN-HOUSZ, en étudiant la salubrité de l'air à l'eudiomètre, découvre que toutes les parties vertes des plantes purifient le mauvais air en donnant de l'air déphlogistiqué (oxygène) mais seulement par exposition à la lumière et en proportion de celle-ci [31]. Résultats qui seront confirmés et développés par SENEBIER [36].

Avec son habileté coutumière, CAVENDISH va alors porter la méthode eudiométrique à un degré de précision nouveau [37]. Après avoir analysé les causes d'erreur des méthodes précédentes, il établit un mode opératoire « standard » à partir d'eau distillée et « d'air nitreux » obtenu par action du cuivre sur de l'acide nitrique de concentration donnée. En 1781, il trouve que le pourcentage en volume de l'oxygène dans l'air est 20,83 % alors que SCHEELE et LAVOISIER [38] indiquent 25 % et PRIESTLEY encore plus.

Cependant, l'eudiométrie à l'air « nitreux » reste une méthode peu sûre de mesure de la « bonté » de l'air. INGEN-HOUSZ qui a trouvé que l'air du bord de la mer est meilleur... que l'air ordinaire comme le désiraient les propriétaires des pensions de l'endroit, cherche cependant à améliorer le procédé ; MAGELLAN, CAVALLO, SENEBIER, font de même. Mais de nombreux autres chimistes se tournent vers d'autres corps pour absorber l'oxygène : LAVOISIER [40] abandonne l'air « nitreux » et utilise le mercure dans ses célèbres expériences d'analyse de l'air ; SCHEELE propose le sulfure de potassium [41], sa méthode est reprise par HOPE et GUYTON DE MORVEAU [42] (fig. 3). Si BERTHOL-

LET emploie la combustion lente du phosphore (2), CAVENDISH, SEGUIN (3), DE SAUSSURE, préfèrent la combustion vive effectuée dans un tube droit rempli d'eau puis de l'air à essayer. HUMBOLDT montre que ces procédés ne sont pas très exacts car du « gaz nitreux » introduit en fin d'expérience prend une coloration rouge ! [43]. MAC CARTHY reprenant les anciennes expériences de HALES emploie le mélange de limaille de fer et de soufre humide sans obtenir de meilleur résultat. DAVY préfère le « muriate de fer » imprégné de « gaz nitreux » [44]. Plus tard, CHEVREUL, puis LIEBIG utilisent le « pyrogallol » en présence de potasse [45], méthode devenue classique dans nos travaux pratiques comme l'est également l'emploi plus récent de la solution de FIESSER [46].

Mais tous ces procédés d'absorption possèdent notamment les défauts suivants, mis en évidence par GAY-LUSSAC [47] (fig. 2) :

— L'oxygène absorbé ne peut être en général remis en liberté et on ne peut ainsi vérifier le dosage de l'azote.

— L'absorption n'est pas toujours totale.

— Le réactif absorbant peut dégager une certaine quantité de gaz (ainsi le pyrogallol dégage du monoxyde de carbone).

Aussi, l'analyse eudiométrique se fit-elle très tôt par une autre méthode : l'eudiométrie « électrique ».

### III. L'EUDIOMETRIE ELECTRIQUE OU A ETINCELLES.

Les premières observations sur les effets chimiques produits par l'électricité sont dues à BECCARIA (1758) qui parvint à réduire les oxydes par des décharges électriques. Le premier, il fit passer des étincelles à travers l'eau d'un tube et nota un dégagement gazeux [48]. Des observations analogues furent faites en France par DE MILLY [49].

PRIESTLEY, en 1772, trouve que le gaz ammoniac augmente de volume par étincelage [50] et obtient un gaz inflammable en faisant passer une décharge électrique à travers l'huile, l'éther, l'essence de térébenthine, l'alcool... Il emploie, pour faire ces expériences, un tube droit qui figure sur la gravure du frontispice de ses « Observations on different kinds of air » (1774) [51] et ressemble à nos « eudiomètres » actuels (fig. 4). Ce tube lui permet, en 1774, de mener à bien des « expériences eudiométriques » : en faisant passer des étincelles électriques à travers de l'air enfermé au-dessus d'une « solution de tournesol », il constate une diminution du volume et la formation d'un acide.

(2) Proposée d'abord par ACHARD, J. de Physique, 1783, t. 1.

(3) LAVOISIER et SEGUIN, Ann. de Chim., IX, p. 293.

Il effectue ensuite ces mêmes expériences avec un tube courbe dont chaque extrémité plonge dans du mercure, expériences reprises par CAVENDISH qui donne la composition correcte de l'air.

L'emploi de l'étincelle électrique pour enflammer les substances combustibles était connu depuis les essais de LUDOLF en Allemagne, de NOLLET en France, de WATSON en Angleterre, qui, dès 1744 allument « l'esprit de vin », l'éther, ou les « fumées » qui s'échappent d'une chandelle récemment éteinte [52].

WATSON est le premier qui enflamme de cette manière « l'air inflammable ». CAVENDISH en 1765 montre que l'air inflammable a besoin d'air commun pour brûler. Puis, en 1775, PRIESTLEY réalise l'inflammation de l'air inflammable (hydrogène) avec l'air déphlogistiqué (oxygène), s'amusant à transporter sur lui des flacons fermés et à les faire exploser, ce qui, écrit-il, « ne manque jamais de surprendre les personnes auxquelles j'ai refait l'expérience » [53]. VOLTA a alors l'idée d'enflammer le mélange par l'étincelle électrique au moyen de son « pistolet » [54].

Cependant, à côté de ces expériences de physique amusante, VOLTA crée un « nouvel eudiomètre » dans le but de recueillir les produits de la combustion de l'air inflammable et de l'air déphlogistiqué : il les enflamme dans un eudiomètre fermé, en verre gradué, muni d'un bouchon et de fils de laiton pour faire passer l'étincelle, le tout étant placé sur la cuve à mercure (fig. 5). Il étudie, avec cet appareil, la composition de l'air et les limites d'inflammabilité de l'hydrogène avec l'air et l'oxygène [55]. Ce furent cependant PRIESTLEY et WARLTIRE qui, en 1777, notèrent les premiers l'apparition de buée, ce qui amena CAVENDISH à reprendre ses recherches sur la nature des produits de cette combustion et à découvrir la synthèse de l'eau, résultat confirmé par les travaux de LAVOISIER et de MONGE. En 1790, VOLTA présente un eudiomètre amélioré [56] qui portera son nom ; pour faire l'analyse eudiométrique de l'air, on ajoute un excès d'hydrogène à un volume connu d'air, on fait passer l'étincelle et le 1/3 de la contraction donne le volume d'oxygène (fig. 6).

L'eudiométrie est à la mode : en 1789, Arthur YOUNG [57] écrit que, dans son laboratoire qui consiste en deux grandes pièces emplies d'appareils, GUYTON DE MORVEAU « est en train de faire une grande série d'expériences eudiométriques, particulièrement avec les eudiomètres de FONTANA et de VOLTA. Il semble penser qu'on peut avoir pleine confiance dans ces épreuves eudiométriques : il garde son air nitreux dans des bouteilles d'une pinte... ». DE MORVEAU montre à YOUNG la proportion de l'air vital par une expérience eudiométrique utilisant la combustion du phosphore (décrite dans l'encyclopédie méthodique de 1796 t. 1, p. 705) (voir fig. 3).

Mais l'eudiométrie ne tarde pas à servir à l'analyse d'autres gaz. Ainsi, en 1801, CLÉMENT et DÉSORMES font brûler, dans un eudiomètre, des hydrocarbures gazeux avec un défaut d'oxygène [58]. BERTHOLLET [59], DALTON, utilisent la méthode pour déterminer la composition correcte du méthane découvert par VOLTA en 1774. DALTON donne ensuite la composition de l'éthylène (1805) et de l'éther (1819) [60].

Si l'eudiométrie s'écarte de sa voie originelle, c'est que la précision atteinte par la méthode, notamment celle de VOLTA, a montré l'inanité des recherches sur la qualité de l'air. Les travaux de GAY-LUSSAC et de HUMBOLDT [61] prouvent la fixité de la composition de l'air, contrairement à ce que soutient DALTON... BERZÉLIUS écrit en 1829 « on a cru pendant longtemps que la quantité d'oxygène contenue dans l'air atmosphérique était sujette à varier et que l'air pouvait être, d'après cela, plus ou moins nuisible à la santé. J'ai dit plusieurs fois que la composition de l'atmosphère en plein air demeure toujours la même d'où il suit par conséquent que cette hypothèse est fautive. Les substances qui rendent l'air nuisible à la santé... influent si peu sur la quantité d'oxygène qu'il contient... qu'on ne peut point les découvrir par l'eudiométrie » [62]. On peut considérer le débat clos avec DUMAS et BOUSSINGAULT qui notent en 1841 que « la composition de l'air atmosphérique n'a pas varié d'une manière appréciable depuis quarante années... Il demeure démontré pour nous que le rapport de l'oxygène à l'azote dans l'air... est invariable au millième près dans des latitudes éloignées, à des époques assez distantes et des hauteurs fort différentes [63].

L'eudiométrie devient alors une méthode d'analyse des gaz combustibles au moyen de l'étincelle électrique et elle se développe comme telle au XIX<sup>me</sup> siècle : l'analyse eudiométrique est considérée « toutes les fois qu'elle est applicable comme une des méthodes chimiques les plus expéditives et les plus élégantes » [64] et les livres d'analyse lui consacrent de longs développements [65]. L'eudiométrie entre dans l'enseignement secondaire et pendant des années, elle est l'objet de problèmes classiques qui se répètent jusqu'à une époque récente... alors que le procédé a totalement disparu des laboratoires...

Née de la recherche appliquée sur la salubrité de l'air, puis méthode de pointe de l'analyse chimique, l'eudiométrie est aujourd'hui bien oubliée ; survivra-t-elle dans nos lycées comme une méthode permettant une étude quantitative précise de la synthèse de l'eau ?

## IV. DESCRIPTION DE QUELQUES EUDIOMETRES.

## 1. Eudlomètre de FONTANA.

Je n'ai pas trouvé de planche représentant cet eudiomètre. La description suivante est extraite du « dictionnaire de physique » de SIGAUD DE LA FOND qui consacre 11 pages à cet appareil (t. 5, p. 311-322) (réf. [32]).

L'eudiomètre proprement dit, appelé la jauge est « un tube de crystal de 15 à 18 pouces de hauteur, de 6 à 7 lignes de diamètre et dont la surface intérieure est en partie dépolie à l'émeri... ce tube étant parfaitement calibré intérieurement... une virole de cuivre évasée en forme d'entonnoir étant mastiquée au bas du tube. » Une « mesure » est construite de façon analogue et est la même que celle représentée en 2 (E) : elle possède une plaque à coulisse permettant de la refermer exactement.

Fig. 1, d'après la description complète : le tube réel est certainement plus long.

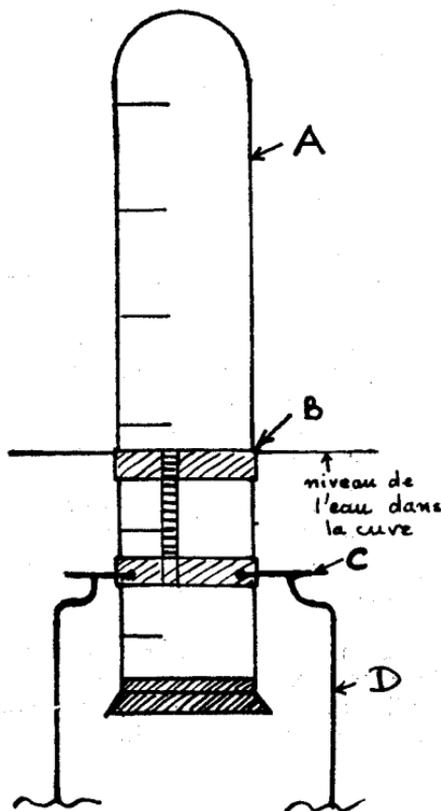


Fig. 1. — C : tige support fixée au curseur.

La jauge est graduée progressivement en y introduisant de l'air à l'aide de la mesure et en marquant au diamant un trait pour chaque mesure. Le long du tube coulisse un curseur en cuivre (B) divisé en 100 parties correspondant chacune « au  $1/100^e$  de l'espace total qu'occupe dans le tube (A) chaque mesure d'air qu'on y introduit ».

Pour « éprouver l'air », on introduit 2 mesures de celui-ci et on y joint 1 mesure « d'air nitreux » en secouant dans l'eau d'une cuve. On note le niveau atteint en enfonçant le tube (A) dans un cylindre (D) plein d'eau placé dans la cuve de manière à faire coïncider les niveaux dans (A) et dans la cuve. On introduit alors successivement plusieurs mesures d'air nitreux jusqu'à ce que l'absorption cesse. D'après la graduation atteinte, on peut alors « calculer la quantité d'air détruite et sa bonté : si l'air dont on veut éprouver la bonté étoit meilleur que l'air commun, si c'étoit de l'air déphlogistiqué il faudroit employer un plus grand nombre de mesures d'air nitreux ».

## 2. Eudiomètre à gaz nitreux perfectionné par M. GAY-LUSSAC.

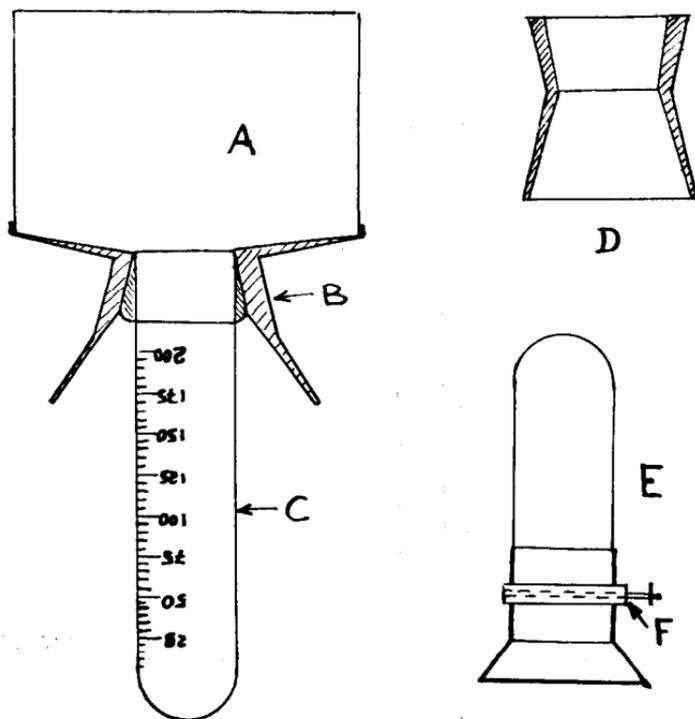


Fig. 2

Ce schéma est extrait du « dictionnaire des Sciences médicales par une société de médecins et de chirurgiens », Paris 1812, Panckouke éd., t. XIII, p. 446.

A vase de verre large contenant 250 parties du tube gradué C.

B douille rodée à l'émeri.

C tube gradué en 200 parties.

D entonnoir de cuivre pouvant s'adapter au tube C pour y introduire les gaz.

E mesure contenant 100 parties du tube C. Elle ferme grâce à une coulisse en laiton F.

### 3. Eudiomètre du citoyen GUYTON (GUYTON de MORVEAU).

La figure est extraite du manuel de BOUILLON-LAGRANGE (An IX), voir réf. [42].

Il s'agit d'un eudiomètre où l'absorption de l'oxygène est assurée par un sulfure alcalin ou par le phosphore.

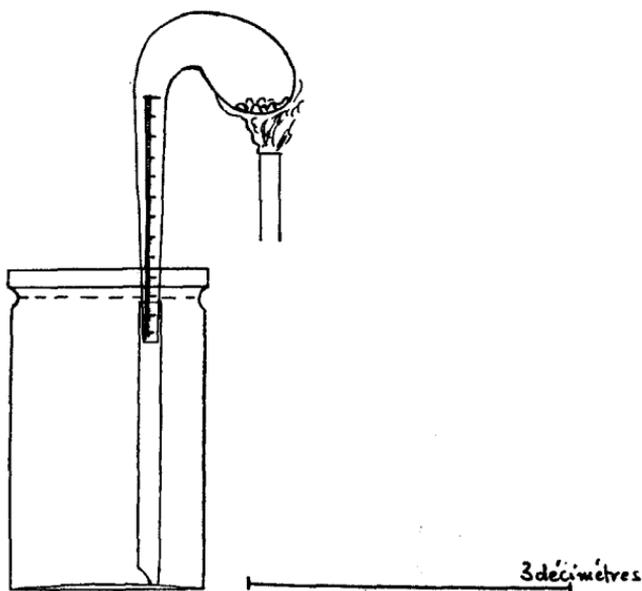


Fig. 3

#### 4. Tubes employés par PRIESTLEY.

Tubes ayant servi à faire passer des décharges électriques.  
Voir III et réf. [51].

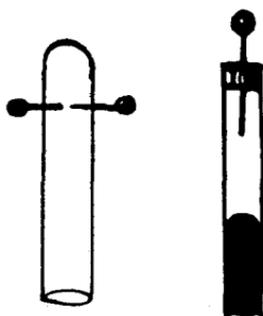


Fig. 4

#### 5. Eudiomètres de VOLTA.

Premier modèle d'après PARTINGTON (réf. [2]) : fig. 5 a.  
Modèle ultérieur d'après THÉNARD (voir 6. ci-après) : fig. 5 b.

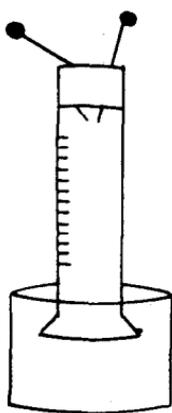


Fig. 5 a



Fig. 5 b

#### 6. Eudiomètre à eau de VOLTA.

D'après THÉNARD : Traité de chimie (Atlas), Paris, 1835. Crochard éd.

Cet appareil, très grand, ne servait que dans les cours de chimie. Il se compose d'une éprouvette en verre épais fermée à ses deux extrémités par 2 garnitures métalliques munies d'un

robinet, et d'un entonnoir à une extrémité. Une tige métallique isolée sort de la partie supérieure et pénètre dans l'éprouvette jusqu'au voisinage de la garniture supérieure. Une bonde métallique graduée relie les deux garnitures. A la place de l'entonnoir supérieur, on peut visser un mesureur, éprouvette graduée qui sert à évaluer le volume du résidu gazeux après passage de l'étincelle.

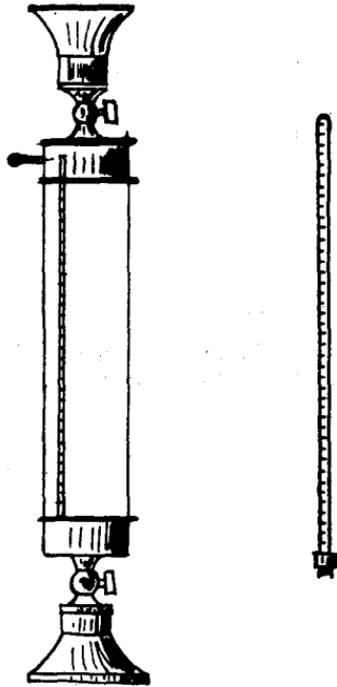


Fig. 6. — Grand eudiomètre de VOLTA.

#### 7. Eudiomètre de CAVENDISH.

D'après *Makers of chemistry* E.-J. HOLMYARD. Oxford, Clarendon press. 1931, p. 179.

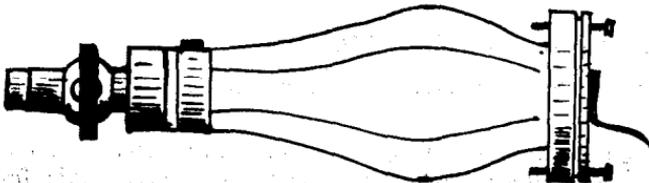


Fig. 7. — Eudiomètre de CAVENDISH.

### 8. Eudiomètre de GAY-LUSSAC.

C'est une éprouvette en verre de 20 cm de long et de 2 cm de diamètre. Le fond est percé en A et B pour permettre le passage de 2 armatures en fer solidement mastiquées. L'orifice S possède une soupape en fer fixée dans un bouchon de liège. L'appareil s'emploie sur la cuve à mercure et n'est pas gradué, ce qui oblige à des transvasements pour mesurer les volumes gazeux. Dans un modèle voisin, une tige de fer remonte en traversant le mercure jusqu'au bouton supérieur (d'après la réf. [65]).

### 9. Eudiomètre de DALTON.

D'après PARTINGTON (réf. [2]). Comme le précédent, cet appareil n'est pas gradué.

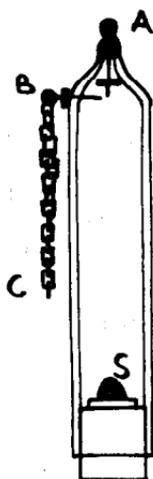


Fig. 8. — Eudiomètre de GAY-LUSSAC.

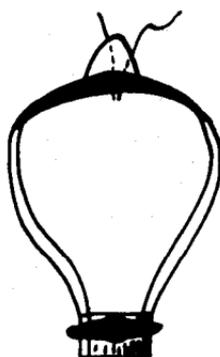


Fig. 9. — Eudiomètre de DALTON.

### 10. Eudiomètre du D<sup>r</sup> URE.

D'après A. URE : Dictionnaire de chimie, trad. par J. RIFFAULT. 1821, t. 3, p. 185.

C'est un « syphon de verre... dont chaque branche a 6 à 9 pouces. Une extrémité est ouverte, l'autre est fermée hermétiquement et on y a soudé, au moyen du chalumeau, 2 fils de platine... On y emploie l'air atmosphérique le plus élastique et le moins coûteux de tous les ressorts pour recevoir et amortir le recul ». Il peut fonctionner avec du mercure ou avec de l'eau.

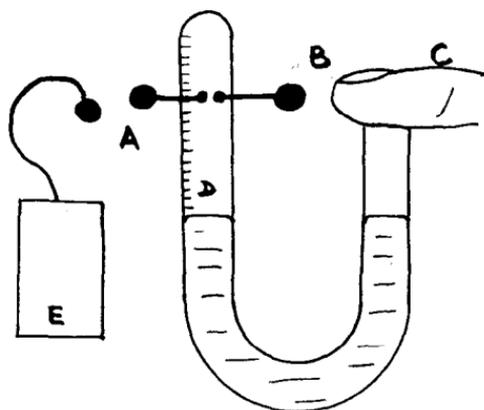


Fig. 10. — Eudiomètre du Docteur URE.

### 11. Eudiomètre de BUNSEN, de RIBAN et de MITSCHERLICH.

L'eudiomètre de BUNSEN est long de 40 à 50 cm, son diamètre est de 1,5 cm. L'appareil est gradué, ses électrodes sont en platine. On l'emploie sur la cuve à mercure en le soulevant légèrement, ce qui fait qu'il n'a pas besoin d'être en verre très épais. BUNSEN l'employait en le bouchant avec le pouce, ce qui, dit-on, le lui avait quelque peu aplati! Fig. 11 a.

L'eudiomètre de RIBAN (ou celui de MITSCHERLICH) est analogue, mais les électrodes de platine sont solidement noyées dans le verre sans faire de saillie, ce qui ne retient pas de bulle d'air. Fig. 11 b.

(D'après E. JUNGLEISH, réf. [65], p. 339 et MASCART, réf. [48], p. 163).

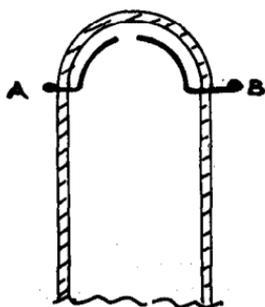


Fig. 11 a. — Eudiomètre de BUNSEN.

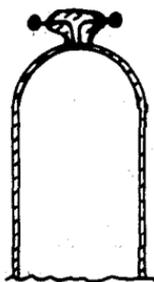


Fig. 11 b. — Eudiomètre de RIBAN et MITSCHERLICH.

### 12. Eudiomètres d'HOFFMANN.

Il s'agit d'appareils de démonstration. Le premier sert à la synthèse de l'eau (fig. 12 *a*). Trois repères permettent d'introduire 2 vol. d'hydrogène et 1 vol. d'oxygène. Après combinaison, on constate qu'il reste 2 vol. de vapeur d'eau. (Un manchon chauffé à la vapeur entoure le tube eudiométrique et l'eau dans le tube est à une pression inférieure à la pression atmosphérique, ce qui empêche sa condensation).

Le deuxième eudiomètre (fig. 12 *b*) sert à l'analyse de l'air par combinaison de l'oxygène avec de l'hydrogène. (D'après E. JUNGLEISH, réf. [65], p. 353).

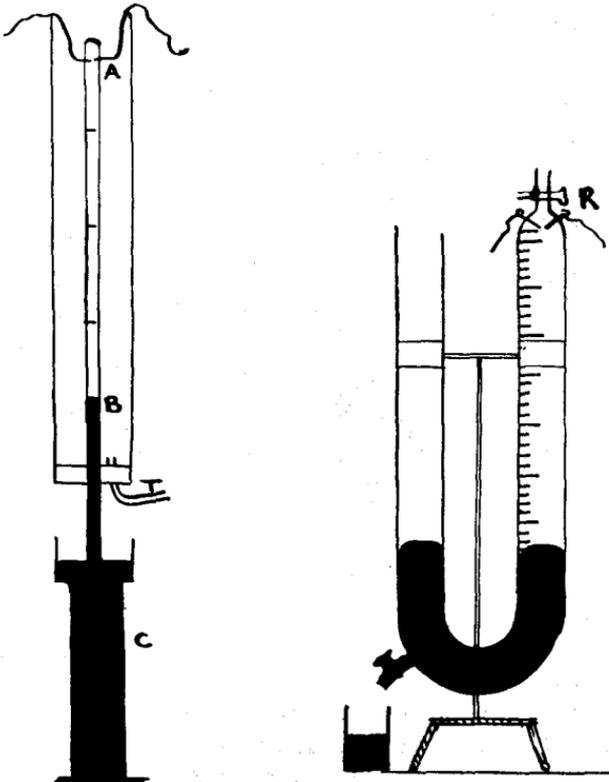
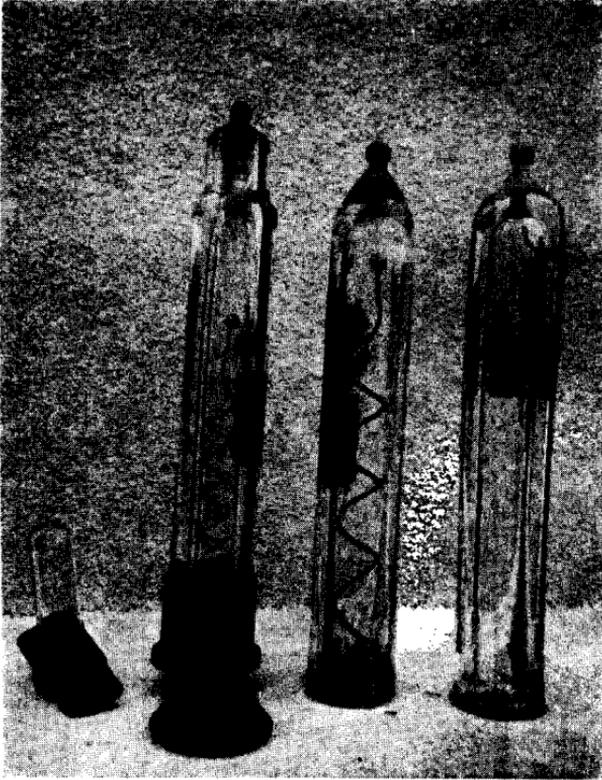


Fig. 12 *a*. — Eudiomètre d'HOFFMANN.

Fig. 12 *b*. — R, robinet à 3 voies pour admettre l'hydrogène ou l'air.



**Photographie de quelques eudiomètres**

de gauche à droite :

mesure pour eudiomètre de FONTANA amélioré par GAY-LUSSAC  
(voir fig. 2),

eudiomètre de VOLTA avec virole de fermeture,

eudiomètre de VOLTA (voir fig. 5 b),

eudiomètre de GAY-LUSSAC (voir fig. 8).

## BIBLIOGRAPHIE

*Première partie*

- [1] F. BRUNOT. — *Histoire de la langue française, des origines à nos jours*, tome VI, le XVIII<sup>me</sup> siècle, 1<sup>re</sup> partie, 2<sup>me</sup> fascicule, p. 628. A. Colin, 1966.
- [2] J.-R. PARTINGTON. — *A history of chemistry*, vol. 3, p. 323 (1700-1800). Mac Millan, 1962.
- [3] LAVOISIER. — *Mémoires sur la respiration et la transpiration des animaux*, p. 1. Gauthier-Villars, 1920.
- [4] LAVOISIER. — *Opuscules physiques et chimiques*. Paris, 1774, chap. 1, p. 4.
- [5] H. METZGER. — *Les doctrines chimiques en France du XVII<sup>me</sup> au XVIII<sup>me</sup> siècle*, p. 368. A. Blanchard, 1969.
- [6] *Le terme de gas (gaz) est dû à VAN HELMONT (Ortus medicinae 1648)*. Voir M. DELACRE, *Histoire de la chimie*, p. 75. Gauthier-Villars, 1920. *Le terme de gaz, en français*, est introduit par MACQUER dans son « dictionnaire de chymie ».
- [7] PARTINGTON. — Op. cit. p. 111, DELACRE, op. cit. p. 86.
- [8] BOYLE. — « *New experiments touching the relation betwixt Flame and Air* » 1772. Extraits dans H. LEICESTER *A source book in chemistry, 1400-1900*, Harvard Un. Press, 1963.
- [9] LAVOISIER. — *Opuscules...* chap. 1, p. 10. Voir réf. [4].
- [10] MAYOW. — *De Sale Nitro et Spiritu nitro aëro*, 1674. Cité par H. METZGER. *Doctrines chim.*, p. 369. Voir réf. [5].
- [11] HOOKE. — Voir réf. [5], p. 370. *Micrographia*, 1665. Obs. XVI. Cité dans *A source book*, p. 48. Voir réf. [8].
- [12] MOITREL D'ÉLÉMENT. — *La manière de rendre l'air visible et assez sensible pour le mesurer par pintes...* dédié aux Dames. Paris, 1719. Voir PARTINGTON, op. cit., p. 112. Voir réf. [2].
- [13] HALES. — *Statique des Végétaux*, 5<sup>me</sup> chap., Paris, 1735 (Londres, 1727).
- [14] Cité par LAVOISIER. *Opuscules...*, p. 17-18. Voir réf. [4].
- [15] DELACRE, p. 136. Voir réf. [6].
- [16] PARTINGTON, t. 3, p. 116-119. Voir réf. [2].
- [17] MARIOTTE. — *Discours de la nature de l'air*. Paris, 1676. Gauthier-Villars, 1923.
- [18] BOERHAAVE. — *Eléments de chimie*, Paris, 1754, vol. 4, p. 148. Ed. latine, 1732. Cité partiellement dans H. METZGER, Newton, Stahl, Boerhaave et *La doctrine chimique*, A. Blanchard (1930, 1974), p. 257.

- [19] FOURCROY. — *Encyclopédie méthodique*, 1796, vol. 3, article chimie, p. 333. Voir H. METZGER, p. 10, réf. [18].
- [20] BLACK. — « *Experiments upon magnesia alba* »... 1756. Cité par LAVOISIER, *Opuscules...*, p. 37-43. PARTINGTON, t. 3, p. 130... DELACRE, p. 116.  
Textes : *Makers of chemistry* E.-J. HOLMYARD. Oxford Clarendon Press, 1931. *A source book*, p. 80. H. LEICESTER. Voir réf. [8].
- [21] LAVOISIER. — *Opuscules...*, p. 44. Voir réf. [4].
- [22] Idem, p. 47.
- [23] CAVENDISH. — *Scientific papers*, t. 2, p. 77 (*Philosophical transactions*, 1766, LVI 141).
- [24] PRIESTLEY. — *Experiments and Observations on different kinds of air*, 1777, vol. 2, p. 29 à 48 (traduction française, 1780).
- [25] BERGMANN. — *Traité des affinités chimiques* (1788), utilise la description correcte de l'air (air vicié = mofette = azote ; air vital = oxygène ; acide aérien = dioxyde de carbone) mais il est phlogisticien : les idées de Lavoisier s'imposeront lentement.

#### Deuxième partie

- [26] PRIESTLEY. — *Phil. Trans.*, 1772, LXII, 210. Cité par PARTINGTON, t. 3, p. 253. Réf. [2].
- [27] PRIESTLEY. — Voir réf. [24], trad. française.
- [28] ROULAND. — *Tableau historique des propriétés et des phénomènes de l'air*. Paris, 1784, p. 427 et suiv.
- [29] A. URE. — *Dictionnaire de chimie*. Ed. française, 1823, t. 3, p. 180.
- [30] FONTANA. — *Descrizioni ed usi di alcuni stromenti per misurare la salubrità dell'aria*. Florence, 1774. *Recherches physiques sur la nature de l'air déphlogistiqué et de l'air nitreux*. Paris, 1776. Egalement, voir PRIESTLEY, *Expériences et observations*, 1780, réf. [24].
- [31] INGEN-HOUSZ. — *Recherches sur les végétaux*. Paris, 1787.
- [32] SIGAUD DE LA FOND. — *Dictionnaire de physique*, t. 5, p. 311.
- [33] PRIESTLEY. — *Lettre de Landriani. Experiments and obser...*, vol. 3, p. 380. 1777. Voir réf. [24].
- [34] FONTANA. — *Philos. Trans.* 1779 LXIX 337.
- [35] SIGAUD DE LA FOND. — *Essai sur les différentes espèces d'air qu'on désigne sous le nom d'air fixe*. Paris, 1779, p. 87 et 180.
- [36] SENEBIER. — Voir *Histoire générale des sciences*, R. Taton. P.U.F. 1969, t. 11, p. 691.
- [37] CAVENDISH. — *An account of a new eudiometer*. Voir PARTINGTON, réf. [2], p. 321, t. 3.

- [38] LAVOISIER. — *Sur la combinaison de l'air nitreux avec les airs respirables. Mem. Ac. Sc. Paris, 1782 (1785). Œuvres t. VIII (II), p. 503.*
- [39] INGEN-HOUSZ. — Voir PARTINGTON, t. 3, réf. [2].
- [40] LAVOISIER. — *Traité élémentaire de chimie. Chap. III, Gauthier-Villars. 1964, p. 21.*
- [41] SCHEELE. — *On air and fire. 1777, § 8-11, p. 42. J. de Phys. 1801, LII, 173.*
- [42] GUYTON DE MORVEAU. — *Manuel d'un cours de chimie par E.-J.-B. Bouillon-Lagrange. Paris. An IX, t. I, p. 187.*
- [43] BOUILLON-LAGRANGE. — Réf. [42], p. 214.
- [44] Cité par A. LIBES. — *Nouveau dictionnaire de physique. Paris, 1806, t. I, p. 429.*
- [45] LIEBIG. — Voir PARTINGTON, p. 300, t. 3. Voir réf. [2].
- [46] FIESER. — Voir par exemple VOGEL : *Practical organic chemistry, 3<sup>e</sup> éd. Longman, p. 186.*
- [47] GAY-LUSSAC. — *Sur la vapeur nitreuse et le gaz nitreux considérés comme moyens eudiométriques (mémoires de la société d'Arcueil, 2<sup>e</sup> vol.). Voir aussi Histoire des progrès des Sciences Naturelles depuis 1789, t. II, p. 13 par G. CUVIER. Paris, 1834.*

### Troisième partie

- [48] BECCARIA. — *Lettere dell'elettricismo. Bologne, 1758, cité par MASCART : Electricité statique, t. 2, p. 208.*
- [49] DE MILLY. — *Journal de physique de l'abbé Rozier, t. IV, p. 146.*
- [50] PRIESTLEY. — *Phil. Trans. LXII, p. 147. 1772.*
- [51] Figure reproduite dans PARTINGTON, t. 3, réf. [2] ou dans M.-E. WEEKS : *Discovery of elements, 7<sup>e</sup> éd., p. 220, J. of Chem. Ed. 1968.*
- [52] MASCART. — Réf. [48], t. 2, p. 162.
- [53] PRIESTLEY. — Cité par PARTINGTON, t. 3, p. 325.
- [54] VOLTA. — « Pistolet électrique » : *le bouchon de liège d'un petit récipient contenant le mélange tonnant est violemment chassé lors de l'explosion provoquée par une étincelle électrique ; Lettres de M.-A. VOLTA... sur l'air inflammable des marais. Strasbourg, 1778. Opere, 1816, t. IV, p. 131. Milan. 1816, idem Milan. 1928, t. VI, p. 103.*
- [55] VOLTA. — *Obs. Phys. 1178, XII, 365, nov., fig. III. Opere. 1928, VI, p. 176.*
- [56] VOLTA. — *Annali di chimica. 1790, t. 1, p. 171. J. de Phys. 1805, XIII, p. 151.*

- [57] A. YOUNG. — *Travels in France. Voyages en France en 1787-1790.* Trad. H. SÉE. Armand Colin. 1931, t. 1, p. 368. Dans l'édition de 1794, t. 1, p. 478.
- [58] *Ann. Chim.* 1801, XXXIX, 26 [55].
- [59] BERTHOLLET. — *Statique chimique.* 1803, t. II, p. 71-73.
- [60] DALTON. — Cité par PARTINGTON. *Man. Mem.* 1819, t. 3, p. 446.
- [61] GAY-LUSSAC et HUMBOLDT. — *Journal de Physique*, nivose an XIII, p. 99.
- [62] J.-J. BERZÉLIUS. — *Traité de chimie*, trad. par JOURDAN. 1829, t. 1, p. 393.
- [63] DUMAS et BOUSSINGAULT. — *Recherches sur la véritable constitution de l'air atmosphérique.* Comptes rendus. Ac. Sc. 1841, 1<sup>er</sup> semestre, t. XII, n<sup>o</sup> 23, p. 1005 à 1025, cit. p. 1021.
- [64] URE. — *Dictionnaire de chimie.* 1823, t. 3, p. 185. Voir réf. [29].
- [65] Par exemple E. JUNGFLÉISH. — *Manipulations de chimie*, 2<sup>e</sup> éd. 1893.

Valeurs approchées des anciennes mesures :

1 pied = 0,325 m,

1 pouce = 27 mm,

1 ligne = 2,25 mm,

1 once = 30,6 g,

1 pinte = 0,93 l.

J.-P. CHARPENTIER,  
(Ecole Normale Mixte - Angoulême).

---