

## ACTIVITE : L'ANALYSE DE LA COMPOSITION DE L'AIR PAR LAVOISIER

Dans le Traité élémentaire de chimie (1789, tome I, p. 35 à 41), Lavoisier décrit, à la première personne, l'expérience qu'il a menée pour analyser la composition de l'air, en l'accompagnant de deux illustrations. Voici les principaux extraits :

**Extrait 1 :** « J'ai pris, planche II, figure 14, un matras A de 36 pouces cubiques environ de capacité, dont le col BCDE était très long, & avait six à sept lignes de grosseur intérieurement. Je l'ai courbé, comme on le voit représenté, planche IV, figure 2, de manière qu'il pût être placé dans un fourneau MMNN, tandis que l'extrémité E de son col irait s'engager sous la cloche FG, placée dans un bain de mercure RRSS »

**Extrait 2 :** « J'ai introduit dans ce matras quatre onces de mercure très pur, puis en suçant avec un siphon que j'ai introduit sous la cloche FG, j'ai élevé le mercure jusqu'en LL : j'ai marqué soigneusement cette hauteur avec une bande de papier collé, & j'ai observé exactement le baromètre & le thermomètre »

**Extrait 3 :** « Les choses ainsi préparées, j'ai allumé du feu dans le fourneau MMNN, & je l'ai entretenu presque continuellement pendant douze jours, de manière que le mercure fut échauffé presque au degré nécessaire pour le faire bouillir »

**Extrait 4 :** « 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 [...] 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 & en volume ; après quoi elles ont cessé de grossir & 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 & j'ai laissé refroidir les vaisseaux »

**Extrait 5 :** « Le volume de l'air contenu tant dans le matras que dans son col & sous la partie vide de la cloche, réduit à une pression de 28 pouces & 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 & à température égales, ne s'est plus trouvé que de 42 à 43 pouces : il y avait eu par conséquent une diminution de volume d'un sixième environ. D'un autre côté ayant rassemblé soigneusement les parcelles rouges qui s'étaient formées, & les ayant séparées autant qu'il était possible du mercure coulant dont elles étaient baignées, leur poids s'est trouvé de 45 grains. »

**Extrait 6 :** « L'air qui restait après cette opération & 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, & les lumières s'y éteignaient sur le champ, comme si on les eût plongées dans de l'eau. »

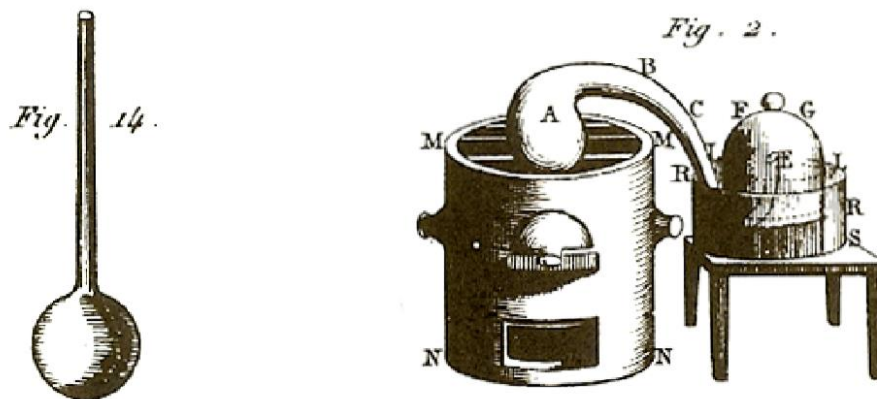
**Extrait 7 :** « D'un autre côté, j'ai pris les 45 grains de matière rouge qui s'était formée pendant l'opération ; je les ai introduits dans une très petite cornue de verre à laquelle était adapté un appareil propre à recevoir les produits liquides & aériformes qui pourraient se séparer : ayant allumé du feu dans le fourneau, j'ai observé qu'à mesure que la matière rouge était échauffée 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, & en quelques minutes elle a entièrement disparu ; en même temps il s'est condensé dans le petit récipient 41 grains  $\frac{1}{2}$  de mercure coulant, & 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 & la respiration des animaux »

**Extrait 8 :** « Ayant fait passer une portion de cet air dans un tube de verre d'un pouce de diamètre & y ayant plongé une bougie, elle y répandait un éclat éblouissant ; le carbone au lieu de s'y consommer paisiblement comme dans l'air ordinaire, y brûlait avec flamme & une sorte de crépitation, à la manière du phosphore, & avec une vivacité de lumière que les yeux avoient peine à supporter »

**Extrait 9 :** « Cet air que nous avons découvert presque en même temps, M. Priestley, M. Schéele & moi, a été nommé par le premier, air déphlogistiqué ; par le second, air empiréal. Je lui avais d'abord donné le nom d'air éminemment respirable : depuis, on lui a substitué celui d'air vital. Nous verrons bientôt ce qu'on doit penser de ces dénominations »

**Extrait 10 :** « En réfléchissant sur les circonstances de cette expérience, on voit que le mercure en se calcinant absorbe la partie salubre & respirable de l'air, ou, pour parler d'une manière plus rigoureuse, la base de cette partie respirable ; que la portion de l'air qui reste est une espèce de mofète, incapable d'entretenir la combustion & la respiration : l'air de l'atmosphère est donc composé de deux fluides élastiques de nature différente & pour ainsi dire opposée »



**Figure 1 : Illustrations de Lavoisier** (ici tirées de l'édition de 1862, Wikisource)

En unités actuelles un pouce cubique vaut  $19,8 \text{ cm}^3$ , une ligne à peu près  $0,2 \text{ cm}$ , un pouce  $2,7 \text{ cm}$ , un grain  $5,33 \text{ cg}$ , une once  $30,6 \text{ g}$ .

Données concernant le mercure :

Température d'ébullition :  $357^\circ$  , Température de fusion :  $-39^\circ$  , masse volumique :  $13,6 \text{ g/cm}^3$

Symbole chimique : *Hg* (vient du latin : *Hydrargyrum*, argent liquide), nom ancien : vif argent

Toxicité : très toxique à l'ingestion et à l'inhalation

Données concernant l'oxygène : symbole *O*, forme gazeuse  $O_2$  (dioxygène)

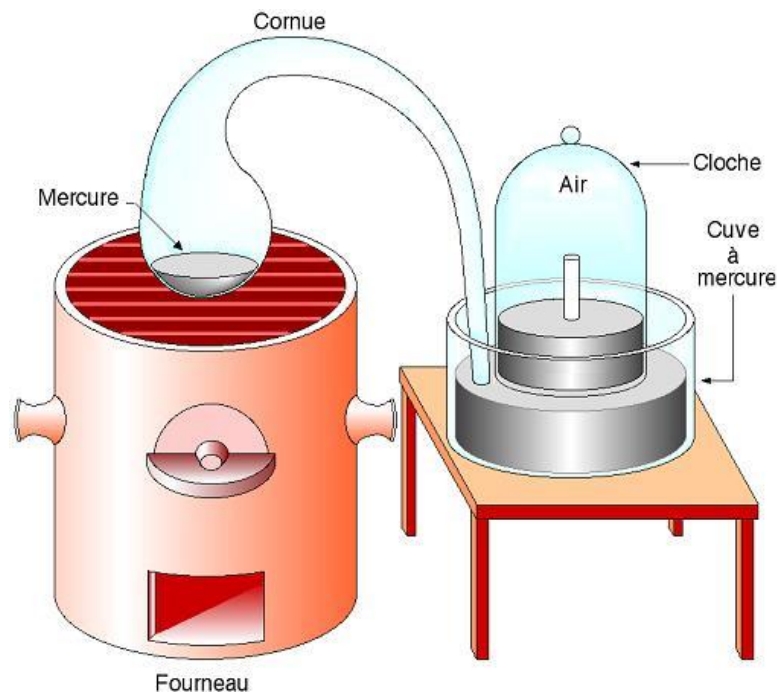
## QUESTIONS :

- 1) A partir de l'extrait 5, déterminer la température à laquelle Lavoisier a conduit sa première expérience
- 2) Dans quel état se trouve le mercure à cette température ?

Une cornue fait partie de la verrerie utilisée en chimie. En voici un exemple :



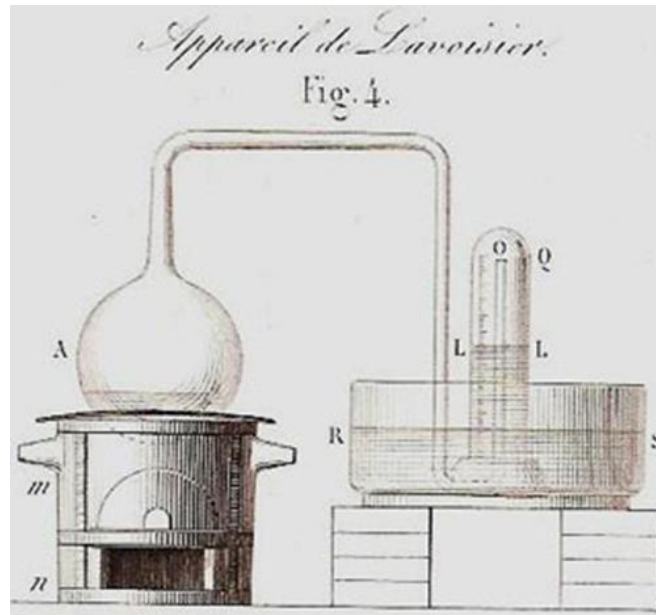
- 3) Déduire de l'extrait 1 une estimation en  $\text{cm}^3$  du volume de la cornue (matras) employée par Lavoisier ainsi que du diamètre du ballon à col, à partir duquel elle avait été conçue.
- 4) Déduire de l'extrait 2 la masse de mercure introduite par Lavoisier dans la cornue
- 5) Dessiner sur le schéma ci-dessous les cristaux de mercure qui sont apparus au cours de la première expérience.



- 6) Au bout de combien de jours les cristaux de mercure ont-ils cessé de s'accroître ?
- 7) A quelle température environ a été chauffé le mercure de la cornue pendant les douze jours de la première expérience ?
- 8) A quoi a servi le mercure dans la cuve ? A-t-il joué le même rôle que le mercure dans la cornue ?
- 9) Pourquoi le niveau de mercure dans la cloche n'était-il pas le même que le niveau de mercure dans la cuve ?
- 10) Pourquoi Lavoisier n'a-t-il pas mis de l'eau dans la cuve à la place du mercure ?

11) Pourquoi l'expérience de Lavoisier ne peut-elle plus être réalisée dans les écoles ?

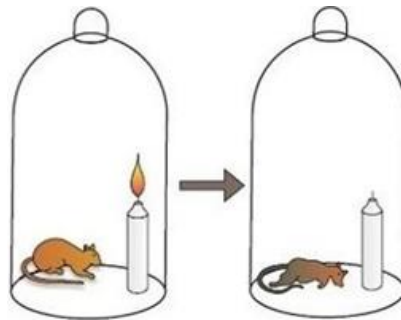
On suppose qu'au début de la première expérience, le dispositif avait l'allure donnée par le dessin ci-dessous, le niveau de mercure étant au repère L (l'allure du dispositif est un peu modifiée)



12) Représenter sur le dessin le niveau de mercure tel qu'il était 12 jours plus tard par une paire de lettres L' L'

13) Le volume de gaz emprisonné dans la cloche avait-il augmenté ou diminué entre le début et la fin de l'expérience ?

14) Lavoisier souleva la cloche remplie de l'air restant après les douze jours d'expérience et fit deux constatations. Rappeler ces constatations



15) Quel nom donna Lavoisier à l'air résiduel de la cloche en fin de première expérience ?

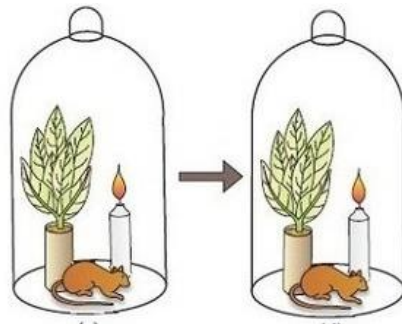
16) Déduire de l'extrait 5, la proportion de cet air résiduel par rapport à l'air initial et comparer avec ce que vous savez de la composition de l'air aujourd'hui

Lavoisier a extrait les cristaux de mercure (oxyde mercurique) obtenus au terme des douze jours de la première expérience et conduit une seconde expérience.



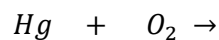
Cristaux d'oxyde mercurique

- 17) En lisant l'extrait 7, expliquez les observations faites par Lavoisier sur le gaz obtenu en chauffant les cristaux de mercure obtenus dans l'étape précédente après les avoir séparés du mercure restant

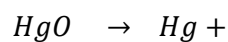


- 18) Relever un terme dans l'extrait 7 qui prouve que dans cette seconde expérience, la température de chauffage a été bien plus élevée que la température d'ébullition du mercure  
 19) Comment Lavoisier a-t-il nommé le gaz issu de la transformation des cristaux de mercure par chauffage à très haute température ? Qui avait expérimenté ce fait avant lui ?  
 20) Que désigne en termes modernes le terme de mofète ?  
 21) Quels sont les deux fluides élastiques dont parle Lavoisier dans l'extrait 10 et dans quelles proportions en volume se trouvent-ils dans l'air ?  
 22) Résumez en termes modernes par des équations chimiques en les complétant et en les équilibrant les transformations chimiques à l'œuvre dans les deux expériences

Première expérience : à la température d'ébullition du mercure soit :            °



Deuxième expérience : à une température bien plus élevée



- 23) Avec les connaissances modernes, indiquer si l'air est composé seulement de deux gaz distincts. Si non, donner le nom des autres gaz par ordre d'abondance.

Corrigé :

1) L'extrait 5 fait référence à une température de  $10^{\circ}$ . Ce doit être la température de la pièce. Le chauffage central n'existant pas à cette époque (il fallait brûler du bois dans une cheminée pour se chauffer) on peut penser que l'expérience a été faite à une période froide, donc probablement en hiver.

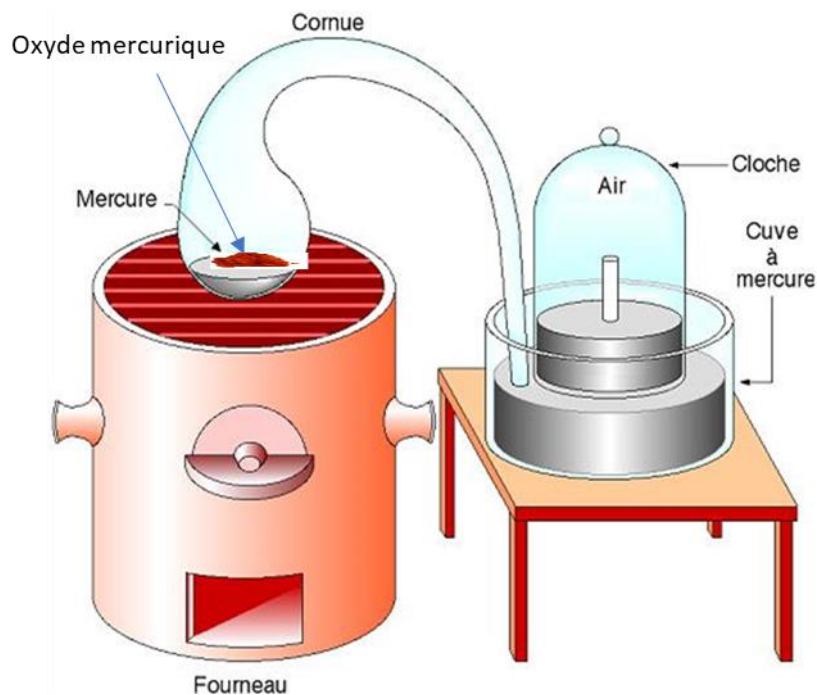
2) A la température de  $10^{\circ}$  C, le mercure est à l'état liquide.

3) Dans l'extrait 1 il est dit que le matras utilisé pour fabriquer la cornue avait un volume de 36 pouces cubiques et un pouce cubique correspond à  $19,8 \text{ cm}^3$ . Il faut donc convertir. On peut faire un tableau de proportions ou simplement multiplier  $19,8 \times 36 = 712,8 \text{ cm}^3$  ce qui fait à peu près 0,7 L.

Quant au diamètre du col, il est fait mention dans l'extrait 1 d'une grosseur de 6 à 7 lignes (comprendre grosseur = diamètre). Ainsi, sachant qu'une ligne correspond à 0,2 cm, cela fait un diamètre de  $6 \text{ à } 7 \times 0,2 = 1,2 \text{ à } 1,4 \text{ cm}$ .

4) Dans l'extrait 2, Lavoisier écrit avoir introduit 4 onces de mercure dans le matras et une once correspond à 30,6 g. La masse de mercure introduite était donc de  $4 \times 30,6 = 122,4 \text{ g}$ .

5)



6) Après 5 jours les cristaux ont cessé de grossir.

7) Le mercure a été chauffé à sa température d'ébullition soit  $357^{\circ}$  pour cette première expérience ceci afin qu'il s'évapore et puisse réagir avec l'oxygène de l'air (non encore mis en évidence, c'est le but précisément de l'expérience).

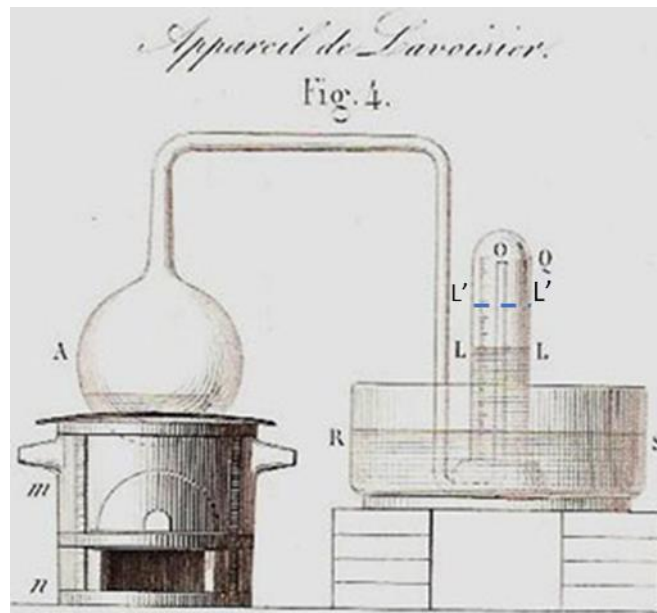
8) Le mercure de la cuve permet de retenir l'air qui se trouve dans la cloche. Il sert ainsi de bouchon.

9) Lavoisier explique dans l'extrait 2 qu'il a siphonné une partie de l'air de la cloche le mettant ainsi en dépression ce qui a eu pour effet de faire monter le niveau de mercure jusqu'au repère LL. Cette opération a donc eu pour but de mettre le mercure à un niveau de référence dans la cloche de façon à pouvoir mesurer facilement par la suite, la variation de volume de l'air de la cloche.

10) Mais pourquoi ne pas avoir mis de l'eau sous la cloche ? Ceci semble plus énigmatique. L'eau aurait-elle risqué de s'évaporer au contact de l'air de la cloche rendu chaud ? Ou bien plus simplement, l'eau aurait-elle risqué de dissoudre des gaz qui se seraient pu se former ? En effet, on sait par exemple que le dioxyde de carbone peut se dissoudre partiellement dans l'eau mais pas dans le mercure.

11) Le mercure est très toxique par inhalation et ingestion. Il est probable que Lavoisier en aurait été victime précocement s'il n'avait eu la tête coupée pendant la Révolution française.

12)



13) Le volume emprisonné dans la cloche avait diminué au cours de l'expérience.

14) Dans l'extrait 6, Lavoisier précise que les animaux qu'on y introduisait (dans l'air de cloche) en fin d'expérience 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. »

15) Lavoisier donna à l'air de la cloche obtenu en fin de première expérience le nom d'azote, composé du préfixe privatif a- et de zote qui signifie la vie, soit littéralement air privé de vie.

16) On déduit de l'extrait 5 que la diminution de l'air sous la cloche, mesurée entre les repères LL et L'L' a été 50 – 42 à 43 soit 7 à 8 pouces cubiques pour 50 pouces cubiques d'air contenu dans le dispositif (cornue + cloche). Il est donc parti une proportion d'air de 14 à 16 %. L'azote est donc dans la proportion complémentaire, à savoir 84 à 86 %, ce qui est surévalué par rapport à ce que

l'on sait aujourd'hui, la proportion d'azote, que l'on nomme désormais diazote, dans l'air étant de 78 %.

17) Dans l'extrait 7, Lavoisier parle « d'un fluide élastique beaucoup plus propre que l'air de l'atmosphère à entretenir la combustion & la respiration des animaux ». Ce gaz est l'oxygène qui est à nouveau libéré à très haute température des cristaux d'oxyde mercurique dans lesquels il avait été piégé par le mercure à plus basse température lors de la première expérience.

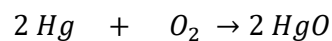
18) Dans l'extrait 7, Lavoisier écrit : « Lorsqu'ensuite la cornue a approché de l'incandescence... ». Or la température de fusion d'un verre comme celui d'une cornue est autour de 1200°C soit bien plus que les 357 °C de la première expérience.

19) Lavoisier a nommé ce gaz oxygène, parce qu'il a observé que ce dernier oxydait les métaux, de façon analogue aux acides.

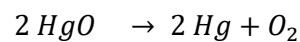
20) La mofète, qui fait référence à un gaz irrespirable comme ceux apparaissant dans les mines est l'azote.

21) Les deux fluides élastiques dont parle Lavoisier sont l'azote et l'oxygène en proportions respectives de 78 % et 21 %, la somme des deux pourcentages ne faisant pas 100 % car l'air contient d'autres gaz plus rares.

22) Première expérience : Le mercure se combine avec le dioxygène de l'air :



Deuxième expérience : L'oxyde mercurique libère le dioxygène gazeux.



23) Non, car l'air contient d'autres gaz plus rares, à savoir par ordre d'abondance, l'argon, le dioxyde de carbone, le néon, etc.