

## Histoire des sciences et enseignement de la chimie

### *Proposition d'introduction d'extraits de textes originaux dans l'enseignement secondaire*

Étude de cas : émergence de la notion d'oxygène  
et ses conséquences immédiates

par Danielle FAUQUE  
GHDSO-Orsay, Lycée Stanislas, Paris

---

#### RÉSUMÉ

*Depuis de nombreuses années, on s'accorde à dire que les textes historiques peuvent présenter un intérêt pour l'enseignement scientifique dans le secondaire. Le petit article qui suit tente d'exprimer cette importance et propose une méthode d'approche de ces textes originaux. Nous avons retenu des pages classiques de Lavoisier mais c'est, nous semble-t-il, la raison principale pour justifier ce choix.*

*Pour illustrer la réforme lavoisienne, pilier de la révolution chimique, nous nous proposons d'étudier quelques extraits de textes montrant la maturation des idées novatrices en choisissant de suivre l'émergence de la notion de l'élément oxygène à partir des premières recherches du savant, en 1772, jusqu'au triomphe de sa théorie chimique en 1787 dont un point fort est l'étude de l'échange de cet élément au cours d'une réaction chimique. La nouvelle théorie est alors proposée aux débutants dans le *Traité élémentaire de chimie paru en 1789.**

L'histoire des sciences peut intervenir à différents niveaux de l'enseignement des sciences physiques. Elle prend plusieurs formes selon l'objectif que l'on se donne. Est-elle informative, culturelle, formatrice, elle requiert pour son propre compte un discours différent du discours scientifique habituellement utilisé en cours de sciences physiques. Un aspect de cette discipline consiste à regarder de près les textes originaux.

Un texte original est un texte de première main sur un sujet nouveau : un découvreur fait le compte-rendu de sa découverte, un théoricien, le récit de la nouvelle théorie qu'il vient d'élaborer, un savant philosophe, l'exposé de ses réflexions. Ce peut être aussi un texte de synthèse, introductif au récit d'une nouvelle découverte rapportée par son auteur. C'est le choix de A. Fresnel au début de son texte sur la diffraction, dans *la lumière* (1822) supplément au traité de chimie de Thomson, de L. de Broglie dans *Ondes, corpuscules, mécanique ondulatoire*, sur les théories de la lumière.

La lecture d'un texte original peut éclairer tout à coup le concept scientifique que l'on étudie ; cependant un texte un peu ancien peut comporter quelques difficultés de vocabulaire, ce qui en rend la lecture immédiate un peu délicate. Un travail préliminaire s'avère nécessaire ; l'établissement d'un glossaire est indispensable. Tous les textes de chimie d'avant la réforme lavoisienne sont dans ce cas, alors que les textes qui suivent peuvent être plus facilement compris. Les textes de Lavoisier traduisent ce passage de l'ancienne à la nouvelle conception de la chimie.

Pour illustrer la réforme lavoisienne, pilier de la révolution chimique, nous nous proposons d'étudier quelques extraits de textes montrant la maturation des idées novatrices en choisissant de suivre l'émergence de la notion d'élément oxygène.

Rappelons d'abord le contexte. La théorie de la combustion la plus largement répandue est celle de G. E. Stahl (1660-1734)<sup>1</sup>. Elle se base sur l'échange de phlogistique au cours d'une réaction chimique. Ce phlogistique ou principe inflammable s'échappe d'une matière qui brûle. Les résidus de la combustion comme les chaux métalliques<sup>2</sup> sont dépourvus de ce principe. Les métaux apparaissent donc comme un mélange de phlogistique et de résidu spécifique. Seul le carbone, riche en phlogistique, peut restituer au résidu métallique le phlogistique perdu pour régénérer le métal.

Si nous comparons avec ce que nous disons aujourd'hui : le métal chauffé s'oxyde à l'air ; l'oxyde formé est réduit par le carbone, la théorie du phlogistique apparaît tout d'abord comme un négatif de la théorie de l'oxydoréduction. La combustion, selon Stahl, apparaît comme une opération de soustraction.

De ce fait, elle ne justifie pas l'augmentation de poids des métaux lorsqu'on les calcine à l'air, pour former des chaux. Diverses interprétations couraient les laboratoires ; aucune n'était satisfaisante ; aucune n'avait cette simplicité de structure qui aurait permis de proposer une interprétation de tous les faits connus. En 1874, Wurtz écrivait à propos de la théorie des atomes pour laquelle il luttait :

«elle prête une simplicité saisissante aux lois concernant la composition des corps, elle donne des aperçus sur leur structure intime, elle intervient dans l'interprétation de leurs propriétés, de leurs réactions, de leurs métamorphoses, elle fournira sans doute, plus tard, des points d'appui à la mécanique moléculaire»<sup>3</sup>.

Cent ans auparavant, Lavoisier s'exprimait de la même façon ; ce qu'il proposait - sa théorie de l'oxygène - permettait d'expliquer de façon plus claire, plus simple et plus générale les faits observés :

«les faits s'arrangent d'une manière si heureuse dans la doctrine moderne, que nous pouvons espérer, même de nos jours, de la voir s'approcher beaucoup du degré de perfection qu'elle est susceptible d'atteindre»<sup>4</sup>.

A l'échelle de l'histoire, cette théorie semble surgir en 1779 lorsque le savant propose de donner le nom d'OXYGÈNE au principe constitutif de l'air vital. En fait, la naissance de ce concept s'est faite doucement de 1772 à 1779 pour s'imposer à partir de 1787 et être consacrée en 1789 ; la parution, cette année-là, du **Traité élémentaire de chimie** tournait définitivement la page de l'ancienne chimie. Essayons d'illustrer cette évolution par quelques extraits de textes.

Le 3 juillet 1773, Lavoisier présente à l'Académie des Sciences un petit ouvrage, *Opuscules physiques et chimiques*, qui regroupe toutes ses observations sur les différents «airs». Au chapitre V, il parle d'un fluide élastique fixé dans les chaux métalliques. Il montre son existence au cours d'une suite de six expériences minutieusement décrites et dont les résultats sont rapportés. Il s'agit d'étudier l'évolution d'un mélange de minium<sup>5</sup> et de charbon à l'abri de l'air et à chaud. Lavoisier montre successivement que le fluide dégagé ne provient ni du minium seul, ni du charbon seul, mais de leur «réunion»<sup>6</sup>. Il conclut son exposé en esquissant une théorie chimique. Il essaie d'interpréter le phénomène dont il soupçonne le mécanisme :

«S'il est permis de se livrer aux conjectures, ... j'ajouterais que la substance fixée<sup>7</sup>, et qui en augmente le poids<sup>8</sup>, ne serait

pas, à proprement parler, dans cette hypothèse, un fluide élastique<sup>9</sup>, mais la partie fixe d'un fluide élastique qui a été dépouillé de son principe inflammable<sup>10</sup>. Le charbon alors, ainsi que toutes substances charbonneuses employées dans les réductions, aurait pour objet principal de rendre au fluide élastique fixé le phlogistique<sup>11</sup>, la matière du feu, et de lui restituer en même temps l'élasticité qui en dépend<sup>12</sup>.

Néanmoins il reste prudent. Il tente encore de concilier la théorie du phlogistique avec les faits, compte-tenu de quelques modifications.

Mais il poursuit ses expériences. Lorsque le 12 novembre 1777, il présente un mémoire sur la combustion des chandelles dans l'air atmosphérique, le ton a changé, il tient sa vérité et il combat (c'est son propre terme) «la doctrine de Stahl» dont Priestley est un brillant adepte. C'est bien en termes de combat qu'il infirme, l'une après l'autre, les assertions du savant anglais, lequel avait été le premier à identifier formellement le gaz oxygène sous le nom d'air déphlogistiqué, le 1<sup>er</sup> août 1774. En particulier, Lavoisier montre la contradiction que contient en soit la théorie du phlogistique lorsqu'on veut interpréter la combustion des chandelles dans le gaz oxygène pur :

«Il suit de là que, lorsqu'on introduit une bougie dans une cloche<sup>13</sup> qui contient cent parties d'air pur, ou air éminemment respirable<sup>14</sup>, soixante six sont converties en air fixe ou acide crayeux<sup>15</sup>, que des trente quatre parties restantes, vingt et une un quart sont encore dans l'état d'air pur, et susceptibles d'être converties en acide crayeux aériforme<sup>16</sup> ; enfin qu'il ne reste des cent parties que douze trois quarts, c'est-à-dire, environ un huitième d'un air qui éteint les bougies sans précipiter l'eau de chaux et qui paraît être une portion de mofette atmosphérique<sup>17</sup> que contenait l'air pur ou déphlogistiqué ; sans doute cette portion est d'autant moindre que l'air était plus pur.

Il est aisé de sentir combien ces dernières expériences sont éversives<sup>18</sup> de l'opinion de M. Priestley sur la phlogistication de l'air<sup>19</sup> par la combustion ; en effet, si comme le prétend ce célèbre physicien, la combustion avait la propriété de phlogistiquer l'air, il devrait se former d'autant plus d'air phlogistiqué que la quantité de matière brûlée aurait été plus considérable ; or, à volume égal d'air, la combustion est presque quadruple dans l'air pur que dans l'air atmosphérique ; il devrait donc se former quatre fois plus d'air phlogistiqué, tandis qu'au contraire on en obtient

neuf fois moins ; la disproportion de ce qu'on a avec ce qu'on devrait avoir, suivant l'opinion de M. Priestley, est donc dans la rapport de 1 à 36»<sup>20</sup>.

Enfin, à la fin de 1777, Lavoisier précise publiquement les points principaux de sa théorie chimique. Le gaz qui constitue une partie de l'air de l'atmosphère contient un principe essentiel, un principe acidifiant, auquel il donne le nom de principe OXYGÈNE (qui engendre l'acide). Ce principe, Lavoisier le pense être commun à tous les acides (l'avenir lui donnera tort sur ce point, l'acide muriatique deviendra grâce à Davy, de l'acide chlorhydrique qui ne contient pas d'élément oxygène) :

«...je désignerai dorénavant l'air déphlogistiqué ou air éminemment respirable dans l'état de combinaison et de fixité, par le nom de principe acidifiant, ou, si l'on aime mieux la même signification sous un mot grec, par celui de principe **oxygène**, cette dénomination sauvera les périphrases, mettra plus de rigueur dans ma manière de m'exprimer, et évitera les équivoques dans lesquelles on serait exposé à tomber sans cesse, si je me servais du mot d'air. Ce nom en effet, d'après les découvertes modernes, est devenu un mot générique, et qui s'applique d'ailleurs à des substances dans l'état d'élasticité, tandis qu'il est ici question de les considérer dans l'état de combinaison, et sous la forme liquide ou concrète.

Sans répéter les détails que j'ai donnés par ailleurs, je rappellerai ici en peu de mots, en adoptant ce nouveau langage...

2° Que ce même principe acidifiant ou oxygène, combiné avec les substances charbonneuses ou le charbon, forme l'acide crayeux ou air fixe ;

3° Qu'avec le soufre, il forme l'acide vitriolique ;

4° Qu'avec l'air nitreux, il forme l'acide du nitre ;

5° Qu'avec le phosphore de Kunckel<sup>21</sup>, il forme l'acide phosphorique ;

6° Qu'avec les substances métalliques en général, il forme les chaux métalliques, sauf les exceptions dont je parlerai dans ce mémoire ou dans les suivants.

Voilà à peu près à quoi se bornent, dans ce moment, les connaissances générales acquises sur la combinaison du principe oxygène avec les différentes substances de la nature, et qu'il n'est pas difficile de voir qu'il reste, à cet égard, le champ le plus

vaste à parcourir ; qu'il existe une partie de la chimie toute nouvelle et entièrement inconnue jusqu'à ce jour, et qui ne sera complète que lorsqu'on sera parvenu à déterminer le degré d'affinité de ce principe avec toutes les substances avec lesquelles il est susceptibles de se combiner, et à connaître les différentes espèces de composés qui en résultent»<sup>22</sup>.

Voilà tout un programme de recherches pour les générations futures ! Cette fois, la nouvelle chimie est fondée. Elle acquiert un nouveau langage dont le nom OXYGÈNE (oxygène ne sera pas gardé longtemps) est un des premiers exemples.

Convaincre les contemporains et surtout former les nouveaux adeptes, ne peut se faire de façon définitive qu'en rompant avec le passé. La révolution chimique s'amorce donc d'abord par la révolution du langage.

Une tentative de réforme avait été proposée par Guyton de Morveau en 1782 mais, maladroite et trop conciliante envers le vocabulaire traditionnel, elle ne fut pas acceptée par le public. Lavoisier, Guyton de Morveau, Berthollet, et Fourcroy publient en 1787 un ouvrage intitulé *Méthode de nomenclature chimique*, dans lequel ils proposent un nouveau langage, systématique, élaboré sur des racines grecques, répondant aux critères que Condillac avait édictés pour définir une science.

«L'impossibilité d'isoler la Nomenclature de la science et la science de la Nomenclature, tient à ce que toute science physique est nécessairement formée de trois choses : la série des faits qui constituent la science ; les idées qui les rappellent ; les mots qui les expriment. Le mot doit faire naître l'idée ; l'idée doit peindre le fait ; ce sont trois empreintes d'un même cachet ; et comme ce sont les mots qui conservent les idées et qui les transmettent, il en résulte qu'on ne peut perfectionner le langage sans perfectionner la science, ni la science sans le langage, et que quelque certains que fussent les faits, quelque justes que fussent les idées qu'ils auraient fait naître, ils ne transmettraient encore que des impressions fausses, ni nous n'avions pas des expressions exactes pour les rendre»<sup>23</sup>.

Le *Traité élémentaire de chimie* (1789) consacrait la nouvelle chimie. Le discours préliminaire explique longuement la méthode suivie et surtout le rôle de la nouvelle nomenclature pour les faits et les

substances. Comme le titre l'indique il s'agit d'un traité donnant les éléments de la chimie ; destiné essentiellement aux commençants et aux nouveaux adeptes, il se veut clair, concis, précis. Lavoisier va procéder du connu vers l'inconnu, ne déduira aucune conséquence qui ne dérive immédiatement des faits, afin que le lecteur ou l'élève puisse commodément suivre le propos. Il introduit peu à peu le nouveau langage pour opter définitivement pour celui-ci à partir du chapitre IV. Le chapitre VII, «de la décomposition du gaz oxygène par les métaux, et la formation des oxydes métalliques», opte résolument pour la modernité :

«Les anciens ont donné le nom de chaux, non seulement aux métaux amenés à cet état, mais encore à toute substance qui avait été exposée longtemps à l'action du feu sans se fondre. Ils ont fait, en conséquence, du mot chaux un nom générique, et ils ont confondu sous ce nom, et la pierre calcaire, qui, d'un sel neutre qu'elle était avant la calcination se convertit, au feu, en un alcalino-terreux en perdant moitié de son poids, et les métaux qui s'associent par la même opération une nouvelle substance dont la quantité excède quelquefois moitié de leur poids, et qui les rapproche de l'état acide. Il aurait été contraire à nos principes de classer sous un même nom des substances si différentes, et surtout de conserver aux métaux une dénomination si propre à faire naître des idées fausses. Nous avons en conséquence proscrit l'expression de chaux métalliques, et nous y avons substitué celui d'**oxydes**...

On voit, d'après cela, combien le langage que nous avons adopté est fécond et expressif : un premier degré d'oxygénation constitue les *oxydes* ; un second degré constitue les acides terminés en *eux*, comme l'acide nitreux, l'acide sulfureux ; un troisième degré constitue les acide en *ique*, tels l'acide nitrique, l'acide sulfurique ; enfin nous pouvons exprimer un quatrième degré d'oxygénation des substances, en ajoutant l'épithète d'oxygéné, comme nous l'avons admis pour l'acide muriatique *oxygéné*.

...Les oxydes métalliques ont, comme nous l'avons déjà fait observer, presque tous des couleurs qui leur sont propres, et ces couleurs varient, non seulement pour les différents métaux, mais encore suivant le degré d'oxygénation du même métal. Nous nous sommes donc trouvés obligés d'ajouter à chaque oxyde deux épithètes, l'un qui indiquât le métal oxydé, l'autre sa couleur... Nous dirons de même oxyde gris de plomb, oxyde jaune de plomb, oxyde rouge de plomb, et ces expressions désigneront la cendre de plomb, le massicot et le minium»<sup>24</sup>.

## CONCLUSION

Ce genre d'approche peut paraître à certains séduisant, à d'autres inadapté dans un enseignement scientifique. Mais si on respecte le texte (règle fondamentale en histoire des sciences) il y a toute liberté de placer des extraits de textes dans telle ou telle circonstance en adaptant le commentaire qui les accompagne. Se constituer un thésaurus de textes fondamentaux, même un peu longs, desquels on extraira, au gré des circonstances et du public, ce qui illustrera le propos, paraît souhaitable. Un travail de bibliographie, de vocabulaire, de recherche en histoire générale des sciences, permettra de replacer le texte choisi dans un contexte plus large, la sensibilité de chacun faisant le reste.

Ne pourrions-nous pas concevoir quelques préambules historiques sur les notions que nous voulons faire passer auprès de nos élèves ; à moins que certains ne préfèrent les garder en quelques sorte pour le dessert<sup>25</sup>, comme un plus à un discours par ailleurs plus axiomatique, ou encore comme un à-côté, un activité complémentaire. Qu'il en soit ce que chacun souhaitera<sup>26</sup>.

*NDLR* : Voir également l'analyse de la publication de D. FAUQUE dans la rubrique «Paru ou à Paraître» de ce même numéro.

## BIBLIOGRAPHIE

Outre ceux déjà cités dans les notes, on pourra consulter avec profit les ouvrages principaux suivants (la liste est loin d'être exhaustive) :

Bernadette BENSAUDE-VINCENT : *À propos de Méthode de Nomenclature chimique ; esquisse historique suivie du texte de 1787*, SFHST, CDSH, in Cahiers d'histoire et de philosophie des sciences nouvelle série, n° 6, 1983. Diffusion Belin.

Georges CUVIER : *Chimie et sciences de la nature : rapport à l'Empereur sur le progrès des sciences, des lettres et des arts depuis 1789*. 1<sup>ère</sup> éd. 1810-1815. Rééd. avec intro. et notes d'Y. Laissus, préface de D. Woronoff (Paris : Belin, 1989).

Maurice DAUMAS : *Lavoisier* (Paris : Gallimard, 1941). *Lavoisier, théoricien et expérimentateur* (Paris : PUF, 1955). Important pour la bibliographie de Lavoisier.

Pierre DUHEM : *Le Mixte et la Combinaison chimique : essai sur l'évolution d'une idée* (Paris : 1902 ; rééd. Fayard, 1985).

Michelle GOUPIL : *Du flou au clair ? Histoire de l'affinité chimique* (Paris : éd. CTHS, 1991).

Hélène METZGER : *Newton, Stahl, Boerhaave et la doctrine chimique*, (Paris : Blanchard, 1930, rééd. 1974). *Les Doctrines chimiques en France du début du XVII<sup>ème</sup> à la fin du XVIII<sup>ème</sup> siècle* (Paris : PUF, 1923).

Isaac NEWTON : *Optique*, trad. par J.-P. MARAT (1787), annoté par F. BALIBAR et M. BLAY (Paris : Ch. Bourgois, 1989).

Michel SERRES : *Éléments d'histoire des sciences* (Paris : Bordas, 1989).

René TATON : *Histoire générale des sciences, t. II : la science moderne* (Paris : PUF, 2<sup>ème</sup> éd. 1969).

## NOTES

1. Georges-Ernest STAHL : médecin, philosophe et chimiste allemand ; de très grande notoriété, il combattit violemment les iatrochimistes qui ordonnaient de violents remèdes chimiques. Son *Traité du soufre* a été traduit par le baron d'Holbach en 1766.
2. Chaux métalliques : oxydes métalliques.
3. A. WURTZ : *Dictionnaire de chimie pure et appliquée*, Hachette, 1874, t. 1, discours préliminaire, p. LXXXVI.
4. A.-L. LAVOISIER : *Traité élémentaire de chimie*, Cuchet, 1789, discours préliminaire, p. xiiij.
5. Minium : oxyde de plomb rouge.
6. A ce stade, Lavoisier ne préjuge pas du type d'action qui se manifeste ici ; le phénomène observé l'est, lorsque les deux substances chimiques sont en présence l'une de l'autre dans les conditions de son expérience.
7. Substance fixée : l'élément oxygène qui avec le plomb a donné l'oxyde.
8. Le gaz oxygène de l'air a oxydé le plomb. La masse de l'oxyde obtenu est supérieure à la masse du plomb de départ. À cette époque, la plupart des chimistes n'accordaient pas d'importance aux quantités de matière mises en jeu lors d'expériences de ce genre. On concevait alors que de la matière pouvait disparaître ou apparaître. La vérification de la conservation des quantités de matières mises en jeu au cours des réactions est la base de la méthode lavoisienne et la clé de sa révolution.

9. Fluide élastique : gaz.
10. Pour Lavoisier, le gaz oxygène est formé de l'élément oxygène et d'un principe impondérable auquel il garde pour le moment l'expression de principe inflammable. Il l'appellera plus tard le calorique. Seul l'élément oxygène se «fixe» au métal lors de la combustion (oxydation).
11. Le rôle du carbone est donc de retirer l'élément oxygène du minium et de lui permettre de retrouver sa nature de gaz. À ce stade, il ne sait pas encore faire la distinction entre les différents gaz mis en jeu dans l'expérience.
12. A.-L. LAVOISIER : *Opuscules physiques et chimiques*, Durand neveu, Didot le jeune, Esprit, 1774, p. 281.
13. Il s'agit ici de l'expérience classique de la combustion de la bougie dans un volume connu de dioxygène aussi pur que possible.
14. Air pur ou éminemment respirable : gaz oxygène (dioxygène).
15. Air fixe ou acide crayeux : gaz carbonique (dioxyde de carbone).
16. Acide crayeux aériforme : gaz carbonique par opposition à un «acide carbonique» qui serait en solution.
17. Mofette atmosphérique : gaz azote de l'air (diazote). Résidu dont on n'a pas pu se débarrasser en préparant le gaz oxygène (dioxygène), à partir de l'air atmosphérique ordinaire, pour l'expérience.
18. Éversives : qui détruisent, qui infirment.
19. Phlogistication de l'air : dans la théorie de Stahl, lors de la combustion, le métal perd son phlogistique, la combustion s'arrête quand l'air est saturé de phlogistique, l'air est alors phlogistiqué (en fait, nous savons qu'il ne reste que du gaz azote - diazote). La théorie du phlogistique a sa logique interne, à condition d'accepter son paradigme ; le parallèle constant avec notre conception de la réaction fausse la dynamique d'interprétation. C'est pour cela, pour en démontrer ici l'insuffisance, que Lavoisier garde les expressions de la théorie du phlogistique ; avec ses définitions spécifiques mais qualitatives, elle est insuffisante à rendre compte du quantitatif. Or, c'est à partir du quantitatif que Lavoisier bâtit sa propre théorie. Les deux théories ne peuvent donc que s'exclure l'une l'autre.
20. A.-L. LAVOISIER : «Mémoire sur la combustion des chandelles dans l'air atmosphérique», *Histoire de l'Académie royale des Sciences pour 1777, avec les Mémoires*, 1780, pp. 195-204.

21. Kunckel, alchimiste, avait isolé le phosphore en 1669. Voir Jean JACQUES : *L'imprévu ou la science des objets trouvés* (Paris : O. Jacob, 1990).
22. A.-L. LAVOISIER : «Considérations générales sur la nature des acides et sur les principes dont ils sont composés», *Histoire de l'Académie royale des Sciences pour 1778, avec les Mémoires*, 1781, pp. 535-537.
23. A.-L. LAVOISIER : *Traité élémentaire de chimie*, Cuchet, 1789, discours préliminaire, pp. vj-vij.
24. Ib. chp. VII, p. 83.
25. Les extraits qui sont ici proposés font partie de textes beaucoup plus longs étudiés avec des étudiants en école d'ingénieurs chimistes, avec des étudiants de première année de DEUG A à Paris XI-Orsay. Un essai a été tenté il y a deux ans avec les classes de première littéraire puis avec une classe de seconde en fin d'année scolaire, comme récréation en quelque sorte. La curiosité a été manifeste et a largement débordé l'étude stricte de ces extraits de textes : comment manipulait-on, avec quelle précision, que connaissait-on comme substances chimiques, enfin, bien sûr, qui était Lavoisier ?
26. Cette étude a été réalisée d'après un thésaurus de textes : *La révolution chimique t. 1, Lavoisier*, par D. FAUQUE, Collection Pages choisies, sous la direction du Professeur Paul BROUZENG, GHDSO, Université d'Orsay éd. Paris XI-Orsay, 1991.