

De l'alchimie de l'antiquité à la chimie de Lavoisier

(en référence aux nouveaux programmes de quatrième)

par A. LAUGIER
IUFM, 33200 Bordeaux

RÉSUMÉ

Les nouveaux programmes de chimie de la classe de quatrième font explicitement référence à des éléments d'histoire des sciences : Découverte du dioxyde de carbone, décomposition et analyse de l'eau. L'objectif visé étant de «prendre conscience du caractère évolutif des connaissances scientifiques».

L'article, à partir d'informations apportées sur l'histoire des sciences, propose quelques pistes de réflexion sur l'élaboration des connaissances scientifiques, et sur la relation entre le fait expérimental et la théorie.

1. INTRODUCTION

L'histoire des sciences ne fait pas partie jusqu'à présent des contenus de formation disciplinaire en sciences physiques. Les nouveaux programmes de chimie de quatrième y font (timidement encore !) référence. Le moment est donc bien venu pour s'interroger : Quel intérêt y a-t-il à introduire des éléments d'histoire des sciences dans notre enseignement ? La didactique a-t-elle quelque chose à attendre de cette introduction ?

L'enseignement scientifique, tel qu'il fonctionne aujourd'hui, repose sur ce que Joshua¹ appelle le mythe de l'inductivisme. C'est l'idée que la mise en évidence des lois physiques «découle» de l'observation du fait expérimental et de la mesure. Derrière cette idée il y a la

1. S. Joshua et J.J. Dupin (1989). «Représentations et modélisations : le débat scientifique dans la classe». Berne : P. Lang.

croissance que la vérité scientifique, la Connaissance est contenue dans le fait expérimental et que le rôle du physicien est d'extirper cette vérité par une observation bien conduite. Une autre caractéristique de notre enseignement scientifique est qu'il présente, de fait, aux élèves, une vision cumulative et linéaire de la construction du savoir. Celle-ci s'effectuerait régulièrement, au fur et à mesure que se déroule l'activité scientifique.

C'est par rapport à ce constat qu'il convient d'interroger l'histoire des sciences c'est-à-dire distinguer l'utilisation proprement didactique de l'histoire des sciences des tentatives de légitimation culturelle des sciences par le biais de l'Histoire.

La chimie moderne ne s'est pas construite à la fin du XVIII^{ème} siècle sur un terrain vierge. Des techniques, des pratiques instrumentales, mais aussi des constructions théoriques, existaient et il faut regarder comment ces conceptions et ces pratiques ont servi de terreau au développement des idées de Lavoisier.

Le propos n'est pas d'établir une chronique des origines de la Chimie mais plutôt de mettre l'accent sur l'évolution des idées en Chimie aux XVII^{ème} et XVIII^{ème} siècles. C'est pourquoi nous nous limiterons à l'émergence du concept de gaz comme état de la matière, à l'interprétation des phénomènes de combustion dans l'air, (et à son corollaire la composition de l'air avec la caractérisation des gaz qui sont cités ou étudiés dans le programme de quatrième : le gaz oxygène, le gaz azote, le gaz hydrogène et le gaz carbonique), à l'analyse et à la synthèse de l'eau.

2. L'ÉTAT DES CONNAISSANCES ET DES THÉORIES EN CHIMIE AU MILIEU DU XVIII^{ème} SIÈCLE

2.1. L'apport de l'Antiquité

Dans le souci de circonscrire le sujet nous ne parlerons pas ici de l'apport de la chimie pratique, fruit de l'empirisme, héritée de l'utilisation du feu et des travaux de métallurgie. Cet apport n'est pas négligeable mais nous avons choisi de nous limiter à l'étude de l'évolution des idées et de ce fait nous ne parlerons que des « constructions intellectuelles » qui ont pu par la suite influencer l'élaboration des théories chimiques. Lorsque le scientifique du XX^{ème} siècle étudie les idées émises par les philosophes Grecs, il doit être prudent car la tentation est grande de vouloir y trouver les prémisses des idées

modernes qui se sont imposées, avec difficultés, deux mille ans plus tard. Parmi les conceptions sur la nature de la matière dans l'Antiquité trois conceptions dominent :

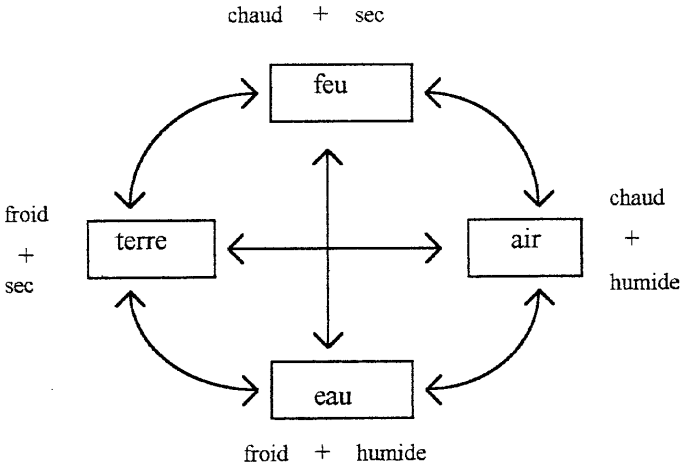
La conception atomiste

Due à Leucippe et surtout à son élève Démocrite (IV^{ème} et III^{ème} siècle avant J.-C.). La matière est constituée de particules indivisibles, qui ne diffèrent que par leur forme. C'est cette forme qui explique les sensations du goût (des particules pointues donnent une sensation piquante, des particules sphériques une sensation sucrée), les odeurs, et les propriétés (les particules pointues des acides expliquent pourquoi ceux-ci peuvent attaquer les métaux). Ce type de raisonnement perdurera jusqu'au XVII^{ème} siècle (Nicolas Lémery dans son célèbre *Cours de Chymie* publié en 1690 explique² «*je ne crois pas que l'on me conteste que les particules d'acide n'aient des pointes... il ne faut que le goûter pour tomber dans ce sentiment, car il fait des picotements sur la langue*»).

Cet atomisme, coupé de la notion d'élément, est en fait très éloigné de celui que Dalton proposera au début du XIX^{ème} siècle.

La théorie des quatre éléments

Une des formes les plus élaborées est celle proposée par Aristote (IV^{ème} siècle avant J.-C.).



2. Cité par Massain (1952, p. 93)

Pour Aristote si les transformations de matière observées sont possibles c'est qu'il existe un même substrat matériel. Pour que ce même substrat matériel puisse prendre toutes les formes possibles il lui associe des «qualités» groupées par deux. (froid - sec, chaud - sec, etc.).

Pour changer un élément en un autre il faut changer une qualité ou les deux.

Cette théorie a le mérite de proposer une organisation de la matière avec des règles de transformation. Mais la notion d'élément qui y est attachée est très éloignée elle aussi de notre notion d'élément chimique telle qu'elle s'est constituée aujourd'hui. Elle est bien représentative des conceptions pré-scientifiques qui vont persister jusqu'à la révolution des idées de la fin du XVIII^{ème} siècle, basée sur la définition de concepts précis notamment celui d'élément (Il faudra attendre les travaux de Lavoisier pour renoncer à l'idée que l'eau peut se changer en terre).

Le caractère indestructible de la matière

Pour Thalés (VII^{ème} siècle avant J.-C.) «*Rien ne vient de rien*», pour Anaxagore (VI^{ème} siècle avant J.-C.) «*rien ne naît ou n'est détruit, mais il y a mélange et séparation des choses qui sont*».

Il peut être tentant de rapprocher ces expressions du célèbre «*rien ne se perd rien ne se crée*» attribué à Lavoisier³. Mais le sens profond est très différent. De ces conceptions des premiers penseurs Grecs naîtra l'idée d'une permanence intrinsèque dans la matière, et qu'il est possible par exemple de changer un métal en un autre en changeant seulement l'apparence des choses (la couleur).

2.2. L'apport de l'Alchimie (jusqu'à la fin du XVI^{ème} siècle)

L'alchimie occidentale peut être divisée en deux branches principales, chacune ayant contribué à des degrés divers, sur le plan conceptuel ou sur le plan expérimental, à l'élaboration de la chimie moderne.

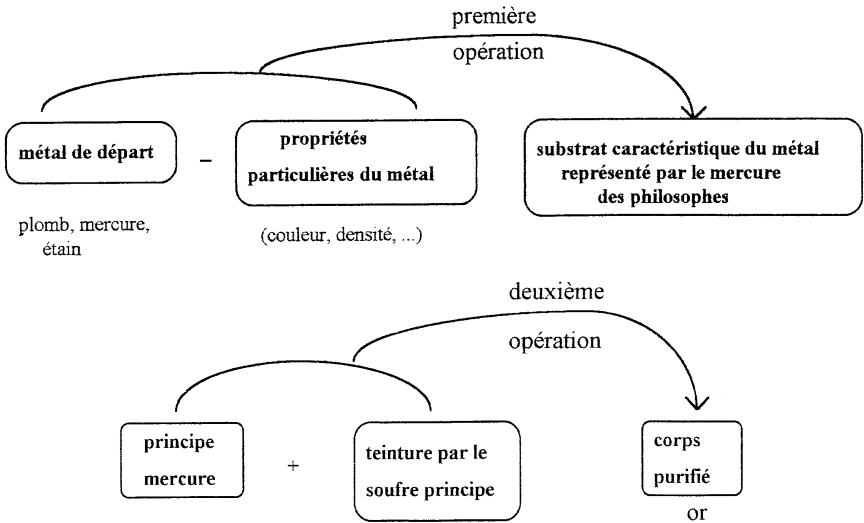
3. En fait cette idée de la conservation de la matière dans les transformations sera formulée bien avant Lavoisier et en particulier par Jean Rey en 1630 : «*la pesanteur est si étroitement jointe à la première matière des éléments, que se changeant de l'un en l'autre, ils gardent toujours le même poids, ... Le poids que chaque portion de matière prend au berceau, elle le portera jusqu'à son cercueil*». Cité par Massain (1952, p. 81).

Les conceptions alchimistes et les pratiques expérimentales

La première branche de l'Alchimie, aristotélicienne, a développé les applications de la théorie antique des quatre éléments à la transmutation des métaux. C'est la tendance expérimentale, pré-chimique et relativement rationnelle. Toutes les choses sont constituées à partir d'un même substrat de base, et ne diffèrent les unes des autres que par des caractéristiques de «forme» (couleur, densité, malléabilité...). A cette théorie des éléments, l'alchimie a ajouté la notion de «principe» :

- le principe soufre principe de la combustibilité (possédé à des degrés divers par tous les corps qui peuvent brûler),
- le principe mercure caractéristique de la propriété métallique (les métaux en fusion peuvent prendre son aspect).

L'alchimiste pensait qu'en modifiant la «forme» il pouvait réaliser la transmutation qui devait se faire en deux étapes selon le processus :



Ayant pour but principal la transmutation métallique elle utilisa et perfectionna des appareils pour la chimie : les fours de fondeurs et de verriers, l'aludel (appareil à distiller en verre épais), l'alambic, la cornue. Cette «chimie du Moyen-Âge» a construit un corpus considéra-

ble d'expériences et de techniques. Les connaissances acquises concernent surtout les métaux :

- techniques de métallurgie : fusion, alliages,
- techniques de purification : distillation, filtration, cristallisation, bain-marie,
- action des acides oxydants (sulfurique, nitrique) et construction d'une échelle d'inaltérabilité.

Mais il n'y a pas de théorie organisée pour lier les nombreux faits expérimentaux accumulés depuis des siècles.

C'est au XVI^{ème} siècle qu'apparaît avec l'oeuvre de Paracelse un souci nouveau qui s'attache à mettre en relief les aspects naturalistes et médicaux de l'alchimie. La *spagirie*, «l'art qui sépare et qui unit», à l'origine de la chimie moderne, va se développer au XVII^{ème} siècle à partir de recherches médicales et pharmaceutiques iatrochimiques, c'est-à-dire des applications de la chimie à la guérison des maladies.

Au XIX^{ème} siècle les travaux de Lavoisier sur le caractère indécomposable des métaux, et l'avènement de la théorie des corps simples, vont peu à peu nier dans son principe la théorie alchimique de la transmutation. Celle-ci va perdre ses adeptes progressivement.

La philosophie alchimiste

Elle a été développée par la seconde branche de l'alchimie qui conçoit le monde comme un vaste système animé : elle a cherché les relations entre la vie des métaux et l'âme universelle. C'est la voie traditionnellement la plus suivie par les maîtres de l'alchimie occidentale. Cette seconde branche, principalement philosophique et mystique, avait pour but l'élaboration de la «pierre philosophale».

Contrairement à une idée très répandue l'alchimiste n'avait pas pour but de s'enrichir en transformant le plomb en or ! (nous ne parlons évidemment pas ici des nombreux charlatans qui sous couvert d'alchimie ont cherché à exploiter la crédulité des gens).

Pour l'alchimiste, la Connaissance a été donnée aux hommes par le dieu Hermès, ce qui lui confère un caractère sacré. De ce fait pendant la réalisation de son "Oeuvre" l'alchimiste à travers la transmutation du "vil plomb" en or essaie en réalité de transformer et de purifier son âme. Comme le souligne Bachelard⁴ «*l'alchimie tout bien considéré n'est pas tant une initiation intellectuelle qu'une initiation morale...*» dans laquelle «*l'expérience psychologique accompagne l'expérience matérielle*».

2.3. L'apport de la Renaissance (jusqu'au XVII^{ème} siècle)

L'alchimie subit l'influence de la révolution qui affecte les idées littéraires (Rabelais, Ronsard) ; artistiques (Michel Ange, Léonard de Vinci) ; religieuses (Luther, Calvin) et scientifiques (Copernic). Cette influence se traduit par le développement, aux côtés de l'alchimie traditionnelle :

- d'une chimie au service de l'homme : Paracelse, Van Helmont pour la fabrication de médicaments ; Agricola pour la technique minière ; Palissy pour la technique des émaux et de la céramique,
- d'une chimie expérimentale dans laquelle le recours à l'expérimental sert de support à une théorisation.

Jean Baptiste Van Helmont (1577-1644) et la chimie des gaz

C'est lui qui révèle l'existence de corps impalpables, pour lesquels il crée le mot «gaz». La cuve à eau étant inconnue (mise au point par Hales vers 1720), il ne peut pas toujours les récupérer mais c'est lui qui établit l'origine du «gaz sylvestre» (notre dioxyde de carbone) en montrant que c'est le même gaz qui résulte de la combustion du charbon de bois (d'où le nom), de l'action du vinaigre sur les pierres calcaires, ou de la fermentation de l'alcool : «*cet esprit jusqu'ici inconnu je l'appelle gas*». Outre ses travaux sur les gaz il réalise «l'expérience cruciale» destinée à prouver que l'eau peut se changer en terre (expérience du saule)⁵. Cette expérience impressionna ses contempo-

4. G. Bachelard (1938) ; «*la formation de l'esprit scientifique : contribution à une psychanalyse de la connaissance objective*». Paris : Vrin.

5. Van Helmont plante dans une caisse de 200 livres de terre un saule de 5 livres. Il l'arrose pendant cinq ans avec de l'eau de pluie filtrée (pour éliminer les «terres» dissoutes). Au bout de cinq ans le saule pèse 169 livres, le poids de la terre n'ayant pas varié Van Helmont en conclura que c'est l'eau qui s'est changé en substances solides (bois, racines, etc.).

rains et notamment Boyle qui distillant de l'eau de pluie dans des récipients en verre observa un dépôt de «terre» au fond du récipient !

Il met également en évidence «*l'espèce d'air*» qui se dégage par action des acides sur le fer et le zinc. (Il s'agit du gaz hydrogène que Cavendish découvrira et caractérisera un siècle plus tard sous le nom «d'air inflammable»).

Il est intéressant de noter que pour Van Helmont et la plupart des chimistes du XVII^{ème} l'air n'est pas un gaz comme le gaz sylvestre mais le «*lieu où se rendent les gaz*». Pour lui «*l'air a été créé pour servir de réceptacle aux exhalaisons. C'est pourquoi il est nécessaire qu'il y ait du vide entre ses pores*»⁶.

Arrêtons nous un instant sur cette image de l'air - éponge et de son corollaire l'existence de «pores» très souvent utilisée pour rendre compte de phénomènes physico-chimiques. Comme le souligne justement Bachelard⁷, «*ce leitmotiv de l'explication préscientifique*» constitue un bel exemple d'obstacle verbal au développement de la pensée scientifique. Bachelard cite par exemple Réaumur en 1731, qui dans un mémoire de l'Académie Royale des Sciences, répond à une argumentation développée par Mariotte un demi siècle plus tôt à propos de la dissolution de l'air dans l'eau (Mariotte avait assimilé la dissolution de l'air dans l'eau à celle d'un sel). Réaumur s'appuie lui aussi sur l'image de l'éponge : «*une idée assez ordinaire est de regarder l'air comme du coton, comme de la laine, comme de l'éponge, et beaucoup plus spongieux que tous les autres corps ou assemblages de corps auxquels on peut le comparer*». Cette image, reprise par exemple par Jean Rey, constitue un obstacle dans la mesure où celui qui l'utilise s'appuie ensuite sur les propriétés de l'image, (l'éponge), pour en déduire les propriétés du corps et interpréter le phénomène physico-chimique considéré.

Jean Rey (1582-1645), précurseur de Lavoisier

Périgourdin, médecin de formation, c'est lui qui le premier, dans un ouvrage publié en 1630, fit intervenir l'air dans l'augmentation obser-

6. Les oeuvres complètes de Van Helmont furent publiées en 1648 par son fils Franz Mercurius . Cité par Massain (1952, p.78)

7. ibid 4.

vée du poids d'un métal que l'on calcine. C'est en effet la première fois que l'augmentation du poids est explicitement attribuée à la fixation d'air sur le métal: *«l'augmentation du poids ne vient ni du vase, ni d'aucun principe émané du charbon, ni de l'humidité répandue dans l'air»*.

Mais l'interprétation du phénomène proposée par Jean Rey est erronée : il considère qu'il s'agit d'un phénomène physique, le métal s'imprégnant de particules d'air comme une éponge s'imbibe d'eau.

Nous avons vu (note 3), comment ses travaux le conduisirent également à énoncer le principe de conservation de la matière dont la paternité est traditionnellement attribuée à Lavoisier.

En l'absence de théorie, ces travaux, publiés 150 ans avant ceux de Lavoisier passèrent totalement inaperçus.

Robert Boyle (1627-1691)

Surtout connu des physiciens pour sa loi sur la compressibilité des gaz (1660 soit seize ans avant Mariotte). En 1664 il publie son livre le «Sceptical Chymist» dans lequel il plaide pour une confrontation des théories à l'expérience (après Van Helmont il recourut systématiquement à l'usage de la balance). Les chimistes lui doivent notamment d'avoir précisé la notion d'élément pour la rapprocher de notre conception moderne : *«l'élément est ce qui est indécomposable»*. Mais cette conception correcte restera longtemps sans effet tant sont fortes les images primitives des quatre éléments d'Aristote. Il découvrit l'usage de réactifs pour caractériser les corps, comme par exemple le sirop de violettes qui vire de rouge en milieu acide à vert en milieu basique.

John Mayow (1643-1679)

Élève de Boyle il réalisa de nombreuses expériences très précises sur la consommation de l'air dans les combustions et la respiration des animaux. Il en conclut qu'il y avait deux composants au moins dans l'air, dont l'un intervient dans la combustion et la respiration qu'il appelle «air nitreux», par analogie avec «l'esprit universel» (c'est-à-dire le gaz) qui se dégage en chauffant du «nitre» (nitrate de potassium).

Dans son mémoire publié en 1671 (cent ans avant Lavoisier) il écrit : «...l'expérience démontre qu'une flamme exactement emprisonnée dans une cloche ne tarde pas à s'éteindre, non pas comme on le croit communément par action de la suie qui se produit, mais par privation d'un élément aérien».

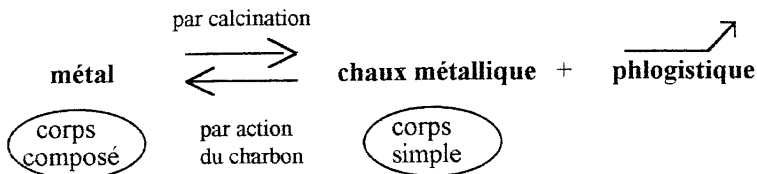
En cette fin du XVII^{ème} siècle à la suite notamment des travaux de Rey et de Mayow on pourrait penser que les chimistes semblent tout près de découvrir le gaz oxygène et son rôle dans les combustions. Il n'en sera rien, les idées exprimées par ces deux chimistes sur le rôle de l'air, si elles constituent une avancée par rapport à celles de leurs contemporains, restent encore éloignées de celles que Lavoisier proposera un siècle plus tard. Si on reconnaît un rôle à l'air, ce rôle est davantage pensé en terme de physique (éponge), mécanique (variation de pression), qu'en terme chimique (union pour former un corps nouveau).

L'opinion dominante à cette époque est que le feu est un élément qui s'échappe des métaux lors de la calcination de ceux ci, et c'est cette idée qui donnera naissance à la théorie du phlogistique qui va dominer tout le XVIII^{ème} siècle jusqu'à Lavoisier.

2.4. L'apport du XVIII^{ème} siècle et la théorie du phlogistique

Cette théorie élaborée par le chimiste allemand Stahl (1660 - 1734), est intéressante car elle fut la première qui proposa une interprétation cohérente des nombreux faits expérimentaux relatifs aux combustions.

L'idée sur laquelle s'appuie cette théorie est qu'un métal qui brûle dans l'air perd quelque chose. La flamme est la matérialisation de la perte de ce principe combustible qui sera pour cette raison appelé phlogistique (du grec phlogiston = combustible). Quand on calcine un métal il perd son phlogistique et il reste une «chaux».



Lorsque cette expérience a lieu en vase clos les chimistes pensent que si la combustion cesse c'est parce que l'air finit par se saturer en

phlogistique (toujours l'idée que l'air ne participe pas à la réaction mais s'imbibe comme une éponge). Cette théorie constitue le paradigme, au sens de Kuhn c'est-à-dire un ensemble d'outils conceptuels et instrumentaux pour lesquels un consensus existe au sein de la communauté des scientifiques), dans le cadre duquel, comme nous allons le voir, les chimistes du XVIII^{ème} comme Cavendish (1731-1810), Scheele (1742-1786), Priestley (1733-1804), Black (1728-1799), pour ne citer que les plus grands, vont interpréter les expériences sur les combustions, la composition de l'air et celle de l'eau.

Parmi les outils instrumentaux qui ont joué un rôle décisif dans le développement de la chimie des gaz, (d'où le nom de chimie pneumatique), figure la cuve à eau que Cavendish perfectionnera en remplaçant l'eau par le mercure ce qui lui permettra de récupérer les gaz solubles dans l'eau, et la pompe à vide qui va se répandre dans tous les laboratoires de chimie.

3. VERS LA CHIMIE MODERNE : DE STAHL À LAVOISIER

Les «découvertes» du gaz oxygène, du gaz carbonique, de la composition de l'air et de celle de l'eau, dont nous allons maintenant parler ne sont pas le fruit du travail d'un seul individu, mais sont le résultat d'une maturation progressive et collective au sein d'une communauté scientifique en train de se constituer. C'est pour faciliter la lecture que le choix a été fait de séparer l'histoire des différents gaz étudiés.

3.1. La chimie des gaz : le gaz carbonique, le gaz oxygène, le gaz azote, l'air.

Le gaz carbonique ou dioxyde de carbone

Le gaz carbonique déjà signalé par Van Helmont (1648) sous le nom de «gaz sylvestre» est caractérisé par Black (1757) qui le fixe par l'eau de chaux d'où le nom «*d'air fixé*». C'est le premier gaz «artificiel» isolé par des chimistes. Black put établir que c'était le même gaz qui était libéré par la calcination du calcaire, la combustion du charbon, la respiration ou la fermentation.

Le problème qui troublait les chimistes dans la combustion du charbon était qu'il restait toujours un résidu après la réaction. Lavoisier le premier pressentit que ce résidu ne provenait pas d'un «squelette du carbone» comme on le croyait à l'époque mais d'impuretés apportées

par le charbon. Il voulu utiliser du charbon absolument pur et eu l'intuition que le diamant était ce charbon pur que cherchaient les chimistes. En 1772 il montra que la combustion du diamant dans le gaz oxygène en vase clos se fait sans résidu et produit bien le gaz carbonique. (c'est la méthode que Dumas utilisera dans son mémoire de 1841 pour réaliser la synthèse pondérale de ce qu'il appelle l'*acide carbonique*).

C'est après l'adoption de la nouvelle nomenclature en 1787 que ce gaz sera appelé gaz carbonique.

Le gaz oxygène, le gaz azote

La découverte du gaz oxygène a été une des étapes majeures de l'histoire de la chimie car elle a permis l'émergence de la théorie des combustions de Lavoisier, (ce qui a rendu possible l'abandon de la théorie du phlogistique), et la définition d'une nomenclature chimique rigoureuse en remplacement de la nomenclature «exotique» héritée de l'alchimie.

En 1774 Priestley réalise la réduction de l'oxyde rouge de mercure (HgO) en le chauffant au moyen d'une lentille qui concentre les rayons solaires. Il observe un important dégagement gazeux qui entretient d'une façon très vive la flamme d'une bougie. La «chaux» de la théorie du phlogistique n'est plus un corps simple puisqu'elle peut donner le métal plus un autre corps (c'est une des anomalies dont la prise de conscience amènera Lavoisier a formuler sa théorie de l'oxydation). Comme ce gaz, (ce sera le gaz oxygène), ne peut brûler Priestley l'appelle «*air déphlogistiqué*». L'air résiduel ne peut entretenir les combustions ou la respiration. Cette «mofette atmosphérique»⁸ il la nomme «*air phlogistiqué*» (ce sera le gaz azote).

Mais pour Priestley ces deux gaz étaient toujours de l'air :

- l'un (le gaz oxygène) était de l'air atmosphérique qui avait perdu son phlogistique,
- l'autre (le gaz azote) était de l'air atmosphérique saturé en phlogistique.

8. Mofette est le terme sous lequel on désigne à cette époque un gaz qui ne permet pas les combustions ou la respiration.

La même année, lors d'un voyage à Paris, il rencontre Lavoisier et lui relate son expérience. Celui-ci, dans un pli cacheté remis le 1^{er} novembre 1772 à l'Académie des Sciences pour s'en assurer secrètement la propriété, avait avancé l'idée révolutionnaire selon laquelle il s'agirait du même gaz qui est fixé par le corps qui brûle et celui qui est restitué par la «chaux métallique» (notre oxyde) lors de la réduction de celle-ci. Cette idée nouvelle, en rupture totale avec les idées dominantes de la chimie de l'époque, est capitale car elle associe deux faits totalement distincts jusqu'alors : la combustion (notre oxydation) et la réduction qui apparaît comme l'opération inverse.

Muni de ce cadre conceptuel nouveau, Lavoisier va refaire et réinterpréter les expériences sur la calcination des métaux et la réduction des chaux métalliques, déjà conduites par Priestley ou Scheele. Ce gaz qui se fixe sur le métal par calcination puis en est retiré par réduction, Lavoisier l'appelle d'abord *air vital*. En 1776, il le caractérise définitivement par ses expériences célèbres sur l'analyse de l'air par calcination du mercure.

Le nom oxygène sera attribué à «l'air vital» par Lavoisier à la suite d'une erreur qui lui sera souvent reprochée par ses adversaires. Ayant remarqué que les acides connus contenaient tous cet élément il pensa, à tort, que c'était cet élément qui conférait le caractère acide d'où le nom oxygène dans la nouvelle nomenclature : *gène* = engendre et *oxy* = piquant.

L'air

Nous avons vu comment, pour les chimistes du XVIII^{ème} siècle, contemporains de Lavoisier, l'air était un gaz dont les propriétés dépendaient de la quantité de phlogistique qu'il contenait.

En fait des chimistes avaient déjà eu l'intuition que l'air est un mélange de gaz mais ils n'avaient pu établir expérimentalement ce résultat ni surtout inclure cette idée dans une théorie cohérente comme le fera Lavoisier. Par exemple le suédois Bergman qui suivit les travaux de Scheele écrit «*l'air commun est un mélange de trois fluides élastiques, à savoir "l'acide aérien libre" (notre dioxyde de carbone), mais en si petite quantité qu'il n'altère pas sensiblement la teinture de tournesol ; d'un air qui ne peut servir ni à la combustion, ni à la respiration des animaux, et que nous appelons "air vicié" (notre diazote), jusqu'à ce que nous connaissions plus parfaitement sa*

nature ; enfin d'un air absolument nécessaire au feu et à la vie animale, qui fait à peu près le quart de l'air commun et que je regarde comme de "l'air pur" (notre dioxygène).

Comme pour le gaz oxygène Lavoisier va concevoir un cadre théorique et réaliser les expériences qui vont permettre de le faire fonctionner et de le valider. De plus il va appliquer au cas de l'air, comme il le fera pour l'eau, ses vues sur les conditions d'étude d'un composé chimique : *«la chimie présente, en général, deux moyens pour déterminer la nature des parties constituantes d'un corps, la composition et la décomposition, ... et en général on ne peut être pleinement satisfait qu'autant qu'on a pu réunir ces deux genres de preuves»*⁹.

Pour cela il chauffe en vase clos une masse déterminée d'air en présence de mercure, observe que le volume gazeux diminue à mesure que le mercure se recouvre d'une pellicule rouge (oxyde de mercure), le gaz résiduel est une *«mofette atmosphérique»* impropre à la respiration et à la combustion. Pour cette raison Lavoisier le nomme *azote*.

La partie active de l'air est complètement condensée dans la poudre rouge qui surnage. Par chauffage elle s'en dégage et restitue intégralement le gaz disparu dans la première opération. Lavoisier le caractérise sur les animaux et la flamme d'une bougie, il le nomme *«air vital»*.

Ensuite Lavoisier, en mélangeant les deux gaz obtenus, obtient un fluide possédant toutes les propriétés de l'air ce qui lui permit de conclure que l'air n'est pas un élément, mais *«la somme de deux parties, qui sont deux fluides aériformes très différents»*.

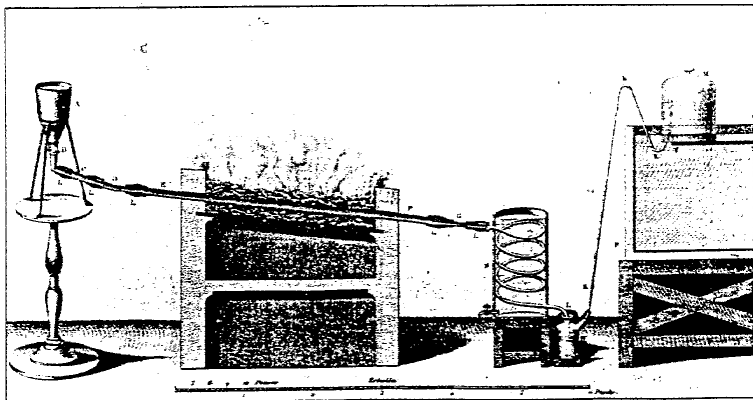
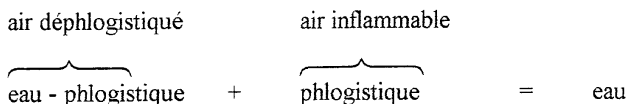
3.2. L'eau

Dès 1770, Lavoisier avait détruit la croyance héritée des alchimistes selon laquelle l'eau chauffée suffisamment longtemps se changeait en «terre». Rappelons que Lavoisier n'hésita pas pour cela à chauffer de l'eau en vase clos pendant 101 jours ! Il put ainsi établir que la masse

9. Essai publié par Lavoisier sous le titre «Analyse de l'air de l'atmosphère, sa résolution en deux fluides élastiques, l'un respirable, l'autre non respirable». Cité par Massain (1952, p. 316).

d'eau se conserve et que la masse du dépôt observé au fond du vase provenait d'une diminution égale de la masse de celui-ci.

Depuis longtemps les chimistes avaient remarqué un dégagement gazeux quand un acide agit sur un métal. Aux environs de 1766, Scheele puis Cavendish isolent cet «*air inflammable*», (que Lavoisier appellera plus tard hydrogène), en le récupérant dans des vessies de porc. Cavendish pense alors avoir isolé le phlogistique. En le faisant brûler dans l'air, Cavendish à sa grande surprise obtient de l'eau. En 1781, il recommence d'une manière quantitative l'expérience avec «*l'air déphlogistiqué*» (le gaz oxygène) que Priestley vient d'isoler. Les résultats montrent que deux volumes «*d'air inflammable*» se combinent toujours à un volume «*d'air déphlogistiqué*» pour donner de l'eau. Mais pour Cavendish l'air déphlogistiqué et l'air inflammable n'étaient pas deux entités chimiques distinctes. Pour lui si l'eau apparaît lors de la combustion de «*l'air inflammable*» c'est qu'elle est déjà présente au départ dans «*l'air déphlogistiqué*». L'interprétation qu'il faisait de cette synthèse de l'eau peut s'écrire¹⁰.



Appareil utilisé par Lavoisier pour décomposer l'eau.

10. Interprétation proposée par B. Vidal dans son ouvrage «*Histoire de la Chimie*», 1985. Paris : PUF.

C'est Lavoisier qui, reprenant ces travaux, a, dès 1783, une vision claire du phénomène. En 1784, en collaboration avec Meusnier, (il faut noter que Lavoisier a inauguré la pratique du travail en équipe pour conduire ses recherches), il réalise la décomposition de l'eau par le fer chauffé au rouge. Il recueille «l'air inflammable» (le gaz hydrogène) tandis que «l'air vital» (le gaz oxygène) se combine au fer. En 1785, il refait cette expérience en public en utilisant le gaz hydrogène formé pour effectuer la synthèse de l'eau. Les expérimentateurs aboutirent à la conclusion que l'eau était formée de 1 partie d'hydrogène pour 7 parties d'oxygène ce qui est remarquable compte tenu de l'incertitude des mesures de l'époque. C'est à la suite de cette expérience que «l'air inflammable» sera appelé hydrogène (qui engendre l'eau).

4. LA NOUVELLE NOMENCLATURE : ACTE DE NAISSANCE DE LA CHIMIE MODERNE

A la suite des travaux de Lavoisier sur les réactions de combustion des métaux et de réduction des oxydes formés, la théorie du phlogistique qui servait de cadre de référence aux chimistes du XVIII^{ème} siècle ne peut plus remplir son rôle. La chimie est en plein désordre et Lavoisier, avec la nouvelle nomenclature, va proposer ce qui va être sa contribution la plus éclatante à l'avènement du nouvel ordre chimique. Ce travail passe par la création d'un langage qui par son action structurante participe à la réorganisation des connaissances en chimie. Ce travail trouvera son point d'orgue avec la publication par Lavoisier en 1789 du «*Traité élémentaire de chimie présenté dans un ordre nouveau et d'après les découvertes modernes*». Dans son *Traité élémentaire de chimie* Lavoisier propose une définition de l'élément très proche de celle proposée par Boyle un siècle plus tôt. L'élément n'est plus considéré comme une qualité de la matière (élément Principe) mais comme «*toutes les substances que nous n'avons encore pu décomposer par aucun moyen*», et il ajoute : «*non que nous puissions assurer que ces corps, que nous regardons comme simples, ne soient pas eux mêmes composés de deux ou même d'un plus grand nombre de principes, mais puisque ces principes ne se séparent jamais, ou plutôt, puisque nous n'avons aucun moyen de les séparer, ils agissent à notre égard à la manière des corps simples, et nous ne*

devons les supposer composés qu'au moment ou l'expérience et l'observation nous en aurons fourni la preuve»¹¹.

Dans cette volonté de Lavoisier de soumettre au verdict de l'expérience la reconnaissance du statut d'élément, nous retrouvons son souci d'en finir avec les élucubrations métaphysiques des alchimistes.

A l'origine de cette nouvelle nomenclature, on trouve les préoccupations d'un avocat de Dijon, chimiste à ses heures, Guyton de Morveau, (dont les travaux sur la prise de poids subie par un métal rouillant à l'air avaient attiré l'attention de Lavoisier en 1772) Guyton trouvait incohérent l'usage que les chimistes et les apothicaires faisaient des termes scientifiques. Lavoisier fit venir Guyton à Paris et en association avec deux autres chimistes de talent, Berthollet et Fourcroy, publia la *«Méthode de nomenclature chimique»* en 1787.

Trois principes de base guident cette nomenclature chimique :

- les substances doivent avoir un nom fixe,
- le nom est formé à partir d'une racine grecque ou latine,
- ce nom doit refléter la composition lorsque celle ci est connue (sinon le nom est donné provisoirement). En particulier lorsque le corps contient des gaz oxygène la dénomination dépend du degré d'oxygénation : la terminaison en «ique» indique un degré d'oxygénation supérieur à la terminaison en «eux» (pour les sels correspondants les terminaisons seront respectivement en «ate» et en «ite»).

Par exemple l'huile de vitriol devient l'acide sulfurique ou sulfureux suivant la quantité d'oxygène unie à une même quantité de soufre, et ses sels des sulfates, ou des sulfites, au lieu de vitriols ; la «fleur de zinc» devient l'oxyde de zinc ; «l'esprit de Vénus», l'acide acétique ; les «cristaux de lune», le nitrate d'argent, etc...

La nomenclature actuelle fonctionne toujours sur les bases de celle proposée par Lavoisier.

Le travail de Lavoisier n'est pas exempt de critiques. Cette nouvelle nomenclature ainsi que le tableau des éléments qui y était annexé

11. Lavoisier. «Traité élémentaire de chimie». 1789, Discours préliminaire, p. XVII j. Cité par Massain dans son ouvrage «Chimie et chimistes», aux éditions Magnard (1955).

comporte des erreurs. Dans son *Traité de chimie* il écrit «*Dans toute espèce de gaz on doit distinguer le calorique, qui fait en quelque sorte l'office de dissolvant, et la substance qui est combinée avec lui et qui forme la base*». Lavoisier considérait le gaz oxygène comme formé d'une base ou principe constitutif ayant le caractère acide qu'il appelait oxygine et de calorique. Dans son tableau des éléments il présente finalement l'élément calorique entre l'élément lumière et l'élément oxygène.

Il considérait (avec réticence il est vrai) la chaleur comme une substance corporelle, mais cette substance était immatérielle et impondérable !

I.	
SUBSTANCES NON DÉCOMPOSÉES.	
NOMS NOUVEAUX, OU ADOPTÉS.	NOMS ANCIENS.
1	Lumière.
2	Calorique.
3	Oxygène.
4	Hydrogène.
5	Azote, ou Radical nitrifique.
6	Carbone, ou Radical carbonique.

1	Chaleur latente, ou matière de la chaleur.
2	Base de l'air vital.
3	Base du gaz inflammable.
4	Base de l'air phlogistique, ou de la mofette atmosphérique.
5	Charbon pur.

Reproduction d'une partie du tableau des éléments de Lavoisier.

Elle apparaissait sous forme de chaleur dans les réactions mais n'intervenait pas dans le bilan pondéral de la réaction (de ce point de vue le remplacement du phlogistique par le calorique ne constituait pas un progrès décisif).

A la décharge de Lavoisier précisons que cette conception de la «chaleur - substance immatérielle» perdurera jusqu'au début du XIX^{ème} siècle. En 1824 Sadi Carnot dans ses *Réflexions sur la*

puissance motrice du feu considère encore le calorique comme un corps indestructible. Il faudra attendre les expériences de J.R. Mayer (1842-1845) et de J.B. Joule (1840-1849) pour que le calorique soit définitivement reconnu comme une des multiples formes de l'énergie.

En ce qui concerne l'idée de Lavoisier selon laquelle le gaz oxygène était caractéristique de tous les acides, cette conception va influencer toute une génération de chimistes qui essayeront par exemple de mettre en évidence l'élément oxygène dans les acides non oxygénés. On verra au début du XIX^{ème} siècle Gay-Lussac et Thénard chauffer «*au feu de forge le plus violent*» l'acide oxymuriatique (notre acide chlorhydrique), en présence de carbone pour mettre le gaz oxygène en évidence, sans succès évidemment, puisqu'il s'agissait de l'élément Chlore dont le mérite de la découverte reviendra à l'anglais Davy en 1810.

Le système proposé par Lavoisier recommandait en outre l'usage de symboles géométriques pour représenter les produits chimiques. En 1803 Dalton proposa sa théorie atomique (un type d'atome représenté par un symbole géométrique pour chaque élément) basée sur la définition de l'élément par Lavoisier. Il faudra attendre 1813 et les travaux du chimiste suédois Berzélius pour que les atomes d'un élément soient symbolisés par l'initiale de son nom (ou les deux premières lettres en cas de confusion possible). La nomenclature symbolique de Berzélius s'appuyant sur les équivalents chimiques indiquait non seulement le nom des éléments et la manière d'envisager leur réunion, mais de plus leur quantités respectives. Elle fut universellement adoptée à partir du milieu des années 1830 date à laquelle les chimistes commencèrent à représenter les réactions chimiques au moyen d'équations.

5. CONCLUSION

Quels enseignements pouvons nous tirer de ce bref survol de la construction de la théorie de la combustion et de l'émergence de la chimie moderne avec la nomenclature proposée par Lavoisier ?

Les idées nouvelles qui apparaissent en Science et qui provoquent les «révolutions scientifiques» ne prennent tout leur sens que lorsqu'on les analyse par rapport aux idées qu'elles remplacent. Elles se construisent contre des théories qui existent déjà et qui ont montré des déficiences dans l'interprétation de faits expérimentaux. Les scientifiques ne changent pas de cadre de pensée tant que les théories qui lui

sont associées remplissent correctement leur rôle de prédiction, et d'interprétation des faits. Comme le souligne Kuhn c'est parce qu'il avait conscience d'une anomalie dans la théorie du phlogistique (le métal calciné qui perd du phlogistique augmente de poids), parce qu'il s'était préparé à voir autre chose que «*Lavoisier a vu du gaz oxygène là où Priestley avait vu de l'air déphlogistiqué et les autres chimistes n'avaient rien vu du tout*»¹². Des protagonistes de cette époque seul Black adoptera les vues de Lavoisier. Scheele, Cavendish, Priestley resteront phlogisticiens.

Ceci est important car si des chimistes différents, et aussi éminents que Lavoisier et Priestley ou Scheele, ont vu **des choses différentes dans la même expérience**, c'est que l'expérience ne détient pas une vérité intrinsèque. La pertinence des observations, l'interprétation des phénomènes observés sont liées au cadre conceptuel dans lequel fonctionne l'observateur.

Ce même type d'observation peut être fait à propos de «l'expérience cruciale» de Van Helmont sur l'eau qui se transforme en terre.

La progression des connaissances sur la période considérée ne s'est pas faite par accumulation régulière. Le recours systématique à l'expérimentation engendre au XVI^{ème} et au début du XVII^{ème} siècle un progrès dans les techniques instrumentales et dans la caractérisation de nouveaux corps. Mais la théorie du phlogistique et l'incapacité des chimistes à prendre l'air en compte dans les combustions font marquer le pas à la chimie pendant tout le XVIII^{ème}. Les faits expérimentaux s'accumulent mais les chimistes ne "voient pas" comment franchir l'obstacle. Dans la perception et l'identification des produits obtenus c'est Lavoisier qui commence à voir clair et débloque la situation en proposant sa théorie de l'oxydation qui va fournir une cohérence à l'ensemble des faits observés.

Ces observations rejoignent celles, nombreuses, qui ont pu être faites en didactique des sciences sur le comportement d'élèves face au fait expérimental. Par exemple L. Leboutet¹³ note que, confrontés à un dispositif expérimental, même simple, des adolescents «*incorporent les faits observés à l'intérieur de schémas d'explication préalables...*

12. T. Kuhn (1970) nouvelle édition, p. 166.

13. L. Leboutet (1973). «l'enseignement de la physique». Paris PUF.

Aucun des sujets observés n'a fondé le raisonnement expérimental sur l'observation, mais sur une connaissance antérieure à partir de laquelle il effectue une déduction».

Ces travaux nous indiquent des convergences possibles entre les conceptions des élèves telles que les repère la didactique des sciences, et les obstacles épistémologiques tels que l'histoire des sciences peut nous les révéler. C'est une étude qui devra se faire en y associant des didacticiens de la discipline, des épistémologues, et des historiens des sciences et techniques.

BIBLIOGRAPHIE

- R. ALLEAU (1990), L'alchimie in *Encyclopédie Universalis C 1* p. 710 - 720. Nouvelle édition, Paris.
- G. BACHELARD (1932), *Le pluralisme cohérent de la chimie moderne*, Vrin Paris ; réédition 1973.
- G. BACHELARD (1938), *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris ; réédition 1989.
- B. BENSUAUDE-VINCENT (1989). Lavoisier : une révolution scientifique, in *Éléments d'histoire des sciences* (M. SERRES, éd.), Bordas, Paris. p.363 - 386.
- B. BENSUAUDE-VINCENT et I. STENGERS (1993), *Histoire de la chimie*, éd. La découverte : Paris.
- A. COLSON : (1924), Histoire de la chimie in *Histoire de la Nation Française* (de Hanoteau G.) Plon ; Paris.
- M. CROSLAND : (1978), *Gay-Lussac, savant et bourgeois*. Traduction française 1991. Belin, Paris.
- J.-B. DUMAS : (1836), Leçons de philosophie chimique de J.B. Dumas, recueillies par M. Bineau, 9^{ème} leçon. in *Les classiques de la science tome IV : Molécules, Atomes, et notations chimiques*. Armand Colin ; Paris (1922).
- J. GUILLERME : (1990), Histoire de la chimie in *Encyclopédie Universalis C 5* p. 476 - 479. Nouvelle édition ; Paris.
- J. GUILLERME : (1990), Berzélius in *Encyclopédie Universalis C 4* p. 39 - 41. Nouvelle édition ; Paris.
- T.-S. KUHN : (1962), *La structure des révolutions scientifiques*. Champs Flammarion, Paris.

- R. MASSAIN : (1952), *Chimie et chimistes*, Editions Magnard, Paris.
- H. METZGER : (1923), *Les doctrines chimiques en France du début du XVII^{ème} à la fin du XVIII^{ème} siècle*. réédition Blanchard, Paris 1969.
- B. VIDAL : (1985), *Histoire de la chimie*. PUF : Paris
- B. WOJTKOWIAK : (1988), *Histoire de la chimie*. Technique et Documentation. Lavoisier : Paris.