

La chimie de A.-E. BAUDRIMONT (1806-1880) : Prélude à la Chimie Physique

Myriam Scheidecker-Chevallier
Université de Nice – Sophia -Antipolis

Résumé : Alexandre-Edouard Baudrimont est surtout connu des historiens des sciences pour avoir fait partie de cette lignée de chimistes français qui, de Haüy à Pasteur en passant par Ampère, Gaudin, Laurent, Delafosse, ont étroitement associé dans leurs spéculations les données cristallographiques et le comportement chimique.

Dans son ouvrage de 1844 : *Traité de chimie générale et expérimentale* dont la structure est tout à fait originale pour l'époque, il consacre une première partie à l'étude statique des corps et une seconde partie à l'étude cinématique des corps. Nous montrons que Baudrimont, à une époque où les chimistes sont presque uniquement occupés par la chimie organique qui connaît un développement explosif, pose des jalons dans des domaines qui annoncent la Chimie physique.

Abstract: Science historians mainly know A.-E. Baudrimont as belonging to a group of French chemists from Haüy to Pasteur including Ampere, Gaudin, Laurent, Delafosse, who established links between crystallographic data and chemical reactions.

In his 1844 book *Traité de chimie générale et expérimentale* whose structure is outstanding for that period, a first part is devoted to the study of the statics of chemical compounds and a second one to the study of the kinematics chemical compounds. We point out that Baudrimont, at a time where chemists were mainly busy with a rapidly developing organic chemistry, set important milestones in his research fields, thereby opening the way to physical chemistry.

Introduction

Alexandre-Edouard Baudrimont n'a pas beaucoup retenu l'attention des historiens des sciences. Pourtant son nom est maintes fois cité à l'occasion d'études sur d'autres chimistes de la même époque. On reconnaît que beaucoup de ses idées, originales et novatrices, ont eu un impact certain sur ses contemporains, en particulier sur Laurent, Dumas, Gerhardt (Cf. [Brooke 1973, 47–94, 65], [Kapoor 1969, 477], [Fisher 1973, 106–131, 117]). Kapoor [Kapoor 1968, 37–42] souligne le rôle important qu'il a joué, dès 1833, en prenant position contre le dualisme électro-chimique, et pour une théorie unitaire de la structure moléculaire ; il est un des premiers chimistes à accepter l'hypothèse d'Avogadro-Ampère et à définir le terme de “substitutions” en chimie minérale, ainsi que la notion “d'isodynamisme” qui préfigurent le concept de valence¹. Mauskopf, de son côté ([Mauskopf 1976, 5-80], [Mauskopf 1992, 125-144]), a bien montré qu'il fait partie de cette lignée de chimistes français qui, de Haüy à Pasteur en passant par Ampère, Gaudin, Laurent, Delafosse, ont étroitement associé dans leurs spéculations les données cristallographiques et le comportement chimique. La carrière de Baudrimont se déroule à une période (1830-1870) cruciale pour la chimie [Rocke 1984], [Rocke 1993, 87–118]. C'est l'époque de l'explosion de la chimie organique, de la remise en cause des théories : atomisme daltonien et dualisme électro-chimique, et de l'émergence de systèmes classificatoires nouveaux : la théorie des “radicaux” et celle des “types”. Baudrimont diplômé de médecine et de pharmacie, apprend la chimie avec E.-A Serres et publie avec lui son premier article en 1828. Ne réussissant pas à obtenir un poste à Paris, il accepte en 1847 un emploi d'assistant chez Auguste Laurent à l'Université de Bordeaux. Deux ans après il obtient la chaire de chimie et reste à Bordeaux jusqu'à la fin de sa vie. Chimiste, à la fois théoricien et expérimentateur, il a beaucoup publié (Cf. [Micé 1882, 557–624]).

Sa chimie nous semble particulièrement intéressante pour mieux comprendre les difficultés conceptuelles qu'il a fallu surmonter pour mathématiser la réactivité chimique. Alors que, jusque vers 1830, les chimistes importants étaient tous des chimistes physiciens, à l'époque de Baudrimont on assiste à une nette séparation des deux disciplines. L'analyse de l'ouvrage principal de ce chimiste nous éclaire sur l'état des questions qui seront au cœur de l'investigation des physico-chimistes à la fin du XIXe siècle.

¹Il remarque que les corps isodynamiques : “*se reconnaissent à ce qu'ils font partie de divers composés de même formule, et à ce qu'ils occupent la même place dans ces formules, quel que soit d'ailleurs le système que l'on adopte*” : [Baudrimont 1844, 296].

I- Liens entre chimie et physique dans la première moitié du XIX^e siècle

La chimie n'a-t-elle jamais été séparée de la physique ? C'est une question que les historiens de la chimie ne peuvent éviter de se poser (Cf. [Mehaldo 1985, 195–211], [Nye 1993, 32–53], [Hiebert 1996, 93–119]). Pour se donner un statut de science, depuis le XVII^e siècle, la chimie a toujours essayé de trouver des possibilités de quantification puis de mathématisation des phénomènes dont elle s'occupe, trouvant des exemples pour y parvenir dans la science où cette mathématisation a commencé beaucoup plus vite : la physique (Cf. [Goupil 1982, 1–20] et [Guerlac 1951, 194–214]).

Au XVIII^e siècle, reprenant les suggestions de Newton dans la question 31 de son *Optics* (Cf. [Newton 1722]), quelques chimistes tels Claude Joseph Geoffroy, Torben Olof Bergman et d'autres cherchent à classer les "attractions" entre substances différentes nommées "affinités électives", de façon purement qualitative, en établissant des "tables d'affinités" directement issues de l'expérience. Certains essayent déjà de mesurer et donc de quantifier ces *affinités* par divers procédés : Georges Louis Leclerc, Comte de Buffon, Louis Bernard Guyton de Morveau, Carl Wenzel, Carl Kirwann (...) (Cf. [Daumas 1946, 51-60]).

Antoine-Laurent Lavoisier se percevait comme un physicien, ses efforts pour subordonner la chimie à la physique culmine dans son *Traité élémentaire de chimie* ; c'est d'ailleurs en reliant deux branches traditionnelles de la physique expérimentale : la pneumatique et la chaleur qu'il réussit à donner une base plus sûre à la chimie [Mehaldo 1985, 210]. Dans le but de quantifier *l'affinité chimique* il mesure avec le calorimètre à glace les chaleurs de combustion ou chaleur de formation des composés. Il mène cette étude avec le mathématicien et physicien Simon Laplace (Cf. [Lavoisier et Laplace 1780, 238–333]) sans avoir d'ailleurs la même conception que lui sur la *nature* de la chaleur (Cf. [Guerlac 1976, 193–276]). "*Peut-être, un jour, la précision des données sera-t-elle amenée au point que le géomètre pourra calculer, dans son cabinet, les phénomènes d'une combinaison chimique quelconque, pour ainsi dire de la même manière qu'il calcule le mouvement des corps célestes*" (Cf. [Lavoisier 1782, 546]).

Les avancées les plus importantes en chimie au début du XIX^e siècle, le seront encore par des chimistes-physiciens.

Rappelons qu'en France, au début du XIX^e siècle (1800-1815), le modèle laplacien de la structure intime de la matière sert de base aux travaux de tous les physiciens et chimistes (Jean-Baptiste Biot, Siméon Denis Poisson, Charles Augustin Coulomb, Claude Louis Berthollet, etc.).

Laplace suppose qu'il existe à côté des molécules de matière ordinaire, des fluides impondérables, moléculaires eux aussi : calorique, lumière, électricité, magnétisme et que tous les phénomènes de la nature sont dus à des forces attractives et répulsives de molécules à molécules. Ainsi, les lois de la réfraction, l'action capillaire, la cohésion des cristaux, et même la combinaison chimique résultent de telles forces comparables à l'attraction astronomique newtonienne (Cf. [Laplace 1835]).

Berthollet poursuit la vision newtonienne en chimie. Dans son ouvrage *La statique chimique* (Cf. [Berthollet 1803]), il s'oppose aux *affinités électives* établies par Bergman et montre que les réactions chimiques sont généralement incomplètes ; le résultat de l'action de toutes les forces chimiques lors d'une transformation chimique de la matière est un équilibre statique comme en mécanique lorsque la résultante de toutes les forces s'annule. Cette vue l'amène à concevoir des proportions indéfinies et variables lors de la formation des composés chimiques, ce en quoi il se trompait mais il avait raison à propos des réactions, elles produisent en général un équilibre entre constituants qui dépend des conditions de réaction. Pendant des décennies la notion d'équilibre n'intéressera plus personne.

Jonh Dalton, le fondateur de la théorie atomique, commence ses recherches sur des problèmes de physique comme, entre autres, la solubilité des gaz dans l'eau. Disciple de Newton lui aussi, il cherche à élaborer une théorie mécanique de la dissolution d'un gaz qui ne doit pas être confondue avec une réaction chimique. Il est amené à formuler son *hypothèse atomique* pour trouver une explication à la différence de solubilité des gaz dans l'eau : *“les gaz dont les particules seraient les plus légères et primaires seraient les moins absorbables, la solubilité augmentant avec le poids et la complexité des particules. Une étude des poids relatifs des parties des corps représenterait, à ma connaissance un sujet de recherche entièrement nouveau”* (Cf. [Dalton 1805, I(II), 271–287, 286]). Pour résoudre ce problème, la détermination des masses relatives des particules ultimes, Dalton fait appel à la chimie. La *loi des proportions définies*, sujet de la controverse entre Joseph Louis Proust et Berthollet (Cf. [Kiyohisa 1986, 177–200]), permet à Dalton de faire l'hypothèse que les combinaisons chimiques se font par unités discrètes, atome par atome et que les atomes de chaque élément sont identiques. Il est important de souligner ici que Dalton réussit pour la première fois à établir un lien entre des mesures de poids à l'échelle macroscopique et un modèle conceptuel chimique à l'échelle microscopique. L'innovation de Dalton est d'introduire une alternative aux idées de Newton. Désormais, chaque corps simple identifié possède une spécificité chimique parce qu'il est

constitué d'atomes chimiques tous identiques et spécifiques de par leur poids et leurs qualités propres. La particule d'hydrogène cesse d'être vue comme le résultat complexe d'une structure interne ordonnée et compliquée mais comme une planète, un petit solide sphérique, une "boule de billard".

L'atome de chaque corps simple est désormais défini par son **poids relatif** et pour connaître ces poids et dresser ainsi le premier tableau des poids atomiques, il suffit de réaliser en laboratoire des réactions chimiques qui sont des additions d'atomes. Dalton rapporte tous les poids atomiques à une unité fixée de manière conventionnelle : le poids de l'atome d'hydrogène. Ainsi le poids atomique de chaque élément est la quantité pondérale qui s'unit avec un gramme d'hydrogène pour former la combinaison la plus stable. La combinaison chimique peut être envisagée à l'échelle des atomes ou particules ultimes en un acte individuel qui en se multipliant sur un très grand nombre de corpuscules identiques aboutit à la loi expérimentale des proportions constantes dès lors que les atomes d'éléments différents ont des poids différents. La quantification introduite par Dalton, contrairement à celle de Berthollet, sera féconde. Il faut dire qu'elle sous-entend d'une part une théorie beaucoup plus simple et que d'autres lois expérimentales vont très vite venir la corroborer : loi volumétrique de Gay-Lussac, loi d'Avogadro-Ampère, loi de Dulong et Petit, loi de Mischterlich, d'autre part. Toutes ces lois s'interprètent facilement dans le cadre de la nouvelle théorie atomique.

Avec Dalton, nous le constatons, ce ne sont plus les forces mécaniques qu'il faut mathématiser mais plus simplement les unités de la chimie. C'est la fin du "rêve newtonien" en chimie (Cf. [Gregory 1984, 108-123]).

Humphry Davy, quant à lui, se sert avec efficacité de la pile galvanique inventée par le physicien Alessandro Volta pour analyser les oxydes métalliques (alcalis et terres) qui n'avaient pas encore pu l'être par les méthodes chimiques traditionnelles. Il isole ainsi le sodium, le potassium, le strontium, le bore, le calcium, le magnésium, en 1807-1808, et vers 1810, le chlore, l'iode et le brome. Le suédois Jöns Jacob Berzelius, par le même procédé isole le cérium, le sélénium, le silicium, le zirconium, le lithium et le vanadium et propose une théorie électro-chimique de la combinaison chimique. Selon cette théorie, les corps quels qu'ils soient sont constitués de deux parties antagonistes, agissant comme deux masses douées d'électricité différentes et maintenues en combinaisons par l'action mutuelle de ces deux électricité ; cette théorie explique, de plus, qu'un corps binaire n'ayant presque jamais ses deux électricité exactement saturées est encore apte, avec son électricité résiduelle, à produire de nouvelles combinaisons : ternaires, quaternaires, etc.

Louis Jacques Thénard et Louis Joseph Gay-Lussac sont encore des chimistes -physiciens si l'on considère les sujets de recherche qu'ils entreprennent : l'étude physique des gaz et les recherches sur la pile. En 1787, Jacques Charles avait établi la première relation entre l'expansion des gaz et la température, Gay-Lussac s'empare du sujet, en 1802 et formule avec plus de précision cette même relation ; il découvre, en 1809, la loi volumique sur les combinaisons chimiques en phase gazeuse : *“J'ai fait voir que les combinaisons des substances gazeuses les unes avec les autres se font toujours dans des rapports les plus simples, et tels qu'en représentant l'un des termes par l'unité, l'autre est un ou deux, ou au plus trois. Les contractions apparentes de volume qu'éprouvent les gaz en se combinant ont aussi des rapports simples avec le volume de l'un d'entre eux”* (Cf. [Gay-Lussac 1809]). Cette loi suggérera à Amédeo Avogadro (Cf. [Avogadro 1811, 58-76]) et à André-Marie Ampère (Cf. [Ampère 1814, 55]) indépendamment, une hypothèse capitale pour la chimie, à savoir la proportionnalité entre volumes gazeux et nombre de molécules pris dans les mêmes conditions de température et de pression.

Cette rapide inflation du nombre des corps simples marque profondément la chimie du début du XIX^e siècle, elle oriente les chimistes vers la détermination de plus en plus précise des poids atomiques de tous ces nouveaux corps simples ; ils disposent pour cela de tout un arsenal de lois, depuis les lois pondérales et volumiques qui éclairent la stœchiométrie des réactions jusqu'à la cristallographie en passant par la théorie de la chaleur. Les ressources expérimentales ne manquent pas non plus : la gravimétrie, la volumétrie, la calorimétrie, la mesure des densités gazeuses, etc.

Dans les années 1830, la chimie couvre donc un territoire important qui englobe l'électricité, la chaleur, la cristallographie, etc., mais c'est précisément à cette époque que les champs explorés par la chimie et la physique vont se séparer. Les chimistes se trouvent devant la nécessité d'inventorier un nouveau domaine, extrêmement prometteur : la chimie organique. En France, Michel Eugène Chevreul, en 1824, fait paraître un ouvrage : *Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications* (Cf. [Chevreul 1824]). Il établit que tous les corps organiques complexes issus des règnes végétal et animal, soumis à l'analyse (graisses, gluten, cires, résines, gommés, tannin, etc.) sont toujours constitués en dernière analyse des mêmes éléments : carbone, hydrogène, oxygène, azote unis en proportions définies. Ils obéissent aux mêmes lois que ceux de la chimie minérale. Dès lors, les chimistes vont se préoccuper d'analyser et de synthétiser un nombre impressionnant de nouveaux composés : les composés organiques ou composés du carbone. C'est la période où

Berzelius en Suède, Justus Liebig en Allemagne, Jean-Baptiste. Dumas en France et d'autres vont faire école et développer d'importants laboratoires où l'on perfectionne les techniques expérimentales nécessaires au développement de cette chimie nouvelle. Des théoriciens qui sont en même temps des expérimentateurs hors pairs tels Auguste Laurent et Charles Gerhardt vont tenter, le plus souvent en désaccord avec les pères fondateurs de la nouvelle chimie, de donner une base solide à cette science ; pour tout cela, point n'est besoin de la physique si ce n'est la connaissance des *propriétés physiques* des corps qui résultent du processus chimique ; En effet, comme le fait très justement remarquer E.-N. Hiebert, aucun changement chimique ne peut se produire sans être accompagné d'un changement de propriétés physiques ; celles-ci révèlent le changement de composition des corps : "*la chimie sans propriétés physiques n'est pas chimie du tout*" (Cf. [Hiebert 1996, 102]). Au contraire, un processus physique, n'implique aucun changement de composition.

La physique de son côté tant sur le plan théorique qu'expérimental accomplira pendant le XIXe siècle des avancées significatives dans des domaines qui intéresseront la chimie par la suite, ce qui donnera naissance à la fin de ce siècle à la chimie physique en tant que spécialité.

Un chimiste français de tempérament spéculatif, très au courant des avancées en chimie et en physique de son époque va s'efforcer de maintenir des liens étroits entre les deux disciplines qui étaient en train, par la force des choses, de se séparer : il s'agit de A.-E. Baudrimont.

II La chimie générale de Baudrimont : un effort pour maintenir le lien entre la physique et la chimie

Dans ses livres et ses mémoires, tout au long de sa carrière, Baudrimont s'est intéressé à la structure de la matière, à la réactivité chimique et au lien susceptible d'exister entre les deux.

II-1 Le Traité de chimie générale et expérimentale

Ainsi, lorsqu'on considère la structure de l'ouvrage de Baudrimont *Le Traité de chimie générale et expérimentale* de 1844 (Cf. [Baudrimont 1844]), on remarque que la partie théorique de cet ouvrage se divise en plusieurs grands chapitres : le premier traite de la constitution des corps ou *Statique corpusculaire* et le deuxième des réactions chimiques ou *Cinématique corpusculaire*. Ces deux parties constituent une science en elle-même qu'il appelle *Dynamique moléculaire*. Ces concepts prendront un sens précis en physique un peu plus tard². Nous avons examiné à

²En 1850, Thomson introduit le mot *énergie* en physique, il conserve le mot *force* pour désigner les forces newtoniennes, définies à partir des lois du mouvement. Il

titre de comparaison les autres ouvrages de chimie publiés à la même période ou un peu plus tard : Perzoz [Perzoz 1839], Dumas [Dumas 1839], Berzelius [Berzelius 1845], Liebig [Liebig 1840], Pelouze et Frémy [Pelouze & Frémy 1848], Gerardt [Gerardt 1853], Laurent [Laurent 1854], Wöhler (1858) [Wöhler 1858], Malaguti [Malaguti 1858], Wurtz [Wurtz 1864], Hofmann [Hofmann 1865], Regnault [Regnault 1868] ; aucun n'est structuré selon cette division, division d'autant plus intéressante qu'elle préfigure la distinction future de la chimie générale entre d'une part l'atomistique et d'autre part la réactivité chimique : thermodynamique et cinétique³.

Baudrimont réserve un chapitre aux *Propriétés physiques des corps* liées aux dernières découvertes des physiciens : "*l'étude approfondie des propriétés physiques des corps tend à faire penser qu'elles sont sous la dépendance immédiate de leur constitution la plus intime (...)*" [Baudrimont 1844, 59]. Il consacre un autre chapitre aux *Applications de la chimie* : "*La chimie peut être appliquée aux sciences naturelles, à la médecine, à l'agriculture et aux arts*" [Baudrimont 1844, 332].

Dans la première partie de son ouvrage⁴ qui nous intéresse moins directement ici — *la Statique chimique* — il reprend les connaissances de l'époque sur la constitution des corps, la théorie atomique, les types moléculaires, l'isomorphisme, l'isomérisation, le polymorphisme (...). Contrairement à *La statique chimique* de Berthollet, il n'est pas question dans cette première partie de réactivité chimique car pour Baudrimont la réactivité chimique est essentiellement dynamique. Ce sont les parties constituantes des corps qui se meuvent et avant d'envisager leurs mouvements il faut définir les entités qui se déplacent : "*Avant d'avoir la pensée de faire connaître les mouvements des parties qui entrent dans la constitution des corps, il était logique, et l'on peut dire indispensable, d'étudier cette même constitution, et d'en avoir une idée aussi nette et aussi complète que possible ; car, que peut être le mouvement de parties qui nous sont inconnues ou qui ne sont même pas soupçonnées ?*" (Cf. [Baudrimont 1873, 431–488, 433]). D'ailleurs, précise-t-il, la Statique corpusculaire dépendra un jour de la physique générale qui sera : "*la science de la constitution des corps et des phénomènes qu'ils présentent*" [Baudrimont 1844, 14].

sépare l'énergie en deux catégories : statique et dynamique. On peut consulter à ce sujet [Locqueneux 1996].

³Un livre important pour la chimie physique, en 1904, portera un titre similaire : *Chemical Statics and Dynamics* [Mellor 1904].

⁴Cette première partie est développée in M. Scheidecker-Chevallier, Baudrimont (1806- 1880) : les liens entre sa chimie et sa philosophie, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 1997, n°138, Vol.47, 26–56, 37–43.

Ce que l'on peut souligner chez Baudrimont c'est qu'il ne met pas l'accent, en premier lieu, sur la nature et sur le poids des parties constituantes des corps : *“conditions (qui) laissent peu de choses à désirer”* mais choisit de s'occuper *“du nombre des parties constituantes”* dans les molécules des corps et de *“la disposition relative de ces mêmes parties”* où dans ce domaine *“presque tout est encore à faire”* [Baudrimont 1844, 14].

En 1844 il accorde la plus grande importance aux nouvelles découvertes de la chimie de l'époque : l'isomorphisme [Mitscherlich 1820, 172–190], l'isomérisation⁵, le polymorphisme⁶, l'allotropie⁷. Pour Baudrimont, l'isomorphisme montrant que *“le nombre et l'arrangement des éléments d'un système moléculaire sont indépendants de la nature de ces éléments”*, l'isomérisation où *“un nombre déterminé d'atomes se groupent de différentes manières (de façon que les corps) possédant une composition chimique identique jouissent de propriétés physiques ou chimiques différentes”* [Baudrimont 1844, 25], ainsi que le polymorphisme ou l'allotropie, sorte : *“d'isomérisation considérée chez les corps simples”* sont tous des phénomènes à exploiter. En effet, ils sont autant de preuves, nous dit-il, de l'existence des molécules et de leur nature architecturale : *“plusieurs atomes réunis ensemble et disposés d'une manière symétrique dans l'espace constituent un système corpusculaire qu'Ampère a désigné sous le nom de molécule”* [Baudrimont 1844, 9].

Plus tard, dans d'autres mémoires, il approfondira la *Statique corpusculaire* ; une fois envisagées les formes extérieures possibles de ces édifices moléculaires, il lui faut pénétrer à l'intérieur de ces structures : *“entre la molécule et l'atome, il y a des groupes intra-moléculaires de divers ordres auxquels il est indispensable de donner des noms. (...) nous ne pouvons avoir la certitude que nous connaissons d'une manière précise la constitution réelle des petits systèmes mécaniques qui forment les molécules”* [Baudrimont 1865, III, 276–305, 281]. D'ailleurs, Baudrimont trouve dans certains résultats expérimentaux une preuve de l'existence de ces unités sub-moléculaires. Les radicaux comme le cyanogène, par exemple : *“corps composé de carbone et d'azote remplaçant un élément chimique”* qui comme les éléments simples peuvent être substitués les uns aux autres sans que le type moléculaire fondamental dans lequel ils entrent en soit changé. Ces radicaux, très distincts les uns des autres, représentent : *“autant de sous-groupements qui entrent dans la consti-*

⁵terme introduit par Berzelius en 1830, puis repris par Dumas dans [Dumas 1831, 324–335, 324].

⁶terme défini par Dumas [Dumas 1839, 269].

⁷nouveau terme introduit par J.-J. Berzelius dans [Berzelius II, 1841, 12–13].

tution des molécules”. Baudrimont en déduit qu’il : “*existe des groupes spéciaux entre les molécules et les atomes ; c’est à ces groupes que j’ai donné le nom de mérons*” [Baudrimont 1865, 284]. Le radical éthyle qui remplit les fonctions d’un élément chimique est également un méron : “*il est éminemment probable que le méron d’éthyle est formé par un méron central d’hydrogène qui est enveloppé de carbone et d’hydrogène. D’où le méron d’éthyle serait divisible en parties non identiques. Il peut donc y avoir des parties plus élémentaires que les mérons. Ces parties je les ai nommées mérules, et s’il est utile d’en considérer de plus élémentaires encore, je les désigne par le nom de méricules*” [Baudrimont 1865, 442]. En somme les molécules sont décomposables en parties de divers ordres intermédiaires entre elles et l’atome. La molécule se subdivise en mérons, le méron en mérules, le mérule en méricules, le méricule en atomes [Baudrimont 1862, 5].

Baudrimont sait également : “*que les propriétés physiques des corps sont sous la dépendance immédiate de leur constitution la plus intime*”. Il reconnaît que le chimiste a besoin de connaître chaque groupe de propriétés physiques, de faire voir les relations qu’elles ont entre elles mais que ce travail est mieux réalisé par les physiciens. La chimie a besoin de cette partie du travail des physiciens et beaucoup moins dit-il, pour le moment, de théories obtenues par la généralisation des faits que l’on trouve dans les ouvrages de physique.

Après la statique, Baudrimont aborde la *Cinématique corpusculaire* ; il divise cette étude en deux grandes parties : les phénomènes qui accompagnent l’action chimique d’une part et l’influence des circonstances sur l’action chimique d’autre part.

II-2 Les phénomènes qui accompagnent l’action chimique

Il s’attache à examiner essentiellement trois phénomènes : l’élévation de température, l’apparition de lumière et le développement de l’électricité.

II-2-1 l’élévation de température

Il examine en détails les travaux de Lavoisier, de Crawford, de Rumford, de Despretz, de Welter, de Dulong, de Hess puis il en tire ses propres conclusions ; au cours des réactions chimiques, la température : “*peut s’élever, s’abaisser ou même ne point varier d’une manière sensible (...) la cause qui produit l’abaissement de la température est inverse de celle qui en produit l’élévation, et la thermo-neutralité est la conséquence d’une compensation exacte de ces deux actions inverses (...) Dans les réactions où certains corps sont décomposés par la chaleur dans l’ordre même*

où leurs éléments s'étaient combinés, il faut restituer à ces éléments la chaleur qu'ils avaient développée lors de leur union" [Baudrimont 1844, 173]. Baudrimont trouve que la théorie vibratoire de la chaleur peut donner une explication à ces faits ; en effet, le changement de température produit lorsque les éléments se combinent serait dû à la perte d'une certaine quantité de mouvement qui est gagnée par les corps environnants. Lorsque les éléments se séparent pour retourner à l'état de liberté lors des dissociations, il faut nécessairement leur restituer la quantité de mouvement vibratoire qu'ils ont perdue.

II-2-2 Développement de l'électricité

Baudrimont adhère à l'hypothèse de son époque selon laquelle : *"lorsque les corps réagissent les uns sur les autres ils se constituent dans des états électriques opposés"* [Baudrimont 1844, 174]. Dans les doubles substitutions on observe une neutralité électrique, de même qu'il n'y a pas de changement de température et probablement pour les mêmes raisons. Il se produit dans ce genre de réaction une compensation exacte entre les quantités d'électricité qui se développent. Baudrimont est tenté de conclure, s'appuyant sur les récentes découvertes de Michael Faraday : *"des quantités équivalentes de matière développent des quantités égales d'électricité (...) si une action électrique déterminée sépare des quantités équivalentes de diverses matières, il est probable que ces diverses matières émettent les mêmes quantités d'électricité lors de leur combinaison, et que le courant ne fait que leur restituer ce qu'elles avaient perdu en se combinant (...) partant du point où je laisse cette question, les physiciens ont encore quelques recherches à faire pour en trouver la solution complète"* [Baudrimont 1844, 175].

II-2-3 Apparition de la lumière

Baudrimont se contente de répertorier les réactions connues à son époque qui s'accompagnent de phénomènes lumineux : Toutes les combustions vives, mais aussi l'action du soufre et du plomb fondus à haute température, la combinaison du phosphore et de l'iode, etc. Il relève que la production de lumière n'est pas forcément produite à une température élevée et de plus n'est pas forcément le signe d'une combinaison chimique : certains corps deviennent lumineux à une certaine température sans changer de composition ; Il signale les phénomènes de phosphorescence : certains cristaux en se brisant ou dans l'obscurité dégagent une lumière assez vive.

Pour conclure le chapitre sur les phénomènes qui accompagnent l'action chimique Baudrimont est conduit à penser : *"que partout où il y a trouble dans l'équilibre moléculaire, soit par la division soit par l'union*

ou par de simples vibrations, il y a, ou il peut y avoir, changement dans la température, l'état électrique et quelquefois apparition de lumière. (...) tous ces phénomènes sont dus à des modifications des divers mouvements moléculaires" [Baudrimont 1844, 177]. Il s'oppose à ceux qui considèrent ces diverses manifestations, simples propriétés de la matière, comme des fluides ou agents particuliers ; il préfère les envisager comme des forces : *"sans en spécifier la nature, de même qu'un cheval est comparable à une machine à vapeur quand on ne tient compte que de l'effet mécanique qu'ils produisent"* [Baudrimont 1844, 177].

II-3 De l'influence des circonstances sur l'action chimique

Pour étudier cette influence, Baudrimont rappelle qu'il faut utiliser une méthode mathématique il y a de nombreux facteurs qui influent sur la réactivité, les proportions, l'étendue des surfaces des corps en présence, leurs *masses chimiques*, la pression, la température, la présence de la lumière, l'état électrique, la capillarité et ce que l'on nomme *l'état naissant*⁸. Il s'agit, comme en mathématique de ne faire varier qu'un ou deux facteurs à la fois, toutes choses restant égales par ailleurs. Ces questions, nous le savons, seront réglées plus tard en faisant appel à la thermodynamique phénoménologique et à la cinétique chimique [Baudrimont 1844].

II-3-1 Influence des proportions et de l'étendue des surfaces

Ces deux facteurs influent soit sur la vitesse de réaction soit sur la nature des produits formés au cours de la réaction.

Baudrimont note : *"Lorsque les produits d'une réaction chimique ne doivent point varier, quel que soit d'ailleurs le rapport des matières employées, on abrège le temps de la réaction en augmentant la quantité d'une des matières"* [Baudrimont 1844]. Il faut pour observer ce fait que la réaction se passe dans un solvant inerte comme l'eau en phase liquide et l'azote en phase gazeuse. Il suggère que : *"ce n'est qu'en multipliant les points de contact et en augmentant la masse de la matière active, qui se présente toujours avide de combinaison, que l'on obtient ce résultat"* [Baudrimont 1844, 178]. Il en est de même pour l'influence de l'étendue des surfaces : *"de telle manière que si l'on double, si l'on triple cette*

⁸sur l'influence de : *"l'état naissant sur les réactions chimiques"*; Baudrimont, en donnant l'exemple de la préparation de l'éther chlorhydrique, propose une explication théorique : *"la tendance qu'ont les corps à se combiner en pareille circonstance tient à ce que les molécules sont divisibles et à ce que la réaction s'exerce entre les éléments"* autrement dit "l'élément chlore" sous forme atomique réagit beaucoup mieux que le gaz chlore sous forme moléculaire (Cf. [Baudrimont 1844, 199]).

surface, l'action se fera dans un temps deux fois, trois fois moins long que si on avait laissé le corps intact" [Baudrimont 1844, 180].

Baudrimont reprenant en cela les conclusions déjà formulées par Berthollet, au début du siècle, souligne que l'action chimique est d'autant plus rapide et complète que le produit formé est constamment éliminé du milieu réactionnel.

Les proportions des produits et l'étendue des surfaces agissent aussi sur la nature des produits obtenus au cours du processus chimique ; ainsi on peut obtenir soit l'oxyde rouge (Cu_2O) soit l'oxyde noir (CuO) selon les proportions de cuivre et d'oxygène, mais la nature de l'étendue des surfaces agit plus rarement sur la nature des produits formés.

II-3-2 L'influence des "masses chimiques"

Baudrimont donne de nombreux exemples où la réaction chimique se produit dans un sens ou dans l'autre selon que l'un des réactifs se trouve en "*grande quantité par rapport à l'autre*". Il prend l'exemple de la réaction de l'oxydation du fer par la vapeur d'eau : $\text{Fe} + \text{H}_2\text{O} (\text{g}) = \text{FeO} + \text{H}_2 (\text{g})$ (écriture actuelle) et conclut : "*C'est la masse prépondérante de la vapeur d'eau sur celle de l'hydrogène qui fait que le fer s'oxyde et que l'oxyde produit ne se réduit point ; c'est la masse prépondérante de l'hydrogène sur celle de la vapeur d'eau, qui fait que l'oxyde de fer se réduit et que le métal réduit ne s'oxyde point*" [Baudrimont 1844, 183]. Il s'appuie sur le concept de masse chimique défini par Berthollet⁹ et réutilisé par son élève Gay-Lussac : "*les phénomènes de cette nature, dans lesquels les corps sont formés et détruits dans des circonstances identiques, à cela près que l'un des agents se trouve en quantité dominante, sont attribués à l'influence des masses chimiques*" [Baudrimont 1844, 182].

II-3-3 L' Influence de la pression, de la température et de la lumière

Baudrimont déplore que les chimistes jusqu'ici aient négligé de s'intéresser à l'influence de la pression sur le cours des réactions chimiques, phénomène qu'il juge des plus importants. Il recense de nombreux faits expérimentaux où la pression semble jouer un grand rôle et donne une

⁹Berthollet utilise le concept de "masse chimique" : $M = S.Q$; S étant la capacité de saturation ou affinité d'une substance et Q étant la quantité de substance ayant réagi. Ce produit varie au cours de la réaction depuis le début du processus où S est maximum et Q minimum, et le point de saturation où c'est l'inverse. Si deux substances sont mises à réagir, au point d'équilibre, les deux "masses chimiques" sont devenues égales : $M_1 = M_2$, $S_1Q_1 = S_2Q_2$, il s'ensuit que le rapport des capacités de saturation ou affinités est inversement proportionnel au rapport des quantités des deux substances en présence.

explication en attribuant à la pression une action inverse à celle de la température : *“La pression est une force extérieure qui, réagissant sur les corps pour en rapprocher les parties, agit en sens inverse de la calorificité qui tend à les écarter”* [Baudrimont 1844, 183].

La température exerce une influence importante sur les réactions de décompositions ; ces phénomènes sont étudiés de façon systématique notamment par Théophile Jules Pelouze qui décompose les acides organiques en notant soigneusement la température de décomposition, variable selon l'acide considéré. Les résultats obtenus par ces études révèlent que sous une pression donnée, les corps se décomposent à une température fixe en donnant des produits déterminés ; de plus, non seulement il faut porter les corps à une certaine température pour les décomposer mais lorsque la réaction inverse ou réaction de formation se passe il se libère la même quantité de chaleur qu'avait nécessité leur décomposition. Baudrimont ne semble-t-il pas appeler de ses vœux les études thermodynamiques qui répondront plus tard aux bonnes questions qu'il se pose, lorsqu'il constate : *“Quant à savoir a priori si un corps se décomposera ou non en le chauffant, quels seront les produits de sa décomposition et à quelle température cette décomposition aura lieu, il est impossible de répondre maintenant à ces questions”* [Baudrimont 1844, 185-186].

II-3-4 Influence de la lumière, de l'électricité et de la capillarité

Baudrimont fait remarquer que la lumière produit des effets indépendants de ceux de la chaleur. La lumière peut aussi bien modifier la constitution de certains corps qu'en faciliter la réaction ; de nombreux faits expérimentaux le montre : *“le cinabre, le minium qui sont rouges prennent à la lumière une teinte brune. Le proto-iodure de mercure se partage en mercure et en bi-iodure de ce métal”* [Baudrimont 1844, 186]. Baudrimont essaye de donner quelques explications : la lumière comme la chaleur entrerait pour quelque chose dans la constitution des corps et elle serait due à un mouvement vibratoire du même ordre que celui produisant la sensation de chaleur.

Quant à l'électricité, on sait en 1844 son importance dans les réactions chimiques. La décomposition électrolytique par la pile n'est-elle pas utilisée couramment ? Mais Baudrimont constate, dans ce secteur aussi, que la science de l'électricité n'est pas assez développée. Il résume les théories de H. Davy, C. Oersted, J.-J. Berzelius, A.-M. Ampère qui sont toutes des théories spéculatives tout en étant guère convaincu par elles. Ces théories ne donnent aucune certitude sur la nature de l'électricité. Il suggère que : *“l'électricité étant susceptible d'augmentation et*

de diminution doit être déterminée par des mouvements particuliers des molécules et de leurs éléments” [Baudrimont 1844, 247].

Le phénomène de capillarité qui a été beaucoup étudié tant théoriquement qu’expérimentalement [Dhombres 1989, 43–77] suscite les réflexions de Baudrimont. *L’éponge de platine*, et encore plus *le noir de platine* exercent une action spectaculaire sur le gaz hydrogène en présence d’air ; Il en est de même du cobalt et du fer très divisé : “*Les corps, en pénétrant dans les espaces capillaires y éprouvent des modifications qui les rendent quelque fois aptes à se constituer dans de nouveaux états de combinaison*” [Baudrimont 1844, 196] ; ces réflexions préfigurent les études sur la catalyse hétérogène ; il fait remarquer : “*que l’effet produit dans les réactions est d’autant plus marqué pour un corps déterminé qu’il est plus poreux et que ses pores sont plus petits*” [Baudrimont 1844, 198]. Il met alors en relation ces phénomènes avec ce que Berzelius a appelé la force catalytique. Une action catalytique a été observée par Thénard lorsque l’eau oxygénée mise en contact avec quelques métaux très divisés tels l’or, l’argent, le platine etc., se détruit instantanément en donnant l’eau et l’oxygène. Baudrimont tente d’expliquer l’action catalytique en faisant une analogie avec la capillarité. La force de cohésion qui empêche les molécules de réagir est vaincue par le contact d’un corps finement divisé qui exerce sur ces molécules une force de cohésion plus forte : “*C’est là l’idée que je me fais de l’action catalytique, et je la crois due à la même force qui détermine les phénomènes capillaires, c’est à dire à la cohésion*” [Baudrimont 1844, 218]. On voit par là que Baudrimont cherche à éviter la multiplication inutile de forces ; La position épistémologique de chercher toujours l’unité dans la diversité (ou principe d’analogie) si chère à Newton : “*La marche de la Nature est donc très simple et toujours conforme à elle-même*” se rencontre de façon récurrente dans beaucoup d’autres domaines et ce, tout au long de l’histoire des sciences et de l’histoire de la chimie en particulier [Scheidecker-Chevallier 1996A].

II-3-5 L’affinité

L’affinité est un problème qui est loin d’être bien posé à l’époque, en 1869, Charles Adolphe Wurtz déplorera : “*qu’après un siècle de recherche, l’affinité est une sorte de force dont l’esprit humain a jusque là formé le moins d’idées définies*”¹⁰. Baudrimont s’en rend compte mais il essaye malgré tout de faire le tour de la question ; En suivant le raisonnement de Baudrimont on réalise à quel point le concept de force emprunté à la mécanique newtonienne est inopérant dans ce domaine.

Il conteste l’idée généralement admise depuis la statique chimique

¹⁰Wurtz cité par T.-H. Levere dans [Levere 1971, 113].

de Berthollet que l'affinité est une force particulière antagoniste à la cohésion. En définitive : *“ce que l'on a appelé affinité chimique paraît donc être le résultat de l'action combinée de la constitution mécanique des systèmes moléculaires, de la cohésion, de la caloricité, de l'électricité et de la luminicité”* [Baudrimont 1844, 216].

Les considérations purement qualitatives que fait Baudrimont sur la cinématique des corps en 1844 seront complétées dans ses publications ultérieures où il intègre les résultats des derniers travaux des physiciens. En 1873, il conteste en particulier la nécessité de conjecturer l'existence du fluide éthéré : *“(...) les physiciens et les géomètres ont compris la nécessité de représenter les phénomènes par le mouvement ; mais au lieu d'étudier la constitution la plus intime des corps et de rapporter ces mouvements à leurs éléments, ils les ont rapportés à un fluide tout à fait hypothétique (...)”* [Baudrimont 1873, 483]. Il préfère s'appuyer alors : *“sur une théorie plus moderne (...) attribuant les phénomènes physico-chimiques au mouvement des corpuscules matériels”* [Baudrimont 1844, 432].

Les corps matériels présentent une activité phénoménale que les physiciens étudient depuis longtemps et qui devrait intéresser un peu plus les chimistes. Il s'agit : *“(...) de la pesanteur, de l'élasticité dont dépendent les phénomènes acoustiques, de la caloricité, de la lumière, des électricité, du magnétisme (...) Tous ces phénomènes, si distincts les uns des autres, sont dus à des mouvements et non à des fluides spéciaux, comme on l'a admis, depuis la fin du siècle dernier, pour la plupart d'entre eux”* [Baudrimont 1844, 448]. Pour que le mouvement soit possible il faut : *“(...) que les éléments constitutifs des corps ne se touchent point”* [Baudrimont 1844, 449]. Dès lors, ces corpuscules peuvent accomplir des mouvements spéciaux qui sont la cause première des phénomènes généraux de la physique et de la chimie.

Les phénomènes tels que l'élasticité, l'acoustique et l'électricité statique sont dus aux mouvements vibratoires des particules et des molécules, déclenchés par : *“de simples actions mécaniques telles que le frottement, le choc (...)”* [Baudrimont 1844, 485]. Le phénomène de la caloricité est du : *“aux contractions et aux dilatations des molécules produites par le rapprochement ou l'éloignement de leurs parties constituantes”* [Baudrimont 1844, 485]. Quant à la lumière, à l'électricité dynamique, au magnétisme ce sont : *“les mouvements rotatoires et vibratoires des mérons”* qui les produisent. Baudrimont se rend compte également que : *“La structure des corps cristallisés est intimement reliée avec les phénomènes optiques qu'ils présentent, relation qui est connue de tous les savants qui s'occupent de ce sujet”* [Baudrimont 1844, 486]. Postu-

ler à l'existence d'ordres différents de corpuscules (particules, molécules, mérons, etc.) permet à Baudrimont de rendre compte de phénomènes physiques bien distincts : *“Mouvement oscillatoires des particules ou des molécules, mouvement oscillatoire de leurs axes autour de leur centre de construction, mouvement réellement rotatoire des mérons ; mouvements enfin dont la vitesse s'accroît avec une extrême rapidité en passant d'un ordre dans un autre”* [Baudrimont 1844, 486]. En 1873, Baudrimont reprend ses intuitions de 1844, les travaux en physique ont cependant considérablement avancé pendant ce temps, mais à ce stade Baudrimont, comme les chimistes pour la plupart, n'est pas en mesure d'en comprendre les développements mathématiques ni les répercussions possibles en chimie ([Laidler 1985, 47-75], [Dolby 1968, 6, 29-32], [Gueron & Magat 1971, 22, 2-23]).

Nous voyons que Baudrimont essaye de relier le comportement des corps qui donne lieu à leurs propriétés tant physiques que chimiques, aux mouvements particuliers de leurs parties constituantes de différents ordres : particules, molécules, mérons, (...) Il reconnaît le caractère spéculatif de ses remarques. C'est la constitution structurale qui est primordiale [Scheidecker-Chevallier, & Gaudin 2000 53/1, 133-167]. Cependant, précise-t-il, en 1840, ce n'est pas le seul facteur qui doit entrer en jeu ; en effet, la réactivité chimique ne dépend : *“pas seulement du nombre et de l'arrangement des parties élémentaires des molécules, mais encore de la nature de ces parties élémentaires et des circonstances dans lesquelles elles se trouvent lacées. Ces conditions de l'expérimentation chimique que nous entrevoyons aujourd'hui sont elles-mêmes soumises à des lois dont nous ne pouvons soupçonner l'existence”* [Baudrimont 1840, 5-60, 17-18].

Par cette dernière phrase, Baudrimont ne semble-t-il pas appelé de ses vœux un temps où les chimistes prêteront attention aux conditions générales du changement chimique ? Ces lois qu'il espère seront celles qu'établira la chimie physique au tournant du siècle¹¹.

Conclusion

La chimie de Baudrimont qu'il nous expose dans son ouvrage de 1844 *Chimie générale et expérimentale* est originale pour l'époque car elle cherche à maintenir le lien entre chimie et physique. La *Statique corpusculaire* pour Baudrimont est l'étude de la constitution des corps et de leur architecture moléculaire, elle annonce la future chimie structurale, celle-ci doit précéder l'étude du mouvement des atomes et molécules

¹¹Pour l'histoire de cette évolution qui sort du cadre de cet article, on peut consulter : [Nye 1993, 32-53] et [Goupil 1991].

ou Cinématique corpusculaire qui préfigure la thermodynamique phénoménologique et la cinétique chimique. Baudrimont a le mérite de faire ressortir dans les travaux de ses contemporains tant chimistes que physiciens, les faits qui retiendront l'attention des physico-chimistes de la fin du siècle : *“les phénomènes qui accompagnent l'action chimique et l'influence des circonstances sur l'action chimique”*. Certes, ses spéculations uniquement qualitatives, révèlent surtout les difficultés conceptuelles qu'il faudra surmonter avant de pouvoir résoudre les questions que se pose de façon parfois très pertinente Baudrimont.

L'idée qui domine sa chimie est que la matière est divisée en parties de différents ordres : molécules, mérons, mérules, méricules, atomes qui vibrent chacune avec des quantités de mouvement propres afin de produire des phénomènes particuliers : son, chaleur, électricité, lumière¹²

Il évite de se prononcer sur la *nature* des forces qui produisent les phénomènes, il s'intéresse seulement à l'influence de ses forces, à “leur action” ; plus tard, Thomson et Tait définiront le *dynamisme* comme : *“la science qui traite de l'action des forces”* où les forces ne sont conçues qu'à partir de la variation du mouvement dont elle sont la cause (Cf. [Locqueneux 1996, 214–215]).

Avec la genèse de la chimie physique comme domaine particulier d'investigation, les lois générales des processus chimiques s'établiront et la physique et la chimie chemineront ensemble. Baudrimont comme ses contemporains, suivant en cela une longue tradition¹³, croit que les changements chimiques sont spécifiquement différents des changements physiques or les généralisations concernant les équilibres seront bientôt applicables aussi bien aux changements physiques que chimiques. A ce stade, l'identité de la chimie est remise en cause. De plus, on va être en mesure de faire des traitements généraux qui seront indépendants de toute théorie sur la structure de la matière, ce que Baudrimont ne soupçonne pas, lui qui veut tout au long de sa carrière associer étroitement la statique et la cinématique. Mais la chimie structurale reprendra vite sa pertinence pour la compréhension des mécanismes réactionnels [Brunold 1930]. Comme le relève Pattison-Muir, historien de la chimie du début du XXe siècle : *“Les vieilles questions demeurent, les chimistes et*

¹²Dès 1835, Ampère [Ampère 1835, 58, 432–444] développait déjà une idée semblable ; il attribuait les phénomènes du son aux vibrations moléculaires et ceux de la chaleur et de la lumière aux vibrations atomiques ; l'éther devait permettre à ces vibrations de se propager. On peut consulter à ce sujet [Scheidecker-chevallier & Locqueneux 1992, 227–268].

¹³La chimie montre les propriétés particulières de la matière, celles qui sont liées à la constitution intime des corps alors que la physique, que l'on réduisait à la mécanique, montre les propriétés générales des corps.

physiciens se rejoignent pour trouver de nouvelles réponses à de vieilles questions : qu'est-ce qu'une substance homogène ? Qu'arrive-t-il quand deux substances homogènes interagissent ?" [Pattison-Muir 1907].

Références

AMPÈRE, ANDRÉ-MARIE

- 1814 Lettre de M. Ampère à M. le Comte de Berthollet, sur la détermination des proportions dans lesquelles les corps se combinent d'après le nombre et la disposition relative des molécules dont leurs particules intégrantes sont composées, *Annales de Chimie*, 90, 43-86, 55.

AVOGADRO, AMEDEO

- 1811 Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps et les proportions selon lesquelles elles entrent dans ces combinaisons, *Journal de physique, de chimie et d'histoire naturelle*, 73, 58-76.

BAUDRIMONT, ALEXANDRE-EDOUARD

- 1840 Théories des substitutions discussion de M. Dumas et de M. Pelouze, *Revue scientifique et Industrielle*, 5-60, 17-18.
- 1844 *Traité de chimie générale et expérimentale*, 2 tomes, Paris : Baillièrre, t.1, 296.
- 1865 Observation sur la philosophie des sciences, *Mémoires de la Société des Sciences physiques et Naturelles de Bordeaux*, 1865, Tome III, 276-305, 281.
- 1862 *L'atomologie considérée aux points de vue statique et cinématique*, Bordeaux : Bordeaux - Coderc., 1862, 5.
- 1873 9e mémoire sur les relations entre la structure des corps et les phénomènes qu'ils accomplissent, *Mémoires de la Société des Sciences physiques et Naturelles de Bordeaux*, 431-488, 433.

BERTHOLLET, CLAUDE LOUIS

- 1803 *Essai de Statique Chimique*, Paris : Firmin Didot 1803, Bruxelles : Culture et Civilisation, 1968.

BERZELIUS, J.-J.

- 1845 *Jahresbericht*, Part.II, 1841, 12-13.

BROOKE, JOHN HEDLEY

1973 Chlorine substitution and the future of organic chemistry, *Studies in History and Philosophy of Science*, 1, 47-94, 65.

BRUNOLD, C.

1930 *Le problème de l'affinité chimique et l'atomistique*, Paris : Masson, 1930.

CHEVREUL, MICHEL EUGÈNE

1824 *Considérations générales sur l'analyse organique et sur ses applications*, Paris : 1824.

DALTON, JOHN

1805 On the absorption of gases by water and other liquids, *Memoirs of the Literary and Philosophical Society of Manchester*, Série II, Vol. I, 271-287, 286.

DAUMAS, MAURICE

1946 *L'acte chimique*, Bruxelles, Paris : Sablon), 51-60.

DHOMBRES, JEAN

1989 La théorie de la capillarité selon Laplace : Mathématisation superficielle ou étendue?, *Revue d'Histoire des Sciences*, 42, (1 / 2) 1989, 43-77.

DOLBY, R. G.-A.

1968 The emergence of a speciality, a case study : physical chemistry, *Actes du XIIe Congrès International d'Histoire des Sciences*, Paris : Aout 1968, Tome 6, 29-32.

DUMAS, JEAN-BAPTISTE

1831 Lettre de M. Dumas à M. Ampère sur l'isomérisie, *Annales de chimie et de physique*, 47, 324-335, 324.

1839 *Leçons de philosophie chimique*, Paris : Gauthier-Villars, 1878.

FISHER, NICHOLAS

1973 Organic classification before Kékulé, *Ambix*, part.1, 106-131, 117.

GAY-LUSSAC, J.-L.

1809 Mémoire sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres, *Mémoires de la Société d'Arcueil*, 2, 207-234, 207.

GOUPIL, MICHÈLE

1982 Les tentatives de mathématisation de la chimie au XVIIIe siècle,

Sciences et Techniques en Perspective, 1, (1), 1-20.

GREGORY, F.

1984 Romantic kantianism and the end of the Newton dream in chemistry, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 34, 112, 108-123.

GUERLAC, HENRY

1951 Quantification in chemistry, *Isis*, 52, 194-214.

1976 Chemistry as a branch of Physics : Laplace's collaboration with Lavoisier, *Historical Studies in the Physical Sciences*, 7, 193-276.

GUERON, J. & M. MAGAT

1971 A history of chemical (?) chemistry in France, *Annual Review of Physical Chemistry*, Vol. 22, 1971, 2-23.

HIEBERT, E.-N.

1996 Discipline identification in Chemistry and Physics, *Science in context*, 9, 93-119.

HOFMANN, A.-W.

1865 *Introduction to modern chemistry*, London : Walton and Maberley, 1865.

KAPOOR, SATISH C.

1968 Baudrimont and the theory of chemical types, *Actes du XIIIe Congrès International d'Histoire des Sciences*, Paris 1968, 37-42.

1969 The origins of Laurent's organic classification, *Isis*, 60, 477.

KIYOHISA, FUJÛ

1986 The Berthollet-Proust controversy and Dalton's chemical atomic theory, 1800-1820, *British Journal for the historical Sciences*, 19, 177-200.

LAIDLER, K.-J.

1985 Chemical Kinetics and the origins of Physical chemistry, *Archive for history of exact science*, Vol. 32, 47-75.

LAVOISIER, A.-L

1782 Mémoire sur l'affinité du principe oxigine, *Œuvres de Lavoisier*, II, éditeur, 546.

LAVOISIER, A.-L. & S. LAPLACE

1780 Mémoire sur la chaleur, in *Œuvre de Lavoisier*, II, éditeur, 238-333.

LAPLACE, PIERRE-SIMON, COMTE DE

1835 Exposition du système du monde, dans Oeuvres complètes, t. 5, Livre XII (Paris : Gauthier-Villars, 1882).

LEVERE, T.-H.

1971 *Affinity and matter*, Oxford : Oxford University Press, 1971, 113.

LOCQUENEUX, R.

1996 Préhistoire et histoire de la thermodynamique classique, *Cahiers d'Histoire et de Philosophie des Sciences*, 45, Paris : Blanchard, 1996.

MALAGUTI, F.-G.M.

1858 *Leçons élémentaire de chimie*, Paris-Dezobry, E. Magdeleine.

MAUSKOPF, SEYMOUR H.

1976 Crystals and compounds, *Transactions of the American philosophical society*, 66, 1976, 5–80.

1992 Molecular geometry in 19th century France : shifts in guiding assumptions in *Scrutinizing Science : Empirical studies of scientific change*, (edited by Arthur Donovan), Johns Hopkins University Press, 1992, 125-144.

MEHALDO, E.-M.

1985 Chemistry, physics and the chemical revolution, *Isis*, Vol 76, 1985, 195–211.

MELLOR, J.-W.

1904 *Chemical Statics and Dynamics*, London : Longmans, Green and Co., 1904.

MICÉ, L.

1882 Liste des travaux de A Baudrimont, *Actes de l'Académie Nationale des Sciences, des Belles Lettres et des Arts de Bordeaux*, 44, 557–624.

MITSCHERLICH, E.

1820 Sur la relation qui existe entre la forme cristalline et les proportions chimiques, *Annales de chimie et physique*, 14, 1820, 172–190.

NEWTON, ISSAC

1722) *Traité d'optique*, trad. de Coste, Paris : Gautier Villars, reproduction fac-similé de l'édition française, 1955.

NYE, MARY JO

1993 *From chemical Philosophy to theoretical Chemistry*, California : University of California Press, 1993, 32–53.

PATTISON-MUIR, M.-A.

1907 *A history of chemical theories and laws*, New-York : John Wiley and sons, 1907.

PELOUZE & FRÉMY

1848 *Cours de chimie générale*, Tomes 1 et 2, Paris : Masson 1848.

PERZOS, J.-F.

1839 *Introduction à l'étude de la chimie moléculaire*, Paris : J.B. Baillièrè, 1839.

REGNAULT, M.-V.

1868 *Cours élémentaire de chimie*, Paris : Victor Masson et Fils, 1868.

ROCKE, ALAN J.

1984 *Chemical Atomism in the nineteenth Century*, Columbus : Ohio state University Press, 1984.

1993 The quiet Revolution of 1850's social and empirical sources, *Chemical Sciences in the Modern World*, (edited by S.H. Mausekopf), Philadelphia : University of Pennsylvania Press, 1993, 87–118.

SCHEIDECKER-CHEVALLIER, MYRIAM

1996 Une seule chimie : histoire d'une idée féconde au XIXe siècle, *L'actualité chimique*, mars, avril, mai 1996.

SCHEIDECKER-CHEVALLIER, MYRIAM & LOCQUENEUX, R.

1992 Liens entre philosophie et sciences physiques dans l'oeuvre d'André-Marie Ampère, *Archives internationales d'Histoire des Sciences*, 42, 129, 227–268.

2000 A. Gaudin, A.-E. Baudrimont, A. Laurent et l'approche structurale de la chimie, *Revue d'Histoire des Sciences*, 2000, 53/1, 133–167.

WÖHLER, F.

1858 *Eléments de chimie inorganique et organique*, Paris : E. Mellier, 1858.

WURTZ, C.-A.

1864 *Leçons de philosophie chimique*, Paris : Hachette, 1864.