



Joseph-Louis Gay-Lussac (1778-1850)

di Marco Taddia
Dipartimento di Chimica "Giacomo Ciamician"
Università di Bologna
marco.taddia@unibo.it

E L'APPROSSIMAZIONE DIVENNE LEGGE... LE COMBINAZIONI GASSOSE DI GAY-LUSSAC

L'attitudine alla sperimentazione e al collegamento fra scienza e tecnica permisero a J.L. Gay-Lussac di contribuire fattivamente allo sviluppo della chimica e dell'industria chimica. La ricerca di regolarità nel comportamento delle sostanze gassose giunse a buon fine grazie a una valutazione realistica dei dati sperimentali.

S spesso, anche per il pubblico colto, la celebrazione dell'anniversario di uno scienziato è solo una fugace incursione nella storia della scienza in grado di ravvivare ricordi scolastici ormai sbiaditi, così come succede in campo artistico in occasione delle mostre dedicate ai grandi del passato. Meglio di niente, ma la polarizzazione dell'interesse su un singolo personaggio corre il rischio di divulgare la storia della scienza in termini un po' grossolani, coltivando una sorta di divismo scientifico che non rispecchia la realtà. È il pericolo che Aldo Mieli paventa nel magistrale profilo di Lavoisier [1], laddove sembra proporre una revisione della storia della scienza come semplice storia di eroi, attri-

buendo piuttosto al genio scientifico la qualifica di potente organizzatore, come fece anche Ostwald. Nell'anno 2006, ricorrendo il 150° anniversario della morte di Amedeo Avogadro (1776-1856), un artefice della moderna teoria atomica, non sono mancate le occasioni per definire il contesto scientifico da cui scaturì la famosa "ipotesi" dello stesso Avogadro.

Fra le manifestazioni, si ricorda il Convegno "Avogadro e la cultura scientifica del primo Ottocento", organizzato dall'Accademia delle Scienze di Torino e dall'Università del Piemonte Orientale (Torino-Vercelli, giugno 2006), nonché la commemorazione di Avogadro tenuta da Cerruti e Ciardi in apertura del XXII Congresso della

Società Chimica Italiana (Firenze, settembre 2006). È apparsa inoltre la prima biografia in lingua italiana dello stesso Avogadro, opera di Ciardi [2], il quale, anche tramite *Sapere* [3], ha contribuito ulteriormente a far conoscere al grande pubblico questo scienziato. Queste iniziative, per forza di cose, hanno messo in particolare rilievo il ruolo di Avogadro. È tempo ora, concluse le celebrazioni, di ricordare colui al quale Avogadro è debitore di una scoperta fondamentale, tanto da citarlo proprio in apertura dell'*Essai d'une manière de déterminer les masses relatives des molécules élémentaires des corps* [4], ossia Joseph Louis Gay-Lussac. A parere di chi scrive, una riflessione aggiuntiva sulle ricerche di Gay-Lussac relative alle combinazioni fra gas non stonerà su un giornale di chimica industriale perché Gay-Lussac diede importanti contributi anche a questa materia. Chi non ricorda infatti la torre di Gay-Lussac, componente dell'impianto a camere di piombo per la sintesi dell'acido solforico? Meno noti, ma altrettanto importanti, i suoi contributi alla chimica merceologica (alcoholometro e scala dei gradi alcoolici), alla chimica analitica (analisi per titolazione), alla chimica inorganica (iodio e cloro), alla chimica fisica (le ricerche con Thenard) e allo sviluppo di apparecchiature (barometro, eudiometro, muffola, Fig. 2a-c). È probabile che proprio la sua abilità nel collegare scienza e tecnica, abbinata a una straordinaria propensione alla sperimentazione, siano stati i mezzi decisivi che gli permisero di giungere alla nota legge dei volumi in maniera, come vedremo, quasi pragmatica.

La vita di Gay-Lussac

Di Joseph-Louis Gay-Lussac esiste un'ottima biografia dovuta a Crosland [5], che si aggiunge all'ampio spazio dedicatogli da Partington [6], mentre notizie in forma concisa si possono trovare sul sito web del Museo a lui dedicato [7].

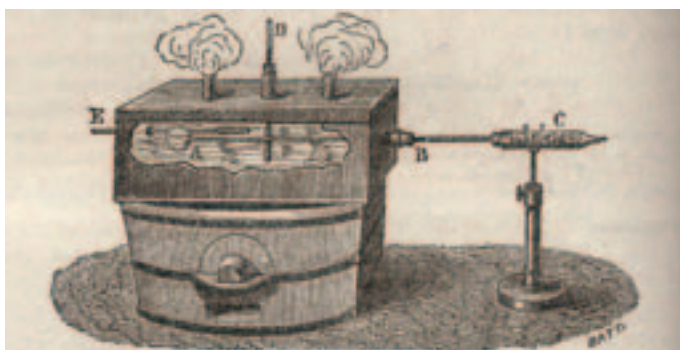
Joseph Louis Gay-Lussac nacque il 6 dicembre 1778 a Saint Léonard de Noblat, nel Limosino, da Antoine Gay e Léonarde Bouriquet. Il cognome Gay-Lussac deriva dal paese di Lussac, distante 3 Km da Saint Léonard, dove Antoine Gay aveva acquistato la fattoria e il podere che permisero alla famiglia di superare le ristrettezze imposte dalla Rivoluzione. Fu il primo studente dell'Haute Vienne ad essere ammesso all'Ecole Polytechnique e vi fece il suo ingresso il 26 dicembre 1797. All'Ecole divenne intimo amico di Amédée Berthollet, figlio del celebre chimico. Quando la sua situazione finanziaria peggiorò, fu costretto a guadagnarsi da vivere impartendo lezioni private. Il 22 novembre 1800 lasciò l'Ecole Polytechnique e passò all'Ecole des Ponts et Chaussées. Tre anni dopo ne uscì con il titolo di "Allievo Ingegnere" e iniziò subito a lavorare nel laboratorio dell'Ecole Polytechnique, sotto la guida di Berthollet, di cui era diventato assistente il 31 dicembre 1802. Poco dopo si trasferì ad Arcueil, una località nei pressi di Parigi dove lo

stesso Berthollet, insieme al matematico Laplace, aveva fondato un circolo scientifico dal quale si sarebbe originata la Société d'Arcueil, aperta anche ai giovani talenti [8]. Ne faranno parte, oltre a Gay-Lussac, i chimici Chaptal, Thenard, Collet-Descotils, Bérard, Dulong e il giovane Berthollet. I fisici saranno rappresentati da Biot, Arago e Malus; i naturalisti da Humboldt e Augustin de Candolle; mentre per i matematici si aggiungerà Poisson. Ad Arcueil, Gay-Lussac instaurò un rapporto di collaborazione con Alexander von Humboldt che si tramutò presto in una stretta amicizia. Intanto, il 23 settembre 1804 era divenuto assistente di Fourcroy, sempre all'Ecole Polytechnique.

Nel 1805, con Humboldt, intraprese un viaggio che lo portò in Svizzera, Germania e Italia. Qui, oltre a incontrare Alessandro Volta a Milano e a visitare le terme di Nocera, i due scalarono, incuranti del pericolo, il Vesuvio durante un'eruzione. L'anno dopo Gay-Lussac fu ammesso all'*Institut National*. Nel 1808 sposò Geneviève Rojot che gli diede cinque figli. Nel 1809 divenne professore di chimica applicata all'Ecole Polytechnique e professore di fisica alla Sorbona. Morto Fourcroy, titolare della cattedra di chimica all'Ecole, gli subentrò il 1° gennaio 1810. Assunse la direzione degli "Annales de Physique et de Chimie", usciti in forma rinnovata, nel 1816, insieme ad Arago. Nel frattempo ricoprì altri incarichi pubblici. Fra di essi si ricorda quello di capo-analista della Zecca. Fu poi censore alla Saint-Gobain, di cui divenne Presidente del Consiglio di Amministrazione nel 1843. Fu eletto deputato dell'Haute Vienne nel 1834. Divenne Pari di Francia nel 1839 e l'anno dopo si dimise dall'Ecole. Trascorse gli ultimi anni della sua vita nella quiete di Lussac dove si era fatto costruire un castello che aveva disegnato di persona. Morì a Parigi il 9 maggio 1850.

L'opera scientifica

Non è possibile citare qui, nemmeno in elenco, tutto ciò di cui si è occupato Gay-Lussac e che non rientra nello scopo di questo lavoro, ossia le ricerche sulle combinazioni gassose. D'altronde, la storia della chimica già citata [6] adempie allo scopo. È probabile che a rafforzare l'interesse di Gay-Lussac per i gas sia stato il sodalizio con Humboldt, insieme con la passione per il volo aerostatico che in quegli anni contagiava un po' tutti, dopo che Jacques Charles nel 1783 aveva compiuto la prima ascensione con un pallone a idrogeno. Humboldt si era interessato dell'analisi dell'aria prima di Gay-Lussac, soprattutto allo scopo di rivelare variazioni da luogo a luogo o con l'altitudine. L'allora Consigliere dell'Agenzia Mineraria del Re di Prussia aveva pubblicato tre brevi memorie sul *Bulletin des Sciences par la Société Philomatique* del 1798 [9]. La prima e la seconda erano dedicate al gas nitroso (oggi ossido di azoto, NO) e alle sue combinazioni con l'ossigeno, la terza trattava in maniera più

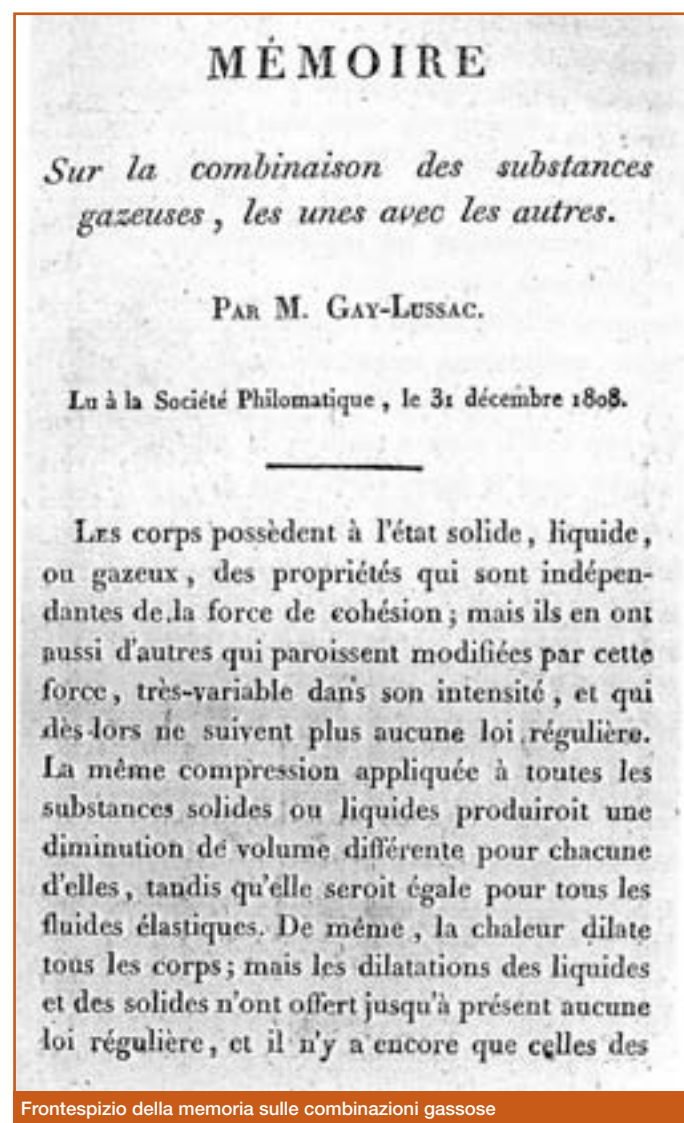


Apparecchiatura di Gay-Lussac per misurare la dilatazione dei gas

specifico di un presunto composto ternario fra il fosforo, l'azoto e l'ossigeno. I risultati presentati da Humboldt erano il frutto di esperimenti condotti presso il laboratorio dell'Ecole des Mines, in collaborazione con Vauquelin e Tassaert. Lo scopo era quello di verificare le prestazioni del gas nitroso come mezzo eudiometrico per l'assorbimento dell'ossigeno, di confrontarle con quelle di altri sistemi e, infine, di determinare esattamente il tenore di ossigeno dell'aria (per lui oscillante fra 23 e 29%).

Come si legge nella prima memoria, Humboldt stava per intraprendere un viaggio nelle Indie e l'analisi dell'aria che avrebbe condotto in quel luogo sarebbe servita a stabilire se la sua composizione in zona torrida era diversa. I risultati di Humboldt, però, suscitarono critiche immediate, cominciando da Nicolas-Théodore de Saussure. Così, al ritorno dal viaggio, Humboldt associò alle sue ricerche il giovane Gay-Lussac che, nel frattempo (1802) aveva perfezionato la legge di Charles, ideato un sistema per misurare il coefficiente di dilatazione dei gas e compiuto un paio di memorabili ascensioni in pallone aerostatico a scopo di ricerca scientifica. La prima con Biot, il 24 agosto 1804 (4000 m), la seconda da solo il 16 settembre dello stesso anno (7016 m) [10]. Humboldt e Gay-Lussac lavorarono giorno e notte con entusiasmo, condividendo anche l'alloggio. Il frutto furono le *Expériences sur les moyens eudiométriques, et sur la proportion des principes constitutifs de l'atmosphère*, letta il 1° piovoso e pubblicata sul Journal de Physique nel 1805 [11]. Il contenuto in ossigeno dell'aria era, secondo gli A., da stabilire con maggior precisione poiché l'intervallo 20-23%, determinato da Cavendish, Marti, Berthollet, Fourcroy e Davy era troppo ampio. Con i nuovi mezzi a disposizione ci si poteva riuscire e, di conseguenza, si poteva controllare se la composizione dell'atmosfera era davvero soggetta a variazioni. A parte questo, gli A. lo considerano quasi un atto di riparazione in quanto le precedenti esperienze di Humboldt, come loro stessi riconoscono, vengono definite "un travail de sa première jeunesse", assai inesatte e, come tali, giustamente criticate da Davy e Berthollet. I mezzi eudiometrici che impiegavano per determinare il tenore in ossigeno

dell'aria furono i solfuri alcalini, in particolare quello di potassio, e l'idrogeno. Quest'ultimo venne fatto deflagrare con l'ossigeno dell'aria entro l'eudiometro di Volta. Stante la limitazione in precisione e sensibilità del solfuro, gli A. si concentrarono sull'eudiometro di Volta, con lo scopo di verificare: 1) la completezza della reazione; 2) la costanza del prodotto; 3) la proporzione esatta in cui i due gas reagivano per formare acqua; 4) i limiti di errore dell'apparecchiatura. Vennero fatti reagire fra loro idrogeno e ossigeno, utilizzando sempre 100 parti in volumi del primo e quantità crescenti del secondo. Fino al rapporto 1:9 l'assorbimento, ossia la riduzione in volume, era costante (valore teorico 150). Con più ossigeno l'assorbimento decresceva, fino a quando (1:16) non si osservò più deflagrazione. Per determinare poi il rapporto fra idrogeno e ossigeno nell'acqua eseguirono una serie di dodici esperimenti di deflagrazione.



Frontespizio della memoria sulle combinazioni gassose

ne di 100 parti di ossigeno con 300 parti di idrogeno, ottenendo un residuo medio di 101,3 ($s=0,5$). Analizzandolo con solfuro alcalino videro che conteneva lo 0,4% di ossigeno, perciò, fatte le debite correzioni, stabilirono che 99,6 parti di ossigeno avevano reagito con 199,1 di idrogeno, cioè 100: 199,89 (“en nombres ronds” 100:200). Gay-Lussac e Humboldt, i cui dati si prestano ancor oggi all’insegnamento della chimica [12], riportano anche l’esperimento inverso, ossia la reazione di 200 parti di idrogeno con 200 parti di ossigeno, in modo da far sparire l’idrogeno e non l’ossigeno. Tenendo conto della presenza di impurezze di azoto nell’idrogeno giunsero a conclusioni analoghe e poi, con altre prove, conclusero che le variazioni di temperatura ed umidità non alteravano il rapporto fra i volumi. Il resto del lavoro è dedicato alla valutazione dei limiti d’errore dell’apparecchiatura.

A questo scopo venne preparata e fatta deflagrare con idrogeno aria “sintetica” costituita da ossigeno e azoto molto puri (20+80). Infiammando 200 parti di aria con 200 parti di idrogeno trovarono “solo” 0,008 parti di ossigeno in più rispetto a quelle teoriche.

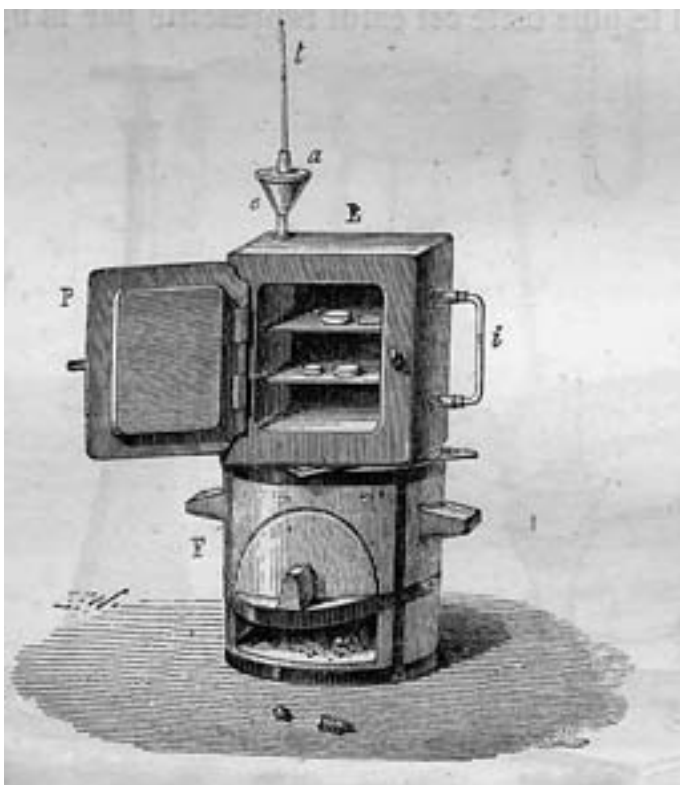
La conclusione degli A. fu che i dati forniti dall’eudiometro di Volta erano molto concordanti e che la massima differenza era di circa un millesimo rispetto al campione d’aria analizzato. Perciò, secondo Humboldt e Gay-Lussac, l’illustre Volta “auroit encore la gloire d’avoir donné à la chimie l’instrument le plus exact et le plus précieux pour ses analyses”. Chaptal e Berthollet, recensendo il lavoro di Humboldt e Gay-Lussac sullo stesso *Journal*, lodarono l’esattezza e la precisione delle analisi e misero in risalto le nuove e interessanti applicazioni del metodo [13]. Tuttavia, passarono altri quattro anni prima che Gay-Lussac generalizzasse la sua scoperta sulla combinazione dei volumi gassosi. Forse non ne apprezzò subito la portata o fu frenato da qualcosa che non conosciamo. Preferì, infatti, tornare ai precedenti interessi sugli effetti termici della dilatazione e compressione dei gas, presentando all’*Institut* il 15 settembre 1806 un lavoro sull’argomento che verrà pubblicato l’anno dopo [14] e che precederà quello di Joule di circa quarant’anni [15]. Finalmente, il 31 dicembre 1808, lesse alla *Société Philomatique* il *mémoire* che porta il titolo *Sur la combinaison des substances gazeuses, les unes avec les autres* [15]. La ricerca di regolarità nel comportamento delle sostanze gassose appare il principale obiettivo di Gay-Lussac. Già nell’introduzione, infatti, l’autore manifesta il proposito di far conoscere nuove proprietà dei gas con effetti regolari, di provare che le sostanze gassose si combinano tra loro in rapporti molto semplici e, infine, che la riduzione di volume provocata dalla combinazione segue, essa stessa, una legge regolare. Gay-Lussac sperava anche di fornire la prova che non era troppo lontana l’epoca in cui la maggior parte dei fenomeni chimici sarebbe stata oggetto di calcolo matematico. Dopo queste premesse, Gay-Lussac rife-



Preparativi per un volo aerostatico con pallone ad idrogeno

risce sui suoi esperimenti. Il primo riguarda la reazione di tre diversi gas (fluoborico, muriatico e carbonico – oggi BF_3 , HCl , CO_2) con il gas ammoniacale (NH_3). Trovò, ad esempio, che 100 parti di gas muriatico saturavano precisamente 100 parti di gas ammoniacale e il sale risultante era perfettamente neutro, sia che si mettesse un eccesso dell’uno o dell’altro. Al contrario, il gas fluoborico si univa al gas ammoniacale in due diversi rapporti a seconda delle modalità con cui si conduceva la reazione. A questi esperimenti ne seguirono altri che interessavano, ad esempio, l’ossido di carbonio, l’ossigeno, l’idrogeno, l’azoto, l’ossido d’azoto, il gas solforoso, il gas nitroso, il vapor d’acqua ecc. Di notevole interesse lo sviluppo dei calcoli, volti a confrontare le densità sperimentali note con quelle dedotte dai rapporti di combinazione e dalla contrazione di volume. Per l’ossido di carbonio, posto a reagire con ossigeno per dare biossido, Gay-Lussac calcolò un valore di 0,9678 (considerata unitaria la densità dell’aria), mentre quello sperimentale di Cruickhanks era 0,9569. La piccola differenza (+1,1%) non fu considerata significativa e non impedì all’A. di “arrotondare” i risultati, così stabili che due volumi di ossido di carbonio reagivano con un volume di ossigeno per dare due volumi di biossido di carbonio. Visti anche gli altri casi, Gay-Lussac poté concludere: “Ainsi il me parôit évident que tous les gaz en agissant les uns sur les autres, se combinent toujours dans les rapports les plus simples; et nous avons vu, en effet, dans tous les exemples précédents, que le rapport de combinaison est de 1 à 1, de 1 à 2, ou de 1 à 3.”

Detto ciò, Gay-Lussac non poteva eludere una domanda insidiosa che assillava i chimici da tempo. Ci si chiedeva infatti, e lo stesso



Stufa di Gay-Lussac

Gay-Lussac lo ripete nel lavoro, se le combinazioni chimiche avvenissero in qualunque proporzione oppure no. Vi erano due correnti di pensiero; una faceva capo a Claude Louis Berthollet e l'altra a Joseph Louis Proust. Mentre il primo, portando come esempi i vetri e le leghe metalliche, sosteneva in pratica che le combinazioni fossero possibili in tutte le proporzioni, il secondo non era d'accordo e parlava di proporzioni definite, quasi come John Dalton il quale

afferma che le combinazioni chimiche avvenivano atomo per atomo, senza intermediari. Gay-Lussac era in evidente imbarazzo in quanto Berthollet era il suo maestro e protettore, mentre i suoi esperimenti sui gas sembravano confermare proprio la teoria di Proust. Se la cavò con un compromesso, perché "queste due opinioni... apparentemente opposte, è facile conciliarle". Così ammise, in accordo con Berthollet, che si possono ottenere dei composti con proporzioni dei costituenti molto variabili. Nel contempo si può dire che l'azione chimica fra gli elementi si esercita in maniera più potente fra rapporti semplici dei medesimi o in proporzioni multiple. Berthollet, commentando i risultati di Gay-Lussac dovette, a sua volta, prendere posizione. Stimava il discepolo, ma non se la sentiva di rinunciare alla sua visione delle cose. Anche lui se la cavò cercando di salvare capra e cavoli. Scrisse infatti sui *Mémoires d'Arcueil*: "Le osservazioni esposte da Gay-Lussac nel presente volume, sembrerebbero provare che le combinazioni intermedie non hanno luogo per le sostanze semplici gassose...ma se si considera la vastità delle combinazioni...prese in considerazione dalla chimica, sembrerebbe che una quantità enorme di esse o non sia soggetta a questa legge, o lo sia in modo da sfuggire alla nostra percezione" [17]. Il freno di Berthollet era quindi evidente e lo stesso Gay-Lussac non poteva sfuggirgli.

Così, ad esempio, si decise ad usare il termine "atomo" solo dopo la morte del maestro, nella memoria sui prussati [18]. Da rilevare, infine, che le approssimazioni di Gay-Lussac, benché ammirate, non convinsero subito le "autorità" scientifiche. Ne è prova anche la lettera di Dalton a Berzelius del 1802. Dalton non ammetteva quella "dottrina francese" e non ne comprendeva il senso matematico, tuttavia riconosceva proprio che vi era "something wonderful in the frequency of the approximation" [6].

Bibliografia

- [1] A. Mieli, Lavoisier, Formiggini, Roma, 1926.
- [2] M. Ciardi, Amedeo Avogadro - Una politica per la scienza, Carocci, Roma, 2006.
- [3] M. Ciardi, *Sapere*, 2006, **72**(5), 56.
- [4] A. Avogadro, *Journal de Physique*, 1811, **LXXVIII**, 58.
- [5] M. Crosland, Gay-Lussac, Scientist and Bourgeois, Cambridge University Press, Cambridge, 1978.
- [6] J.R. Partington, A History of Chemistry, Martino Publishing, v. 4, Mansfield, 1972, p. 77.
- [7] <http://apella.ac-limoges.fr/musee-gay-lussac/Famille/Famille-en.html>
- [8] M. Crosland, The Society of Arcueil. A view of the French Science at the Time of Napoleon I, Cambridge, Mass., Harvard Univ. Press, 1967.
- [9] A. Humboldt, *Bull. Soc. Philomatique*, 1798, **17**, 132; **18**, 140, **21**, 165.
- [10] A. Ganot, Trattato di fisica, Milano, 1864, p. 122.
- [11] A. Humboldt, J.F. Gay-Lussac, *Journal de Physique*, 1805, **60**, 129.
- [12] C. Fiorentini, E. Aquilini, D. Colombi, A. Testoni, *CnS*, 2006, **28**(4-5), 14.
- [13] Chaptal, Berthollet, *Annales de chimie*, 1805, **52**, 239.
- [14] J.L. Gay-Lussac, *Mém. Soc. Arcueil*, 1807, **I**, 180.
- [15] C. Joule, *Phil. Mag.*, 1845, **XXVI**, 369.
- [16] J.L. Gay-Lussac, *Mém. Soc. Arcueil*, 1809, **II**, 207.
- [17] C.L. Berthollet, *Mém. Soc. Arcueil*, 1809, **II**, 470.
- [18] J.L. Gay-Lussac, *Ann. Chim.*, 1823, **22**, 320.