

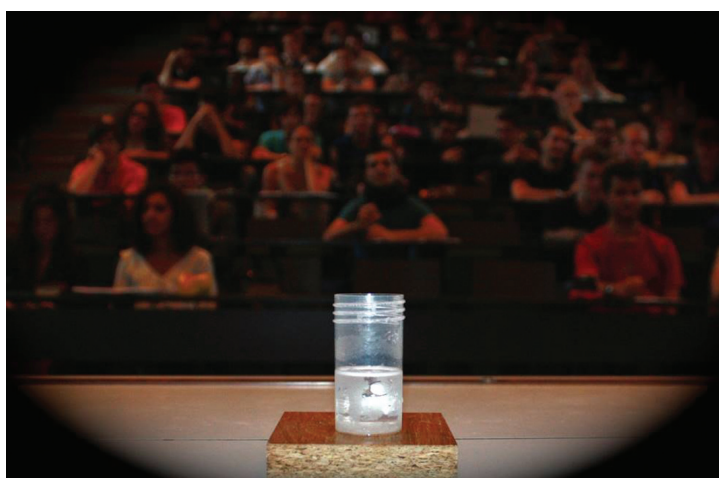
Pourquoi faisons-nous des expériences en cours d'université ?

Un témoignage

Résumé Depuis quelques années, nous faisons systématiquement des expériences en cours d'amphi. À l'heure où l'intérêt même des cours magistraux est discuté, nous nous interrogeons sur nos pratiques. Comment en sommes-nous arrivés là ? Est-ce vraiment utile ? Qu'en pensent nos étudiants ?

Abstract **Why shall we perform demonstrations in lecture halls? A testimony**

We perform demonstrations during our thermochemistry lectures at the university. As the interest of traditional lectures is currently debated, it is relevant to discuss this practice. Why did we decide to perform demonstrations? Is it really useful? What is the opinion of our students on this practice?



Comment accrocher les étudiants avec un peu d'eau froide...

Si vous traversez le parvis du campus Jussieu un lundi ou un jeudi vers 10 h 30, vous croiserez peut-être l'un d'entre nous ployant sous le poids de cabas remplis d'un attirail divers : caméra, pied télescopique, plaque chauffante, pinces, produits chimiques, canettes en aluminium, glaçons, blouse, papier absorbant, pissettes d'eau, bouilloire... Il se rend vraisemblablement à son cours de thermochimie ! Depuis quelques années, nous faisons régulièrement des expériences pendant nos cours d'amphi en licence à Sorbonne Université (Paris). Comment en sommes-nous arrivés là alors que cette pratique avait bizarrement disparu des cours de chimie, en tout cas dans notre université ? Est-ce vraiment utile quand tant de ressources sont disponibles sur Internet ? Qu'en pensent nos étudiants ? À l'heure où l'intérêt même des cours magistraux est discuté, il est temps de s'interroger sur nos pratiques.

Pendant quelques années, nous avons enseigné la thermodynamique appliquée à la chimie en cours magistral traditionnel, en déroulant bien proprement à la craie son formalisme. Il était parfois difficile de maintenir l'attention des étudiants pendant deux heures, malgré de nombreuses discussions avec eux sur des problèmes de thermodynamique de la vie courante. À l'occasion d'une refonte complète de notre enseignement de thermochimie de deuxième année de licence, nous avons décidé de réaliser une expérience à chaque cours,

spectaculaire si possible. Il ne s'agissait pas d'une grande innovation pédagogique puisque c'est ainsi que la chimie fut enseignée en France et ailleurs dès le XVIII^e siècle [1-3]. Néanmoins, dans notre université, cette pratique avait été abandonnée au profit des séances de travaux pratiques réalisés par les étudiants, ou était restreinte à la vulgarisation scientifique, lors de la Fête de la Science par exemple. Nos collègues physiciens, eux, ont toujours conservé une plateforme pédagogique d'expériences (précédemment appelée collection de physique) [4] et l'habitude d'illustrer leurs cours d'amphi par des expériences, réalisées grâce à l'appui d'un personnel technique. On peut noter que dans le monde anglo-saxon, le recours aux expériences de cours en chimie semble plus établi et plus systématique qu'en France. Cela transparait d'abord dans le terme utilisé en anglais pour désigner cette activité spécifique, « *demonstration* », qui évoque immédiatement le côté spectaculaire de l'expérience. Cela se traduit aussi par une littérature abondante (par exemple [5]) qui fait bien la distinction entre « *demonstrations* » et expériences de travaux pratiques à réaliser par les étudiants au sein d'un laboratoire.

Nos objectifs avec ces expériences de cours sont multiples. D'abord, nous captons l'attention de nos étudiants plus efficacement qu'avec une vidéo, car rien n'est plus frappant que le réel. Nous choisissons de préférence des expériences spectaculaires, ou nous les scénarisons pour les rendre telles. Quoi de plus amusant par exemple que de voir son enseignant, si sûr de lui quand il écrit des dérivées partielles, sursauter quand il fait imploser une canette en aluminium remplie de vapeur d'eau brûlante ? De plus, la réalisation d'expériences rend le cours magistral en lui-même moins impressionnant. Le professeur ne représente plus une autorité inaccessible qui proclame une vérité indiscutable mais est un humain faillible (car parfois, l'expérience rate...), avec qui on peut discuter. Si on prend soin de répéter avec une voix forte ce que chuchotent les étudiants qui osent intervenir au début, des discussions interactives émergent rapidement. Elles sont aussi l'occasion de montrer l'intérêt de formuler de manière précise et rigoureuse les observations et les interprétations. Parfois, nous suscitons la curiosité des étudiants en présentant l'expérience comme un tour de magie. Par exemple, nous démarrons le premier cours en réalisant dans un bécher la dissolution de nitrate

d'ammonium solide dans de l'eau bien froide, réaction si endothermique que le bécher colle à une plaquette en bois sur laquelle on a préalablement placé une goutte d'eau. Ce type d'expérience réalisée en début de cours est l'accroche qui permet d'énoncer les questions scientifiques auxquelles on répondra au fil de la séance ou du semestre :

- Certaines réactions consomment de l'énergie, d'autres en produisent : peut-on mesurer/calculer ces échanges ?
- Pourquoi ces différences ?
- Est-ce intuitif qu'une réaction qui consomme de l'énergie soit spontanée ? Quel critère utiliser pour prévoir si une réaction a lieu spontanément ?
- Pourquoi l'eau « salée » est-elle encore liquide à - 8 °C ?
- À quelle température va-t-elle se solidifier ?

Un autre aspect utile de la discussion qui suit la réalisation d'une expérience concerne ses limites ou les limites de son interprétation. En effet, en cherchant à être démonstratif, on est parfois amené à tromper son public en s'appuyant sur des hypothèses simplificatrices. Pour présenter le phénomène d'osmose, nous plongeons dans un bécher rempli d'eau une membrane remplie de sirop de menthe, cette membrane étant surmonté d'un tube. Ceci permet certes d'observer la montée du sirop dans le tube, mais dans le même temps du sucre, incolore, traverse en fait la membrane. Quand les étudiants sont particulièrement réceptifs, ceci peut être discuté avec eux et permet d'exercer leur esprit critique en discutant les hypothèses initiales. Enfin, un intérêt évident de l'expérience de cours est qu'elle permet de faire une pause dans le déroulement du cours, mais cette fonction est aussi efficacement remplie par une vidéo.

Nous avons surtout pratiqué les expériences de cours en thermochimie, car cette discipline s'y prête tout particulièrement. De nombreux phénomènes quotidiens, accessibles ou spectaculaires, sont en effet aisément expliqués par la thermodynamique, ce qui motive l'apprentissage de concepts dont certains restent difficiles et empreints d'un formalisme ardu pour les étudiants. Dans nos cours de chimie des solutions en première année de licence, nous avons eu plus de difficulté à trouver quelles expériences présenter. L'expérience du dentifrice d'éléphant (« elephant toothpaste »), très facile à trouver en vidéo en ligne, remporte un vif succès et permet d'évoquer la catalyse redox. Dans ce cas précis, nombreux sont les étudiants qui connaissent déjà l'expérience pour avoir visionné les vidéos, mais ils sont d'autant plus satisfaits de la voir en vrai et de pouvoir enfin l'interpréter.

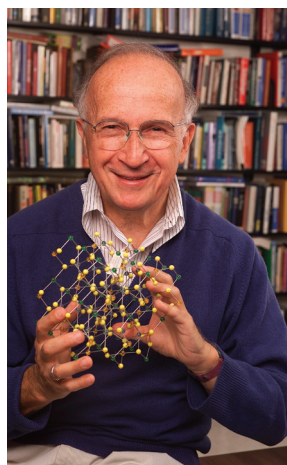
Parmi les raisons pour lesquelles peu de collègues réalisent des expériences en cours, il y a peut-être le fait que ce type d'action demande un investissement important, et donc une grande motivation. Cela prend du temps de trouver une expérience adéquate, de réunir le matériel nécessaire (sans support technique dédié), de faire des essais, le tout en tenant compte du fait que l'amphithéâtre est souvent totalement inadapté (pas de paillasse, pas de point d'eau, et évidemment pas de sorbonne). On doit anticiper le fait que l'expérience doit être visible de loin, donc éventuellement prévoir un système de prise de vue. Il faut transporter tout le matériel. Et pour terminer, une partie non négligeable du temps d'enseignement est consacrée à la réalisation et à la discussion de l'expérience. Nous n'avons pas évoqué le coût de l'opération. Dans notre cas, il est supporté par les services de travaux pratiques et par nos laboratoires de recherche dans lesquels nous sommes

souvent amenés à emprunter des produits chimiques. Enfin, si l'aspect spectaculaire peut augmenter l'attrait de l'expérience, il ne faut pas négliger la sécurité. Ainsi, l'approche défendue par J. Walker, professeur de physique à Cleveland State University, qui se propose par exemple de tremper sa main dans du plomb fondu, ne semble pas recommandée : « *The way to capture a student's attention is with a demonstration where there is a possibility the teacher may die* »⁽¹⁾ [5]. De fait, en 2017, il y a eu plusieurs accidents lors de présentations expérimentales par des professeurs dans des établissements d'enseignement secondaire : Limoges (mai), Saint-Lô (juin), Muri en Suisse (mars). De façon analogue, entre 2011 et 2015, l'American Chemical Society a recensé plus de 72 blessés aux États-Unis suite à des expériences menées par les professeurs [6]. Suite à ce constat, un document a été publié pour que ces présentations se fassent dans de meilleures conditions de sécurité [7].

Quand nous demandons à nos étudiants s'ils apprécient les expériences réalisées en cours, une très grande majorité répond par l'affirmative (97 % pour 79 réponses). Les raisons les plus évoquées pour motiver cette réponse (parmi plusieurs propositions) sont que :

- cela aide à comprendre une notion (85 %) ;
- cela soulève la curiosité (73 %) ;
- cela fait une petite pause dans le cours (66 %).

Quant à nous, au-delà de l'intérêt pédagogique déjà mentionné, nous prenons clairement plaisir à la présentation d'expériences en cours. Nous partons vers l'amphithéâtre avec un léger trac et en revenons joyeux. S'il est aisé de trouver des vidéos ou autres ressources qui montrent l'aspect spectaculaire, mystérieux, voire magique de la chimie, rares sont les occasions d'exploiter cet émerveillement et de le dépasser en montrant que cet effet est compris et peut être maîtrisé. Utiliser une expérience de cours est donc aussi une possibilité de faire plaisir (et de se faire plaisir) en utilisant un phénomène « *exocharmique* » (qui dégage du charme [8-9]).



Roald Hoffmann (photo : Gary Hodges, www.roaldhoffmann.com).

Pour conclure nous laissons la parole à Roald Hoffmann, prix Nobel de chimie 1981, dans la préface de l'ouvrage de Roesky et Möckel [10]⁽²⁾ :

« [...] *in the hands and words of a good teacher, so many more and valuable things may flow from that demonstrations:*

... *a repeated metaphor for the art of chemistry, which after all was and is the art, craft, science and business of substances and their transformations,*

... *the punctuation point, the summary of the essence of a principle,*

... *the intellectual alarm clock, provoking chemical enlightenment,*

... *the essential question, whose asking makes a teacher delirious if it arises in the minds of just a few: "What is happening?"*

... *a return to the real world; science works with flights of imagination interspersed with contact with mundane but ever-puzzling reality. The process of teaching naturally stresses symbols - words, concepts, and theories. The demonstration touches the earth. It may be staged, but it is tangible. »*

Notes et références

(1) « Pour capter l'attention d'un étudiant avec une expérience, il faut que la possibilité que l'enseignant meure existe. »

(2) « [...] dans les mains et les mots d'un bon enseignant, tellement plus et mieux peuvent découler de ces expériences :

... une métaphore répétée de l'art de la chimie, qui après tout était et est l'art, l'artisanat, la science et l'exploitation des substances et de leurs transformations,

... le point de ponctuation, la quintessence d'un principe,

... le signal d'alarme intellectuel, provoquant l'illumination chimique,

... la question essentielle, qui fait jubiler un enseignant même si elle ne se pose que dans l'esprit de quelques-uns : « Que se passe-t-il ? »

... un retour au monde réel ; la science fonctionne par des envolées d'imagination entrecoupées de contacts avec la réalité ordinaire mais toujours déconcertante. Le processus d'enseignement met naturellement l'accent sur les symboles - les mots, les concepts et les théories. L'expérience est terre-à-terre. Elle peut être mise en scène, mais reste tangible. »

[1] Lehman C., Les multiples facettes des cours de chimie en France au milieu du XVIII^e siècle, *Histoire de l'Éducation*, **2011**, 130, p. 31.

[2] Faraday M., Crookes W., *A Course of Six Lectures on the Chemical History of a Candle*, Harper & Brothers, **1861**.

[3] Thomas J.M., Davy et Faraday : deux génies contrastés, *L'Act. Chim.*, **1997**, 201, p. 23 et 202, p. 29.

[4] http://physique.sorbonne-universite.fr/fr/appui_enseignement2/plateformepedagogiquedexperiences.html (consulté le 13/09/2018).

[5] Shakhshiri B.Z., *Chemical Demonstrations: A Handbook for Teachers of Chemistry*, vol. 5, University of Wisconsin Press, **2011**.

[6] <http://2015.cenmag.org/classroom-fires-during-science-demonstrations.html> (consulté le 13/09/2018).

[7] Kemsley J., Teaching safely, *Chem. Eng. News*, **2015**, 93, p. 37.

[8] Ramette R.W., Exocharmic reactions, *J. Chem. Educ.*, **1980**, 57, p. 68

[9] Depovere P., *La chimie exocharmique : quiz, tours de magie et autres anecdotes ou démonstrations chimiques extraordinaires*, De Boeck-Wesmael **1993**. Le contenu de cet ouvrage a ensuite été réédité dans le livre *Oh, La Chimie ! Quiz, tours de magie et autres anecdotes ou démonstrations chimiques extraordinaires !* (Dunod, **2004**) dans lequel le lecteur ne retrouvera malheureusement pas les 281 références que l'auteur avait compilées dans sa bibliographie.

[10] Roesky H.W., Möckel K., *Chemical Curiosities*, VCH, **1996**.

Marie JARDAT*,

professeur des universités, Laboratoire PHENIX, Sorbonne Université.

Guillaume MÉRIGUET,

maître de conférences, Laboratoire PHENIX, Sorbonne Université.

Alexa COURT,

professeur des universités, laboratoire MONARIS, Sorbonne Université.

*marie.jardat@sorbonne-universite.fr

Dernière parution de la collection *CHIMIE ET...*

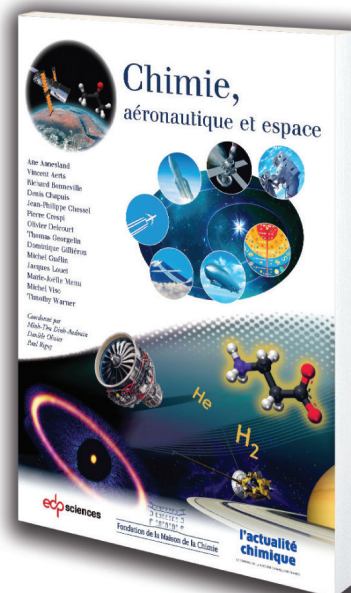
Paru en Septembre 2018

Chimie, aéronautique et espace

Coordination éditoriale par M.-T. Dinh-Audouin, D. Olivier et P. Rigny

Malgré les difficultés concrètes dues au manque de combustible fossile qui s'esquisse, le transport aérien reste une priorité. La mondialisation galopante impose des contacts humains réels entre pays différents, aux extrémités du monde. L'utilisation des satellites pour les télécommunications est devenue indispensable, par exemple pour le développement d'Internet ou pour les GPS. Les demandes de surveillances tous azimuts par les drones ou par les petits satellites se multiplient. Tout indique que l'utilisation de l'espace, l'un des grands thèmes de la technologie actuelle, le restera pour les années qui viennent.

On trouvera dans ce livre l'exposé des multiples objectifs des recherches qui nous préparent le futur en matière de transport aérien et d'exploration de l'espace. Pour réussir les projets souvent aussi ambitieux que hardis, la recherche est sollicitée de façon majeure. Cette recherche, c'est dans une large mesure celle de nouveaux matériaux, métaux rares, composites ou matières plastiques de haute performance. Autant dire que cet ouvrage regorge d'exemples d'applications de cette vaste et féconde discipline qu'est la chimie, exposés par des professionnels spécialistes des laboratoires de recherche et des industries.



ISBN : 978-2-7598-2283-6
272 pages couleur
Prix : 25 € TTC

Commandez en ligne sur laboutique.edpsciences.fr

edp sciences