

Petits meurtres entre atomes : pour le chimiste... et pour les autres !

Résumé Enseigner la chimie aujourd'hui, que ce soit à l'étudiant scientifique comme au futur citoyen en général, requiert un savant mélange de pragmatisme et d'exigence sur le fond. Dans une société connectée où tout va très vite et où l'information est immédiatement disponible, le rôle de passeur de science de l'enseignant s'est complexifié – mais également enrichi – du fait des technologies numériques. À travers deux exemples d'enseignement, un expérimental pour étudiant chimiste et un « vulgarisateur » pour étudiants de tous horizons, cet article expose les réflexions et stratégies de l'auteur afin d'aborder la chimie, discipline transversale, sous un éclairage plus pragmatique et plus valorisé.

Mots-clés Enseignement par projet, pratique expérimentale, vulgarisation scientifique, méthodologie scientifique.

Abstract Little murders between atoms: for the chemist... and for the others!

Teaching chemistry today, both for scientific students and for citizens in general, requires a careful blend of pragmatism and of fundamental requirements. In our modern society in which everything is going fast and where information is readily available, the role of knowledge broker of the teacher became more complex because of, but also enriched with digital tools. Through two courses examples, an experimental one for chemistry student and one more general for students from all backgrounds, this article describes thoughts and strategies of the author aiming at addressing chemistry under a pragmatic and positive angle.

Keywords Project-based learning, experimental practice, scientific popularization, scientific methodology.

Lorsque l'on prononce le mot « chimie » devant les « gens de la rue », il n'est pas rare de voir leurs nez se tordre, signe que ce mot est associé avec des qualificatifs peu flatteurs que nous avons tous entendus : sale, polluante, dangereuse, nocive, etc. Ce déficit d'image [1] est en complète contradiction avec nos sociétés et nos modes de vie actuels dans lesquels la science, et en particulier la chimie, est partout [2] : des écrans OLED aux batteries de nos smartphones en passant par les textiles synthétiques, les cosmétiques ou les médicaments, les exemples sont infinis. Les termes « chimiques » inondent les informations : le bisphénol A dans les biberons [3], le glyphosate [4] et les néonicotinoïdes [5] dans les pesticides, les adjuvants dans les vaccins [6], les additifs alimentaires [7], le cracking (fractionnement moléculaire) des aliments [8], etc. En tant que chimistes et enseignant.e.s, il est de notre rôle d'œuvrer contre cette tradition d'idées à la fois chez l'étudiant qui s'inscrit dans une formation scientifique (car lui aussi à ces qualificatifs en tête !), mais également chez celui ou celle qui n'a pas de réelle appétence pour les sciences mais qui, en tant que citoyen.ne, a besoin de clés pour comprendre le monde qui nous entoure.

Comprendre et s'adapter aux étudiant.e.s d'aujourd'hui

La principale évolution des deux dernières décennies est liée au numérique : le public étudiant actuel est constamment « connecté », ce qui change à la fois son mode de pensée (instantanéité de l'accès à l'information, sources très nombreuses et de fiabilité variable, technologies omniprésentes au quotidien) et nos habitudes d'enseignants (progressivité des apprentissages, représentation des concepts, formalisation mathématique). Il est donc indispensable de prendre conscience de cette évolution et de s'emparer des outils correspondants pour rester là aussi « connecté » à nos étudiants. Du triptyque tableau-craie/livre/papier-crayon à Moodle, les modes d'enseignement se sont diversifiés et

enrichis, en particulier du côté des technologies numériques (e-learning, autoévaluation, voire réalité augmentée ou virtuelle [9]). La chimie reste néanmoins une science expérimentale dont la pratique ne peut se résoudre à être conduite à distance et/ou dématérialisée [10]. La formation du chimiste se doit donc de trouver un équilibre entre ces modes d'apprentissage, et celle de l'étudiant non scientifique doit accorder une grande place au pragmatisme sans pour autant sacrifier au fond scientifique [11-12].

Adapter nos modes d'enseignement de la chimie tout en conservant l'essentiel

Depuis 2011, j'ai la responsabilité de l'Unité d'Enseignement (UE) intitulée « Projet de chimie » en deuxième année de licence de chimie. Cette UE expérimentale concerne de 70 à 90 étudiants selon les années et est constituée d'une équipe pédagogique de dix enseignants chevronnés (sept enseignants-chercheurs et trois PRAG) et d'une technicienne de laboratoire. Cet enseignement sur projet, implanté dans d'autres établissements [13], confère aux étudiants (travaillant en trinômes) une grande liberté d'action en termes de thème de travail comme de contenu. Ils ont en effet la responsabilité d'élaborer eux-mêmes un plan de travail et d'identifier puis d'adapter des protocoles d'après des sources documentaires fiables – sites Internet institutionnels comme celui des Olympiades de la chimie ou de l'Union des professeurs de physique et de chimie (UdPPC), articles de *L'Actualité Chimique*, livres. Le travail des enseignants est ici de guider et d'accompagner, puis d'éclairer lorsque les principes et techniques abordés n'ont pas encore été enseignés par ailleurs. En effet, au cours de cette UE, les étudiants ont l'opportunité d'approcher des techniques et des outils peu ou pas abordés et pratiqués en premier cycle universitaire, comme la RMN, la chromatographie en phase liquide à haute performance (HPLC), la spectrométrie de flamme ou encore la microscopie électronique à balayage (MEB) (figure 1),

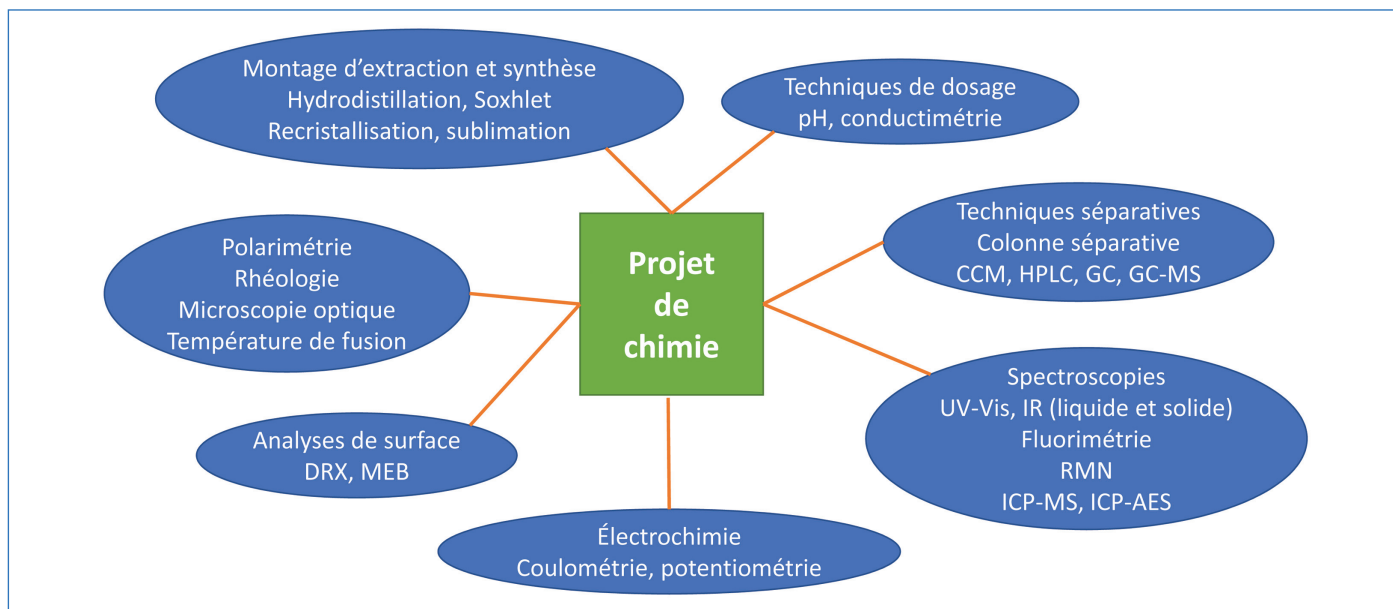


Figure 1 - Techniques expérimentales mises en œuvre lors de l'UE « Projet de chimie ».

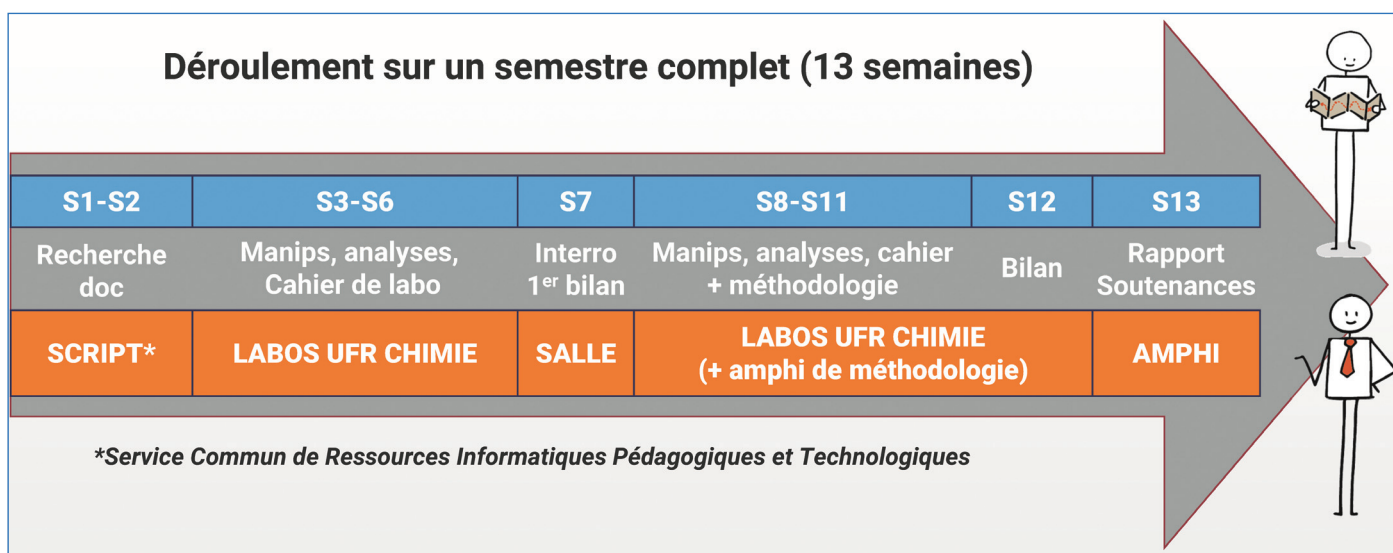


Figure 2 - Chronologie de l'UE « Projet de chimie ».

ces instruments étant soit des instruments mutualisés à l'UFR de chimie, soit la propriété des laboratoires de recherche qui nous permettent une utilisation ponctuelle.

L'outil numérique a également été progressivement mis à profit *via* un espace dédié à l'UE sur la plateforme Moodle de l'université. Par exemple, chaque groupe doit indiquer de semaine en semaine la liste du matériel, des composés et des analyses prévus pour la prochaine séance, en répondant à un questionnaire comportant des listes déroulantes pour chacun des items, afin d'organiser la disponibilité des instruments et des analyses. Ceci permet une responsabilisation des groupes et les oblige à planifier leur travail sur plusieurs semaines. Ces besoins sont ensuite accessibles à l'équipe de techniciens du service de TP de l'UFR de chimie pour faciliter la mise en place des salles et la préparation des instruments. Enfin, les bonnes pratiques et la sécurité en laboratoire de chimie y sont rappelées (par des fiches, par exemple celles de l'INRS [14], ou des vidéos [15]) dans un cadre plus réel que pour une UE de TP plus classique.

L'UE – d'un volume horaire de 56 heures réparties sur un semestre, voir *figure 2* – est découpée en une première partie de recherche documentaire (réalisée à la plateforme

informatique de l'université, le Service Commun de Ressources Informatiques Pédagogiques et Technologiques, SCRIPT), permettant une acquisition de méthodes efficaces et raisonnées de recherche documentaire, et qui aboutit à l'élaboration de plans d'expériences [16]. S'ensuit un travail en laboratoire au long cours, permettant également la pratique de l'anglais scientifique et technique, une part importante des ressources étant dans cette langue. Cette UE est évaluée par un court examen à mi-parcours (qui sera fait *via* une application en ligne en 2020) et par la remise d'un rapport écrit de synthèse dans le format d'un rapport de recherche et basé sur un cahier de laboratoire tenu tout au long du projet. Une fiche d'évaluation détaillée de ce rapport, rédigée par un enseignant-rapporteur, est adressée aux étudiants concernés à l'issue de l'évaluation (*figure 3*). Enfin, une courte soutenance orale (10 min de présentation, 5 min de questions) est organisée devant le jury d'enseignants et l'ensemble de la promotion.

Cette UE est particulièrement exigeante pour l'équipe pédagogique car elle requiert une grande plasticité et une adaptabilité continue : au cours d'une même séance et dans une même salle de TP, un enseignant devra être à même

Université Paris Diderot Licence de Chimie 2 ^{ème} année UE « Projet de chimie » Fiche d'évaluation du rapport écrit					
Nom du rapporteur					
Noms des étudiants					
Thème du groupe					
Note cahier-rapport					
Respect des consignes rédactionnelles					
Nombre de pages (20 max)	O	N	Texte justifié / marges / interlignes	O	N
Infos page de garde	O	N	Taille / type police	O	N
Pages numérotées	O	N	Figures numérotées et légendées	O	N
Table des matières	O	N	Equations numérotées	O	N
Références/sources docs	O	N	Annexes complémentaires	O	N
Commentaires sur le cahier de laboratoire					
Points forts			Points faibles		
Commentaires sur le rapport écrit					
Points forts			Points faibles		
BILAN					

Figure 3 - Modèle de la fiche d'évaluation du rapport de synthèse.

d'aider un groupe entreprenant la synthèse de l'ibuprofène et de conseiller un autre groupe dont le travail est centré sur l'analyse des eaux de consommation, en passant par l'étude par spectroscopie d'un fluorophore comme la quinine. Cet enseignement, très complet, couvre peu ou prou tous les domaines de la chimie (organique, inorganique, analytique) et balaie à la fois la recherche documentaire, le travail expérimental, l'utilisation de l'outil numérique, le travail de rédaction et de présentation orale, tout comme la pratique de l'anglais scientifique. Il permet également une première approche de la future orientation préprofessionnelle. Nous savons, par le questionnaire (anonyme et en ligne) d'évaluation de l'UE, qu'elle est l'une des plus marquantes pour nos étudiants qui nous en parlent encore bien des années plus tard.

Développer l'appétence pour les sciences

Depuis plusieurs années, des Unités d'Enseignements « libres » [15] existent dans la plupart des universités. Elles ont d'autant plus de sens pour une université comme Paris Diderot qui comporte seize UFR, balayant toutes les disciplines mis à part le droit et le sport. Ces UE libres sont des enseignements ouverts à tout étudiant en licence, quel que soit son cursus, et sont au choix parmi plus de 200 enseignements. L'objectif est de permettre de diversifier le parcours étudiant et/ou de faire valoir des activités hors cursus (formation hors spécialité, engagement des élus, volontariat, sport, etc.) tout en favorisant un esprit d'ouverture et, accessoirement, de valider quelques ECTS (« European Credits Transfer System »), système facilitant la mobilité internationale des étudiants.

Dans ce cadre, depuis plus de dix ans, je propose une UE libre de chimie intitulée « Petits meurtres entre atomes » à toutes les filières de l'université (exceptée la mention chimie !). Son objectif est d'illustrer la vie quotidienne à travers le regard de la chimie au sens large, dans un souci de vulgarisation mais également de démystification de la chimie [17]. Aucun prérequis n'est demandé, hormis la curiosité, ce qui permet une très large diversité d'étudiants. Le travail est réalisé en petits groupes de deux à quatre étudiants (qui choisissent cette UE autant pour l'intitulé accrocheur que par curiosité pour les sciences) et a pour objet un thème défini collégialement par les étudiants et l'enseignant (par exemple les plastiques dans les jouets, la chimie du médicament, les additifs alimentaires, le dopage dans le sport...). L'UE s'articule tout d'abord autour d'une recherche documentaire (bibliothèque, bases de données en ligne, revues généralistes et spécialisées) à visée méthodologique, car la hiérarchisation et le bornage d'une recherche documentaire sont loin d'être innés. La part belle est faite aux publications scientifiques « accessibles » (*L'Actualité Chimique*, *Le Journal du CNRS*, *The Journal of Chemical Education*), mais aucune limite n'est posée tant que la source est objective (certains groupes parcourent des chapitres de thèses !), ce qui permet de discuter de cette notion pilier de la science. La synthèse de ces recherches aboutit à l'élaboration d'un rapport écrit synthétique et d'une soutenance orale, deux autres exercices de style. Faire travailler des étudiants sur un thème extérieur à leur filière permet une ouverture d'esprit, mais également d'acquérir des stratégies de travail efficaces car plus difficiles à mettre en place en dehors de leur zone de compétence disciplinaire. Cet enseignement a donc un triple objectif : ouverture aux sciences quotidiennes, méthodologie de la recherche et de la synthèse documentaire, restitution orale et objective de concepts scientifiques. Je n'ai connaissance que de quelques initiatives similaires aux États-Unis [18-19].

Deux exemples parmi tant d'autres : un duo d'étudiants (une en L1 cinéma et un en L2 psychologie, titulaires d'un bac L) qui en 2009 a choisi comme thème le développement photographique et parle d'oxydoréduction et de nanoparticules ; un autre duo d'étudiantes en L1 langues étrangères appliquées (également titulaires d'un bac L) qui a choisi de s'intéresser aux encres, abordant les notions de pigments, de tensioactifs et de formulation. Mission accomplie !

Sur les dix dernières années, cette UE a été choisie par plus de 200 étudiants venant de treize mentions différentes de licence, avec une répartition par domaine exposée dans la figure 4. On peut noter une part importante des sciences de la vie, mais également un grand nombre d'étudiants n'étant pas issus d'une filière scientifique et/ou titulaires d'un bac scientifique.

Les retours des étudiants, consultés anonymement pour une évaluation en ligne à l'issue des soutenances orales, sont très largement positifs, que ce soit sur le fond (redécouverte de la chimie sous un aspect plus pragmatique/ludique) ou sur la forme (travail de synthèse documentaire et de présentation orale, capitalisables sur la suite de leur formation). En voici quelques extraits (objectivement choisis !) : « Cette UE m'a appris à rédiger de manière synthétique et professionnelle un rapport écrit, à progresser dans la manière d'effectuer un diaporama, à travailler en groupe, et surtout de prendre confiance en moi » ; « Merci pour cette formidable UE, qui a redonné le goût pour la science et plus particulièrement la chimie, à une

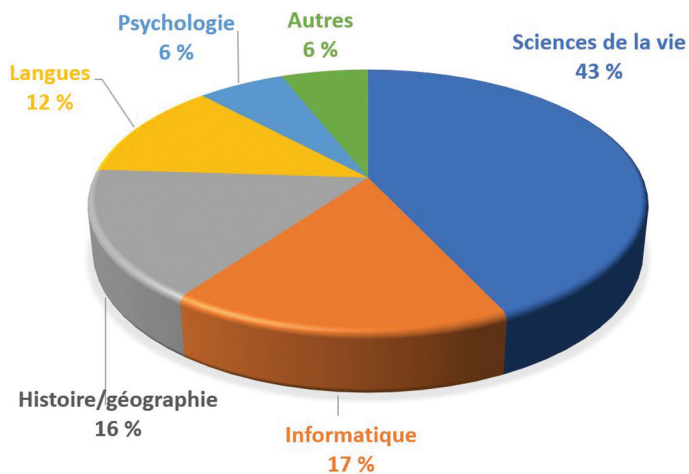


Figure 4 - Répartition par domaine de licence, sur les dix dernières années, des étudiants ayant choisi l'UE libre de chimie. La catégorie « Autres » regroupe les filières physique, mathématiques, sciences humaines, économie, cinéma et lettres.

personne avec un profil plutôt littéraire » ; « Étant un « S frustré », j'ai beaucoup aimé refaire des sciences, les soutenances des autres groupes étaient très intéressantes. » L'aspect décloisonné de l'enseignement, nourri de discussions et de confrontations d'idées, fait également partie des points appréciés des étudiants.

L'auteur adresse un salut amical à ses collègues du « Projet de chimie » qui font preuve, d'année en année, de toujours autant d'enthousiasme et d'adaptabilité pour répondre à la curiosité et aux attentes de leurs étudiants chimistes.

[1] Bensaude-Vincent B., Chimie et société : des relations tumultueuses, *L'Act. Chim.*, **2004**, 280-281, p. 22, www.lactualitechimique.org/Chimie-et-societe-des-relations-tumultueuses
 [2] Potier P., La chimie est partout!, *L'Act. Chim.*, **2003**, 270, p.7, www.lactualitechimique.org/La-chimie-est-partout
 [3] Fréour P., Le bisphénol A interdit dans les contenants alimentaires, *Le Figaro*, 13/12/2012, <http://sante.lefigaro.fr/actualite/2012/12/13/19573-bisphenol-interdit-dans-contenants-alimentaires>
 [4] Glyphosate : le passage en force, *Le Monde*, 28/11/2017, www.lemonde.fr/idees/article/2017/11/28/glyphosate-le-passage-en-force_5221457_3232.html
 [5] Laratte A., Néonicotinoïdes : que sait-on de ces pesticides tueurs d'abeilles?, *Le Parisien*, 26/06/2017, www.leparisien.fr/environnement/neonicotinoïdes-tout-savoir-sur-ces-pesticides-tueurs-d-abeilles-26-06-2017-7088232.php
 [6] Boumediene A., Vaccins : pourquoi les adjuvants sont-ils au cœur de la polémique?, *20 Minutes*, 24/07/2017, www.20minutes.fr/sante/2108987-20170724-vaccins-pourquoi-adjuvants-ur-polemique
 [7] Morin L., E171 : le colorant des bonbons qui pose question, *Libération*, 20/01/2017, www.liberation.fr/futurs/2017/01/20/e171-le-colorant-des-bonbons-qui-pose-question_1542971

[8] Guillon N., Gare aux aliments issus du « cracking » industriel ?, *Science & Vie*, 22/03/2019, www.science-et-vie.com/corps-et-sante/gare-aux-aliments-issus-du-cracking-industriel-48672
 [9] Université de Picardie Jules Verne, Projet VISION « Réalité Virtuelle pour l'Enseignement du Stockage et de la Conversion Electrochimique de l'Énergie », https://webtv.u-picardie.fr/watch_video.php?v=RX5Y32161G55
 [10] Rebstein Mutti J., Reginelli A., De l'importance de la pratique expérimentale dans l'enseignement des sciences, Mémoire professionnel, Haute École Pédagogique de Lausanne, **2012**.
 [11] Chimenó J., How to make learning chemical nomenclature fun, exciting, and palatable, *J. Chem. Ed.*, **2000**, 77, p. 144, doi: 10.1021/ed077p144.
 [12] Wu C., Foos J., Making chemistry fun to learn, *Literacy Information and Computer Education Journal*, **2010**, 1, p.3, <http://infonomics-society.org/wp-content/uploads/licej/volume-1-2010/Making-Chemistry-Fun-to-Learn-1.pdf>
 [13] Gozzi C., Marchal Y., Première approche de la recherche dans le métier d'ingénieur : retour sur le projet de chimie organique mis en place à CPE Lyon, *L'Act. Chim.*, **2010**, 347, p.33, www.lactualitechimique.org/Premiere-approche-de-la-recherche-et-du-metier-d-ingenieur-retour-sur-le-projet-de-chimie-organique
 [14] INRS, Classification et étiquetage des produits chimiques, www.inrs.fr/risques/classification-etiquetage-produits-chimiques/ce-qu-il-faut-retenir.html
 [15] CHIMACTIV (voir article p. 31 de ce numéro), Une mauvaise journée de TP, <http://chimactiv.agroparistech.fr/fr/securite/protection/illustration-video>
 [16] El Meftah M., Ferreira A., Bigan M., Blondeau D., Projet de sujet tutoré : explication et application de la méthode plans d'expériences à la réalisation d'un mode opératoire de travaux pratiques, *L'Act. Chim.*, **2001**, 244, p. 23, www.lactualitechimique.org/Projet-de-sujet-tutore-Explication-et-application-de-la-methode-des-plans-d-experiences-a-la
 [17] Lefour J.-M., Chambaud G., La complémentarité enseignement/vulgarisation, *L'Act. Chim.*, **2004**, 280-281, p.53, www.lactualitechimique.org/La-complementarite-enseignement-vulgarisation-une-piste-pour-repondre-a-la-desaffection-des-eleves
 [18] Pain E., Teaching science to non-science majors, *Science Magazine*, 23/04/2010, www.sciencemag.org/careers/2010/04/teaching-science-non-science-majors
 [19] Schultz E., A chemistry course with a laboratory for non-science majors, *J. Chem. Ed.*, **2000**, 77, p. 1001, doi: 10.1021/ed077p1001.

Julien BONIN,

Maitre de conférences HDR et directeur des études de la licence de chimie à l'UFR de chimie de l'Université de Paris.

Il est corécipiendaire du **prix 2017 de la division Enseignement-Formation (DEF) de la Société Chimique de France**. Cette distinction, qui lui a été remise à l'occasion des JIREC 2018 (Journées de l'innovation et de la recherche pour l'enseignement de la chimie) à Erquy, lui a été décernée pour le développement d'unités d'enseignement multicompetences avec des publics variés en premier cycle universitaire.

* julien.bonin@u-paris.fr



RETROUVEZ la sur YouTube

Témoignages de chimistes
 vous emmène à la découverte du monde de la chimie dans toute sa richesse et sa diversité.

▶ Abonnez-vous !