

Les activités expérimentales dans une séquence d'enseignement

Résumé Cet article propose une réflexion sur la place des activités expérimentales dans l'enseignement, et plus particulièrement son positionnement dans la construction d'une séquence d'enseignement. Trois approches sont ainsi étudiées afin de déterminer les intérêts et inconvénients de chacune.

Mots-clés **Pédagogie, pensée critique, compétences expérimentales, méthode déductive, méthode inductive, criblage, taxonomie de Bloom, compétences cognitives.**

Abstract **Lab work: before, during or after the course?**

In this article, we are questioning about the positioning of lab works in teaching, and particularly which are the interests and disadvantages of making lab works before, during or after the lesson?

Keywords **Pedagogy, critical thinking skill, practical skill, deductive model, inductivism, screening, Bloom's taxonomy, cognitive skills.**

L'enseignement de la chimie est indissociable de la pratique expérimentale. C'est lors de la réforme de 1902 que furent introduits les « travaux pratiques » dans l'enseignement des sciences au lycée. Par la suite, l'approche expérimentale de la science, et de la chimie en particulier, a pris des formes très variables. Aujourd'hui, les collégiens, les lycéens, les étudiants de l'université et de classes préparatoires manipulent. Lors de séances d'activités dédiées ou lors de projets, de TPE ou de TIPE, les concepteurs des programmes ont intégré pleinement l'activité expérimentale au cœur du système éducatif. Formatrice sur le plan technique comme sur celui de la mise en œuvre des démarches scientifiques, et bien qu'onéreuse, cette pratique perdure, et ce d'autant plus que ces activités expérimentales sont évaluées dans les épreuves – citons les évaluations des compétences expérimentales (ECE) du bac par exemple.

La réflexion qui nous intéresse dans cet article est davantage de savoir où – et pourquoi et comment – placer ces activités expérimentales. Doit-on les placer selon une approche inductiviste avant un cours et exploiter les résultats après ? Ou à l'inverse sous un angle plus déductiviste, utiliser les expériences pour valider ou illustrer un point de cours considéré comme acquis ? Ou encore faire des TP-cours où les deux s'entremêlent voire, même si cela tend à disparaître de l'enseignement (remplacé par des vidéos d'une plateforme web très connue), les intégrer pleinement pendant le cours, où le professeur présente une expérience devant la classe ? Nous avons fait le choix de ne pas aborder ici d'autres pratiques pédagogiques comme la résolution de problème par la voie expérimentale.

Quoi qu'il en soit, les activités expérimentales réalisées par les élèves et les étudiants ont, ces dernières années, complètement changé de forme : de l'application pas à pas, mot à mot d'un protocole très détaillé, elles sont maintenant souvent plus ouvertes et laissent davantage de place à l'initiative, voire à la créativité.

Dans cet article, nous étudierons les activités expérimentales menées dans un cadre formatif et non évaluatif. Commençons par quelques exemples (voir *tableaux I et II*) dans lesquels sont listés des exemples dont l'approche a été déclinée selon que l'activité a été réalisée avant, pendant ou après le cours.

La pratique expérimentale : avant, pendant, après le cours ?

C'est une évidence : l'expérimentation est d'une grande richesse. Non seulement, elle réserve nombre de surprises (il arrive souvent qu'un résultat non attendu soit obtenu), mais en plus, elle constitue le plus souvent une activité manuelle et technique. Comment mieux l'exploiter pédagogiquement ? Comment y associer des compétences ?

Nous ne reviendrons pas ici sur la mise en place de la démarche d'investigation, très polymorphe, déjà largement détaillée dans cette revue [1], mais sur un autre questionnement complémentaire : celle du positionnement de l'activité expérimentale dans l'enseignement.

Plusieurs possibilités sont à la disposition de l'enseignant ; la première consiste à utiliser la pratique expérimentale en amont du cours. Cette approche (pas encore assez courante ?) dénote par son aspect « recherche scientifique ». Elle repose sur l'idée de faire établir par les élèves et/ou étudiants des mesures, des observations, des conclusions qui seront réinvesties par la suite dans le cours. Exploiter des « vrais » résultats pour construire le cours présente plusieurs avantages : mettre les élèves/étudiants en situation active voire créative, mieux comprendre le lien entre des phénomènes observés et le cours, valoriser leurs productions (on utilise « leurs valeurs »), mieux s'appropriier les connaissances, rendre certains concepts plus concrets...

Mais n'idéalisons pas trop. Cette approche présente aussi plusieurs inconvénients : la dimension chronophage de l'activité, son coût et, dans certains cas, l'expertise qu'elle demande à l'enseignant pour gérer les situations disons... surprenantes⁽¹⁾. Notons que cette façon de pratiquer est aussi connotée « historique », dans le sens où elle mime souvent la construction chronologique de la chimie qui est, soulignons-le, très empirique.

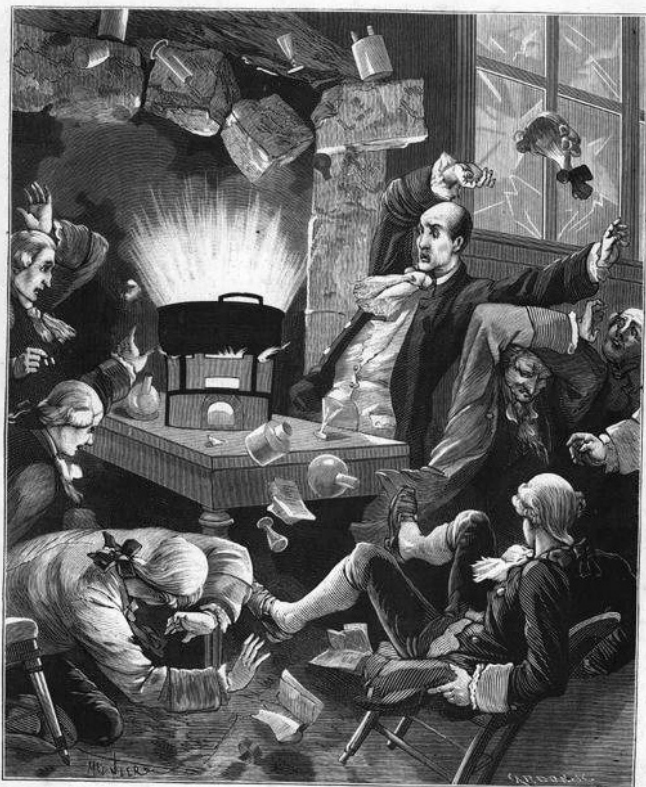
La seconde possibilité pour l'enseignant consiste à planifier une activité expérimentale pendant la construction d'un cours. Cette approche n'est aujourd'hui plus au goût du jour. C'est pourtant par la présentation de manipulations impressionnantes en amphithéâtre que la chimie s'est fait connaître du grand public au XVIII^e siècle. En effet, le public venait assister à ces représentations plus pour leur caractère spectaculaire

Tableau I - Exemples de déclinaison d'une même activité.

Thème	Intérêt de faire le TP <u>avant</u> le cours et inconvénients	Intérêt de faire le TP <u>pendant</u> le cours par le professeur	Intérêt de faire le TP <u>après</u> le cours
Réaction de Grignard	En mode criblage (chaque binôme d'étudiants teste l'action de l'organomagnésien sur une espèce différente), les réinvestissements en cours sont aisés. <i>Inconvénients : les étudiants doivent déjà être de bons manipulateurs et la partie analyse de ce TP devient vite lourde à gérer.</i>	Délicat car manipulations trop nombreuses et longues.	En mode « réinvestissement du cours », elle permet de travailler les gestes techniques et vérifier des points de cours.
Étude d'une estérification	En mode criblage (voir ci-dessus, ici chaque binôme testant un paramètre d'influence différent), les réinvestissements en cours sont intéressants. <i>Les inconvénients sont les mêmes que ci-dessus.</i>	Purement illustratif, sans intérêt autre que de montrer un montage.	Intéressant sous l'angle du déplacement d'équilibre. Pour des élèves/étudiants peu habitués à manipuler, elle permet de travailler les gestes techniques.
Déshydratation d'un alcène	En mode simple mise en application d'un protocole, les résultats peuvent être variés bien que les manipulations soient théoriquement réalisées dans des conditions identiques. L'interprétation des différents produits obtenus permet de servir de support à un cours sur les mécanismes réactionnels.	La manipulation s'avère longue et purement illustrative.	Permet de travailler les gestes techniques et de réinvestir les connaissances acquises en chimie analytique.
Dosage acide-base	En mode démarche d'investigation, plusieurs scénarios sont envisageables. Pour des étudiants sachant déjà manipuler, une étude statistique de la dispersion des résultats peut s'avérer intéressante.	Possibilité de distribuer les données acquises <i>via</i> un réseau et demander le traitement aux élèves/étudiants.	Permet de vérifier le modèle proposé mais aussi les aspects incertitudes (fidélité/justesse) et également de travailler les gestes techniques. Possibilité d'envisager des cas complexes comme les polyacides ou polybases et d'étudier les relations aux équivalences.
Réactions d'oxydoréduction	Découverte des réactions d'oxydoréduction, de la notion de couple, de classement.	Dosage potentiométrique, utilisation d'un tableur grapheur, détermination du volume à l'équivalence et de la concentration de la solution.	Réinvestissement dans l'étude de systèmes électrochimiques plus complexes.

Tableau II - Exemples de déclinaison par grands thèmes.

Thème	Intérêt de faire le TP <u>avant</u> le cours et inconvénients	Intérêt de faire le TP <u>pendant</u> le cours et inconvénients	Intérêt de faire le TP <u>après</u> le cours et inconvénients
<i>Spectroscopies (spectrophotométrie UV-visible, infrarouge ou autre)</i>	Possible en démarche d'investigation si l'établissement dispose de suffisamment de matériel.	Le manque de matériel s'y prête bien.	Possible en simple réinvestissement ou appliqué à des situations plus complexes (cas de mélanges réactifs/produits par exemple).
<i>Dosages/titrages/piles/thermochimie/CCM</i>	Possible en démarche d'investigation.	Simple démonstration.	Travail du geste technique ou appliqué à des mélanges complexes et vérification de lois et de modèles.
<i>Réactions de chimie organique et autres synthèses</i>	En mode criblage (chaque binôme d'étudiants teste des conditions différentes), les réinvestissements en cours sont aisés. <i>Inconvénients : les étudiants doivent déjà être de bons manipulateurs et la partie analyse devient vite lourde à gérer.</i>	Délicat car souvent long.	En mode « réinvestissement du cours », elle permet de travailler les gestes techniques, envisager des optimisations et réinvestir les techniques d'analyse.



G.-F. ROUELLE : « Une explosion épouvantable se fit entendre... » (Page 82, col. 3)

« Un jour, au milieu de son cours, Rouelle prévient : - Vous voyez bien messieurs, ce chaudron sur ce brasier, eh bien, si je cessais de remuer un seul instant le mélange qu'il contient, il s'ensuivrait une explosion qui nous ferait tous sauter en l'air !... Un moment de distraction et sa prédiction s'accomplit : une explosion épouvantable se fit entendre, toutes les vitres du laboratoire volèrent en éclats, la cheminée s'effondra, et la perruque de l'incorrigible professeur fut enlevée jusqu'au plafond », *La Science Populaire*, 1880. Guillaume-François Rouelle, dit « l'Ainé », 1703-1770, donna des démonstrations de chimie au Jardin des plantes à Paris, suivies notamment par Macquer ou Lavoisier, mais aussi Rousseau, Diderot, Condorcet ou Malesherbes, des gens du monde et des badauds.

que pour un intérêt réel pour la chimie, science encore naissante.

Aujourd'hui, la présentation d'expériences en classe nécessite une importante préparation en amont. Mais cela permet d'illustrer de manière concrète, voire spectaculaire parfois, certaines notions ayant trait à un concept scientifique ou technique, ainsi que de favoriser la mise en confiance des étudiants face à des expériences pas toujours simples à mettre en œuvre.

Enfin, la troisième possibilité est de positionner l'activité expérimentale après l'introduction de concepts/principes. Vécue (subie ?) par des générations d'élèves, faire le « TP » après le cours constitue une démarche classique et rodée. De façon purement déductiviste, les concepts, les lois, les connaissances sont transmis dans un premier temps et l'expérience, c'est-à-dire la mise en œuvre expérimentale, se fait dans une deuxième étape. C'est souvent une simple application, une extension du cours, une succession de gestes techniques, un réinvestissement malheureusement souvent trop applicatif. Son principal avantage réside dans son caractère « contrôlé »

qui permet d'éviter les surprises et de guider les étudiants dans un environnement sûr, tout en approfondissant des connaissances ou des gestes techniques et en développant davantage un type particulier de raisonnement scientifique.

L'activité expérimentale peut/doit adopter des formes différentes selon son positionnement chronologique dans la construction du cours. Les pré-requis nécessaires à la mise en œuvre efficace de l'activité vont donc varier, tout comme les objectifs de formation qui ne seront pas les mêmes. Le choix de l'approche utilisée doit donc être mûrement réfléchi selon les compétences ciblées par l'enseignant.

Guider son choix

L'objectif principal visé lors de la réalisation d'une expérience en amont du cours est d'exploiter les résultats des élèves/étudiants afin de construire celui-ci. Ces résultats doivent donc être anticipés par l'enseignant mais inconnus des élèves/étudiants. L'enseignant joue alors un rôle crucial car il doit guider son auditoire vers le résultat souhaité.

Deux exemples sont proposés ici afin d'exploiter au mieux les données « réelles » des étudiants :

- ces derniers réalisent tous une même manipulation dont les résultats seront ensuite comparés, voire exploités, afin d'étudier les aspects justesse et fidélité⁽²⁾ ;
- une expérience est réalisée en mode criblage [2], voire en mode plan d'expériences [3], afin d'obtenir un grand nombre de données variées (éventuellement en variant les conditions opératoires⁽³⁾).

Cette approche a le mérite d'induire un investissement personnel de chacun des étudiants en les impliquant individuellement et en leur donnant des responsabilités. L'introduction des concepts est ainsi facilitée.

La réalisation d'activités expérimentales pendant le cours est davantage d'ordre explicatif/démonstratif. L'expérience proposée est alors réalisée par l'enseignant, le résultat peut être anticipé par les étudiants à la suite d'un point de cours, ou non anticipé dans le cas d'une manipulation d'introduction d'un nouveau thème. L'objectif visé est ainsi de permettre la mise en évidence d'un principe ou d'une loi, la clarification d'un concept dans le cas où l'expérience ne présente pas d'intérêt particulier pour les étudiants⁽⁴⁾, ou encore l'apprentissage d'une procédure ou technique expérimentale non maîtrisée. Ces derniers peuvent ainsi exploiter des données obtenues en direct. Cette approche présente deux avantages majeurs : les élèves sont au spectacle, ce qui les rend plus réceptifs à la démonstration et favorise ainsi la mémorisation.

Ce type d'approche peut aussi être choisi dans le cas d'une expérience ayant de fortes contraintes matérielles (pas de matériel en suffisamment grande quantité) ou techniques (trop complexe/dangereuse⁽⁵⁾) et ne pouvant être réalisée avec un groupe, ou encore lorsque la formation ne laisse pas suffisamment de temps pour effectuer une séance d'activité expérimentale avec les étudiants.

Quant au positionnement de l'activité expérimentale après le cours, il est utilisé à des fins d'application, voire d'approfondissement, ou encore afin de travailler davantage les compétences liées au raisonnement scientifique. Ces activités expérimentales sont soit sous la forme d'une manipulation unique, soit sous la forme d'un projet selon la finalité souhaitée. La manipulation unique permettra de tester la validité ou mettre en œuvre un modèle, par exemple en effectuant l'étude cinétique d'une réaction chimique afin d'en vérifier

Tableau III - Exemples de thèmes utilisables en projet.

Thème	Possibilités d'activités
Synthèse	Nécessite une recherche bibliographique, une compréhension du sujet et de ses contraintes imposées (introduction de la notion de cahier des charges) et de la nécessité de valider la procédure mise en place par une analyse dont les résultats sont validés.
Analyse qualitative ou quantitative (dosage, titrage, détermination de constantes...)	Que l'activité se fasse en solution aqueuse ou à l'aide d'appareils plus complexes, les projets reposent sur l'exploitation des connaissances acquises dans un contexte plus complexe.
Formulation	Prise en compte des problèmes de physico-chimie difficilement modélisables.

Tableau IV - Compétences mises en œuvre selon le positionnement de l'activité expérimentale.

Compétences	Connaissance	Compréhension	Application	Analyse	Synthèse	Évaluation
Activité expérimentale avant le cours	Réexploitée	X	X	X	Lors de la construction du cours	
Activité expérimentale pendant le cours	X	X				
Activité expérimentale après le cours	Réexploitée	X	X	X	X	X

l'ordre. Pour cela, le protocole peut ne pas être fourni et les étudiants se baseront sur leurs connaissances pour proposer la démarche à suivre afin de répondre à l'objectif.

Dans le second cas, il s'agit d'une approche de pédagogie par projet dont l'objectif est de répondre à une problématique complexe faisant appel à de nombreuses connaissances et compétences. En groupe, les étudiants devront définir une stratégie par eux-mêmes, faire leur propre bibliographie et répondre à l'objectif du projet (tableau III).

Pré-requis, risques et inconvénients à la mise en œuvre

La réalisation d'activités expérimentales en amont du cours nécessite que les élèves/étudiants ne butent pas sur l'aspect expérimental et exploitent ainsi leurs connaissances des techniques expérimentales dans un contexte donné dans le respect des consignes de sécurité.

De plus, la manipulation envisagée doit être maîtrisée par l'enseignant et ses biais connus. Il peut en effet être délicat de gérer une séance au cours de laquelle la liberté laissée à la créativité des élèves/étudiants peut se révéler être un inconvénient pour le professeur. L'étude d'un criblage à partir d'une réaction de Grignard peut ainsi s'avérer risquée si tous les paramètres ne sont pas contrôlés.

La connaissance du niveau des élèves/étudiants pourra aussi être exploitée lors d'expériences de type criblage en adaptant la difficulté de l'expérience à leurs compétences.

Si l'expérience est réalisée pendant le cours, celle-ci doit être relativement courte (afin d'éviter un sentiment de passivité et d'ennui des étudiants). Une manipulation visuelle et bien maîtrisée par l'enseignant d'un point de vue technique et temporel (il ne faudrait pas générer l'hilarité générale par une expérience qui n'aboutit pas) sera un avantage non négligeable. Il est en effet assez désagréable qu'un problème délicat à gérer survienne au cours d'une de ces démonstrations. Il est aussi nécessaire d'avoir une salle qui se prête à ce type

d'expérience par la présence d'équipement de protection si besoin. Dans le cas de manipulation de produits chimiques toxiques, on peut avoir recours à l'utilisation d'une hotte ainsi qu'à des EPI (équipements de protection individuelle), notamment pour les élèves du premier rang, sans négliger le tri des déchets qui nécessite de prévoir éventuellement des bidons de récupération.

Attention cependant à ne pas négliger la démarche scientifique et la qualité analytique. La validité de l'expérience et la fiabilité des résultats peut/doit s'inscrire dans une démarche qualité.

Enfin, si l'expérience est réalisée après le cours, les concepts théoriques/lois/principes/modèles/techniques expérimentales ne doivent pas constituer d'obstacles pour les étudiants. Enfin, si le choix du protocole est libre, l'enseignant doit alors être en mesure d'encadrer toute manipulation proposée afin d'aider les étudiants en cas de difficultés et limiter les dérives de la créativité.

Quelles compétences cognitives sont ainsi travaillées ?

Selon l'approche choisie par l'enseignant, les compétences sollicitées ne sont pas les mêmes (voir tableau IV). En effet, selon la taxonomie de Bloom [4], le domaine cognitif peut être divisé en six niveaux de compétences, donnés ici du plus bas au plus haut : *connaissance*, *compréhension*, *application* (exploiter un/des concepts/principes/lois/modèles/outils/techniques dans des situations concrètes), *analyse* (décomposer en sous-parties et isoler les éléments importants), *synthèse* (relier des éléments de manière à en faire un tout cohérent) et *évaluation* (porter un regard critique).

Une expérience effectuée avant le cours permet de travailler des *connaissances* techniques déjà apprises et *appliquées* durant la manipulation, et permet aussi d'augmenter la *compréhension* du concept/principe... mis en évidence. On peut envisager que la compétence d'*analyse* soit utilisée⁽⁶⁾

ainsi que celle de *synthèse*, qui sera aussi mise en œuvre lors de l'exploitation des résultats des étudiants pour la construction du cours.

Une activité expérimentale durant le cours sollicite davantage la compétence de *connaissance* par l'apprentissage (par exemple, dans le cas de l'apprentissage d'une technique expérimentale), ou celle de *compréhension* d'un concept/principe/loi/modèle.

Dans ces deux premiers cas, les compétences auxquelles les étudiants font appel restent des compétences de faible niveau cognitif, mais la différence essentielle entre ces deux approches réside dans le fait que l'étudiant est dans un cas acteur de l'activité et dans l'autre spectateur.

Par contre, lors de séances d'activités expérimentales réalisées après le cours, les compétences utilisées sont plus nombreuses et certaines sont de niveau cognitif plus élevé (voir *tableau IV*). On peut ainsi envisager la sollicitation des compétences de *compréhension* et d'*analyse* afin de décomposer l'énoncé en plusieurs objectifs. Par la suite, les étudiants feront appel à leurs *connaissances* (déjà acquises) et tenteront de mettre en *application* des concepts/principes/lois/modèles/techniques afin d'atteindre les objectifs. Enfin, ils exploiteront leurs résultats (*synthèse*) afin de proposer une conclusion sur laquelle ils pourront porter un regard critique (*évaluation*).

La combinaison de ces trois approches complémentaires permet de sensibiliser les étudiants aux démarches scientifiques.

Ouverture

Pour résumer ce qui précède, dans un monde parfait, une séance expérimentale devrait :

- tenir compte du temps disponible,
- tenir compte de la finalité de la formation,
- alterner les approches déductives et inductives,
- bien fixer des objectifs de la séance (ne pas en avoir trop),
- limiter les concepts ou les techniques introduits par l'expérience,
- distinguer les manipulations à caractère technique ou technologique de celles à caractère scientifique,
- introduire les différents aspects de la démarche scientifique,
- travailler les compétences de bas et haut niveaux.

Terminons cet article sur une ouverture : les séances d'activités expérimentales de chimie peuvent aussi prendre tout leur sens dans le cadre de collaborations avec d'autres disciplines. Cela peut être les sciences de la vie et de la Terre (SVT), les sciences de l'ingénieur, les mathématiques, l'histoire [5], les langues ou les arts plastiques, voire l'éducation physique et sportive (EPS) ! Soyons créatifs !

Notes et références

(1) En effet, lors de mélanges de plusieurs oxydants et réducteurs, les résultats ne sont pas souvent prévisibles. De même, lors de la mise au point de protocoles, des réactions parasites, pas toujours décelables, peuvent être observées.

(2) On peut ainsi envisager que les étudiants effectuent un même titrage acido-basique pour lequel les concentrations déterminées par les différents groupes sont comparées afin de faire une étude d'incertitudes.

(3) Une étude des paramètres influençant la cinétique d'une réaction d'estérification entre l'acide benzoïque et l'éthanol peut ainsi être menée, permettant de mettre en évidence les conditions opératoires (température, solvant), l'influence de la nature et de la quantité de catalyseur et de la proportion de chacun des réactifs.

(4) Par exemple, la catalyse hétérogène peut être mise en évidence très rapidement par l'observation de bulles de dioxygène se formant lors de la dismutation du peroxyde d'hydrogène en présence d'un catalyseur à base de platine (par comparaison avec un témoin sans catalyseur).

(5) Plusieurs expériences présentant des risques peuvent être citées, comme par exemple la synthèse de l'eau à partir de dihydrogène, la réaction du sodium solide sur l'eau (en présence d'un indicateur coloré), la bromation du jus de tomate par formation *in situ* de Br₂.

(6) On pourrait demander aux étudiants une interprétation des résultats obtenus, par exemple lors d'une séance où sont effectués des tests de solubilité/miscibilité de différents mélanges et dont l'objectif est de corréliser les observations aux structures moléculaires.

[1] Haurat S., Une activité expérimentale d'investigation en trois séances pour découvrir les titrages acido-basiques, *L'Act. Chim.*, **2015**, 392, p. 29 ; Heinrich L., L'analyse d'un complexe mononucléaire du cuivre(II) : un exemple de TP d'investigation, *L'Act. Chim.*, **2011**, 358, p. 32 ; Erb W., Payet E., Synthèse totale de l'aplysamine 6 et de ses dérivés : une approche de la démarche d'investigation, *L'Act. Chim.*, **2010**, 345, p. 33 ; Bataille X., Beauvineau E., Calafell J., Cheymol N., Szymczak A., Vigneron M., Évaluer les activités expérimentales... *L'Act. Chim.*, **2010**, 344, p. 15 ; Bataille X., Beauvineau E., Carrié H., Cheymol N., Vigneron M., Sensibiliser les étudiants à la démarche scientifique ; le cas de la cinétique chimique, *L'Act. Chim.*, **2010**, 340, p. 33 ; Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., Investigation et analyse chimique : un TP-défi d'analyse qualitative et quantitative... sans aucune solution préparée !, *L'Act. Chim.*, **2010**, 337, p. 45 ; Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., La démarche d'investigation pour motiver les étudiants : exemple d'un TP sur la spectroscopie infrarouge, *L'Act. Chim.*, **2009**, 334, p. 41 ; Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., Un TP de chimie analytique en séquence d'investigation, *L'Act. Chim.*, **2009**, 333, p. 42.

[2] Bataille X., Beauvineau E., Synthèse parallèle basée sur la réaction multicomposants de Biginelli : une approche de la chimie verte, *L'Act. Chim.*, **2009**, 330, p. 42.

[3] Rivière M., Plan d'expériences, mise au point d'une méthode en chromatographie liquide haute performance (CLHP, HPLC) en vue d'un dosage avec étalon interne, **2007**, http://eduscol.education.fr/mchimie/chi_org/mr/plan_expériences_2007.pdf (consulté le 16/09/2018).

[4] Bloom B.S., *Taxonomy of Educational Objectives: Part I, Cognitive Domain*, David McKay Compagny Inc., **1956**.

[5] Enseigner la chimie au lycée : l'approche artistique et interdisciplinaire de Freddy Minc, *L'Act. Chim.*, **2018**, 426, p. 49 ; Bataille X., Decaster F., Un TP... historique, *L'Act. Chim.*, **2013**, 377, p. 28.

Pour aller plus loin

- Reid N., Shah I., The role of laboratory work in university chemistry, *Chem. Ed. Res. Pract.*, **2007**, 8, p. 172.

- Domin D.S., A review of laboratory instruction styles, *J. Chem. Ed.*, **1999**, 76, p. 543.

- Elliott M.J., Stewart K.K., Lagowski J.J., The role of the laboratory in chemistry instruction, *J. Chem. Ed.*, **2008**, 85, p. 145.

Nathalie PIERQUET et Xavier BATAILLE, professeurs agrégés en BTS Métiers de la chimie à l'École Nationale de Chimie, Physique et Biologie (ENCPB), Paris.

* Courriels : nathalie.pierquet@free.fr ; xavierbataille@free.fr