

Un TP de chimie analytique en séquence d'investigation

Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Nicolas Cheymol, Vincent Mas et Michel Vigneron

Résumé

Cet article présente un TP de chimie analytique : le dosage de la vitamine C contenu dans un comprimé de Vitascorbol®. L'originalité tient dans la façon dont la séance a été construite : le protocole de dosage réalisé est celui des étudiants. La première étape consiste à mettre au point une stratégie en fonction d'une liste de matériel et de produits disponibles. Puis ils proposent et réalisent leur protocole, et enfin l'évaluent. En fin de séance, si le temps le permet, une étude comparée des différents protocoles et des résultats obtenus peut être réalisée. Les étudiants ont ainsi à relever un défi et pour cela, ils doivent mobiliser à la fois leurs connaissances en chimie analytique et leurs savoir-faire expérimentaux en matière de dosage. Ce type de séance est très apprécié des étudiants qui se sentent responsabilisés et disposent d'une certaine liberté d'action pour effectuer des tests et ainsi valider ou non leur hypothèse. La séquence proposée ici s'inscrit dans le cadre d'une démarche d'investigation dont quelques aspects sont détaillés.

Mots-clés

Démarche d'investigation, dosage d'un produit de la vie courante, vitamine C, mise au point d'un protocole, chimie analytique, iodométrie.

S'il est évident que les travaux pratiques sont une activité essentielle pour notre discipline, nous pouvons cependant nous demander si chaque étudiant prend bien conscience de leur rôle dans sa formation. Pour certains, l'expérimentation proposée est « *juste une recette à suivre au mot près pour parvenir au résultat* » ; pour d'autres, c'est la « *Crainte d'échouer, de ne pas comprendre ce qu'il faut faire* » ; et enfin pour quelques-uns, c'est « *une perte de temps puisqu'en cours on a déjà montré que...* »

Ce sentiment peut avoir pour origine le fait qu'une grande majorité de TP sont souvent trop dirigés, laissant ainsi peu d'initiative à l'étudiant. Ils pensent donc légitimement qu'il s'agit d'un simple exercice pratique où tout est prévu, si bien testé que la solution est unique, qu'il n'existe pas de marge de manœuvre, et que le résultat attendu est possible. Pour s'en convaincre, il suffit de consulter de nombreux ouvrages de travaux pratiques ou des manuels scolaires pour constater que la plupart des énoncés sont des protocoles fermés, qui ne se résument alors qu'à une succession d'étapes, de manipulations ou de gestes à effectuer dans un certain ordre. Ces opérations souvent justifiées, cohérentes, justes et fiables, certes, mais imposées à l'étudiant sans réflexion préalable, lui laissent un rôle d'exécutant peu valorisant (niveau de tâche faible). La conséquence est que ces activités expérimentales ne permettent pas à l'étudiant d'appréhender complètement ce qu'est une démarche scientifique ; ils ont surtout comme fonction de graver dans leur mémoire des gestes à reproduire parfaitement sans forcément les avoir compris. Or, un des objectifs des travaux pratiques devrait être justement de se confronter au travail de laboratoire, à la démarche du chercheur, et prendre conscience qu'entre ce qu'un professeur expose au tableau et la réalisation au laboratoire, il y a souvent un long parcours. C'est alors un moment privilégié pour montrer aux étudiants comment la recherche se construit, l'intérêt du droit à l'erreur, du tâtonnement, du développement

de l'esprit créatif, de la curiosité, du sens de l'observation, toutes ces valeurs essentielles en sciences expérimentales.

Née aux États-Unis dans les années 1990, la démarche d'investigation (DI), en anglais « *inquiry based experiment* », met au premier plan l'aptitude des étudiants :

- à concevoir, à conduire une démarche scientifique pour la résolution d'un problème ;
- à formuler des explications scientifiques utilisant l'expérience pour prouver leur hypothèse ;
- à communiquer leurs résultats et à les exploiter.

De nombreuses recherches semblent mettre en évidence un plus grand intérêt pour la pratique des sciences chez les étudiants pratiquant cette démarche et un goût pour formuler des hypothèses scientifiques, mettre au point des protocoles expérimentaux pour les vérifier, analyser et interpréter les résultats d'une ou plusieurs expériences. Ils font davantage preuve d'esprit d'initiative, d'esprit critique, de curiosité et de créativité. Ils se sentent alors responsabilisés et par conséquent s'investissent davantage dans le travail qui leur est demandé et dans leur apprentissage des connaissances scientifiques. Dès lors, il faut se demander comment nous, enseignants, pouvons construire de telles séquences pour :

- illustrer une notion abordée en cours ;
- découvrir un concept, une notion ou une technique ;
- ou prendre du recul par rapport à un ensemble de savoirs ou de savoir-faire.

En France, la DI s'est développée à l'école primaire sous l'impulsion notamment de « *La main à la pâte* » à l'initiative de Georges Charpak, et au collège où la démarche d'investigation est préconisée dans l'enseignement des sciences depuis 2005⁽¹⁾. Le « *socle commun des connaissances et des compétences* » met également en avant des objectifs de formation pour tous les élèves dans le domaine expérimental tels que « *savoir observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider, argumenter, modéliser de façon élémentaire.* »

Pour autant, dans la poursuite des études après le collège, notamment au lycée général et technologique et dans les filières post-bac, cette démarche est encore rarement mise en place. On la retrouve néanmoins sous une certaine forme dans le cadre des Olympiades nationales et internationales de la physique ou de la chimie, mais aussi dans les TPE (travaux personnels encadrés, au lycée) et TIPE (travaux d'initiatives personnelles encadrés, en classes préparatoires aux grandes écoles). Cependant, une évolution dans ce domaine se dessine tant au lycée qu'en post-bac⁽²⁾.

Enfin, un rapport de la Commission européenne (« L'enseignement scientifique aujourd'hui : une pédagogie renouvelée pour l'avenir de l'Europe ») présidé par Michel Rocard, vante également les mérites de la DI pour redonner l'envie aux étudiants de s'engager dans des filières scientifiques.

Nous vous proposons ici un exemple de séance d'investigation en chimie analytique : la mise au point d'un protocole expérimental de dosage. Cette expérience a été réalisée simultanément en classe de BTS chimiste et en classes préparatoires aux grandes écoles (option PC) en fin de seconde année.

Les atouts de la démarche d'investigation

L'idée maîtresse de la démarche d'investigation est de mettre en place un enseignement moins magistral et centré sur une implication beaucoup plus importante de l'étudiant. Quel que soit le niveau envisagé (primaire, collège, lycée, post-bac), il semble que la DI permette de faire acquérir des savoirs et des savoir-faire de manière plus durable sur le long terme. Quelles sont les contraintes associées à cette démarche ? :

- elle ne peut se pratiquer que si les étudiants s'impliquent ;
- elle nécessite de poser clairement d'où l'on part (constat, besoin, situation, diagnostic, prérequis, connaissances préalables des étudiants...), où l'on va (objectifs, problématiques) et par où l'on doit passer (phase de questionnement, de raisonnement, d'expérimentation...);
- elle se ponctue par différentes phases mais ne se pratique pas de la même façon en primaire, en collège, au lycée et en post-bac : il n'y a donc pas de « modèle » ou de chronologie unique ;
- elle nécessite une gestion de groupes et une gestion du temps différentes (débat possibles, communication et critique des résultats, formalisation...);
- elle permet à l'étudiant un cheminement différent et institue un droit à l'erreur.

Dans ce cadre, le travail de la classe s'inscrit alors plutôt dans une démarche qui permet de développer un **raisonnement scientifique**, d'apprendre à formaliser et communiquer des résultats et des conclusions, même si ces résultats ne sont pas ceux attendus (l'erreur n'est plus assimilée à un échec mais au contraire comme source d'apprentissage). La valorisation de ces résultats n'a lieu pour l'étudiant que s'il est capable de les **communiquer** au reste du groupe, à l'aide de différents moyens de communication. Une grande place est alors faite à l'oral et l'utilisation des différents médias (vidéoprojecteur, Flexcam®, tableau numérique interactif, etc.). Cette démarche permet aux étudiants d'apprendre à développer **sens critique** et **esprit de synthèse**. Ils apprennent aussi à s'interroger sur des observations proches de leur quotidien ou du domaine sur lequel ils sont ou seront amenés à travailler, à aiguïser leur

curiosité sur l'actualité, la société, notre environnement, notre quotidien, les arts ou l'histoire et ce, avec un regard scientifique qui s'appuie sur différentes situations choisies dans lesquelles les étudiants peuvent observer, confronter leurs conceptions, argumenter, reformuler, expérimenter, faire des recherches documentaires... Cette situation (dite « déclenchante ») peut prendre des formes très différentes, mais vise toujours le même but : capter l'attention de l'étudiant et initier un questionnement afin de rendre la suite (la théorisation de la science) plus attractive. Elle doit permettre de formaliser un problème dont la solution ne doit être ni triviale ni trop complexe. L'étudiant doit prendre conscience que le seul moyen d'obtenir une solution acceptable est de mettre en place un protocole de résolution basé sur une démarche scientifique : hypothèse(s) – expérience(s) – conclusion(s). Cette phase pouvant être quelquefois difficile, la DI se pratique très souvent en petites équipes (deux ou trois étudiants).

Le sujet proposé aux étudiants

Il s'agit d'une expérience classique que l'on retrouve, par exemple, dans « *Des expériences de la famille Réd-Ox* » de Danielle Cachau-Hereillat (de Boeck, 2007, p. 302-304). Afin de la transformer en une séance fondée sur la démarche d'investigation, nous avons décidé de n'indiquer aux étudiants que l'objectif recherché : le dosage de l'acide ascorbique dans un comprimé de Vitascorbol®, et d'imposer une liste de matériel et de produits mis à la leur disposition. Il s'agit alors de mettre au point un protocole pour vérifier les informations indiquées sur la boîte de comprimés.

Ce TP est réalisé en 3 heures, en fin d'année, avec des étudiants en BTS chimie seconde année et en classes préparatoires aux grandes écoles, option PC.

Énoncé du sujet

Comment vérifier que la masse d'acide ascorbique contenu dans un comprimé de Vitascorbol® est bien de 500 mg comme indiqué sur la boîte ? Vous détaillerez votre démarche, vos résultats. Une discussion sur la précision des résultats est attendue.

Produits et matériel à disposition



Produits

- solution de thiosulfate de sodium à environ $0,1 \text{ mol.L}^{-1}$,
- solution de diiode dans KI (sous forme triiodure) à environ $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$,
- solution d'iodure de potassium à 10 % (m/V),
- solution d'acide chlorhydrique à 50 % (V/V),
- flacon d'iodate de potassium solide,
- comprimés de Vitascorbol® à 500 mg en vitamine C,
- thiodène.

Matériel

- burette graduée de 25 mL,
- lot de pipettes jaugées (10, 25, 50 mL),
- pipette graduée de 5 mL,
- lot de fioles jaugées (25, 50, 100 mL),
- mortier + pilon,
- entonnoir,
- balance de précision au milligramme,
- pH-mètre + électrodes + solutions tampons (4 ; 7),
- conductimètre + cellule.

Documents à disposition

- table de potentiels standards ;
- il est précisé que l'acide ascorbique s'oxyde avec transformation d'une fonction énediol en dicétone, ceci afin de pouvoir écrire plus facilement la demi-équation électronique⁽³⁾ ;
- un diagramme potentiel-pH de l'iode limité aux espèces I^- , I_2 et IO_3^- tracé pour une concentration totale en élément iode dissous $C = 0,1 \text{ mol.L}^{-1}$ avec équirépartition de l'élément à la frontière.

Objectifs du TP

- proposer un protocole de dosage de l'acide ascorbique en fonction du matériel, des produits et des données théoriques mis à disposition, en réinvestissant les notions de chimie des solutions ;
- mettre en place une discussion sur la qualité de leur dosage (étalonnage des solutions, précision, choix de la technique de dosage...).

Quel mode d'évaluation choisir ?

Dans cette démarche, peut-être davantage que dans un TP plus classique, se pose la question de l'évaluation. Que peut évaluer un enseignant pendant et à l'issue d'une séance de type investigation ? L'évaluation par « compétences » (on entend par compétence le fait d'être capable de mobiliser et de réinvestir des savoirs, des savoir-faire et des attitudes afin d'atteindre un objectif donné) semble bien adaptée à la DI⁽⁴⁾. L'avantage de ce mode d'évaluation est d'être beaucoup plus proche des exigences du monde professionnel. Il permet à l'étudiant de mieux s'évaluer (voire s'auto-évaluer), de mieux connaître ses points forts et ses faiblesses. L'évaluation est ainsi centrée sur la démarche scientifique. L'enseignant fait une estimation de la façon dont l'étudiant s'est approprié le problème, de la façon dont il a cherché à le résoudre (mise au point d'un protocole, analyse critique des données expérimentales, qualité des gestes expérimentaux...) et la façon dont il va communiquer ses résultats. Dans la phase « communication », il est possible d'imaginer la question : « rédiger le compte rendu », sans apporter plus de précisions. Ce serait donc à l'étudiant de saisir ce qui est important et

nécessaire (écriture de l'équation de la réaction, calcul des rendements), intéressant à développer (choix des conditions, des méthodes de purification, des solvants utilisés), ou encore ce qui permettrait de compléter l'étude (analyses de spectres, conclusion sur la réaction...). Il faut alors accepter que les premiers essais (les premiers TP de type investigation réalisés avec une promotion) ne soient pas totalement concluants.

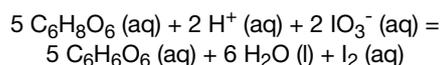
La construction de grilles de compétences peut aider à l'évaluation formative de la séance ; nous en proposons un exemple dans le *tableau* ci-contre. Certaines compétences sont extraites du socle commun (disponible sur le site Eduscol⁽⁵⁾) et d'autres inspirées de l'ouvrage de M. Ruffenach et D. Courtilot cité dans la note (4). Cette grille d'évaluation par compétence est à adapter selon les situations ; il est essentiel de la communiquer par avance aux étudiants et il est souhaitable de présenter les critères d'évaluation qui seront retenus.

Déroulement de la séance

Arrivés dans la salle, les étudiants découvrent le défi proposé. Sur les chariots, le matériel et les produits sont mis à leur disposition. Les groupes de travail (binômes) se forment et le travail commence.

Première phase de la démarche : étant donnés les produits disponibles et le matériel fourni, comment réaliser le dosage de la vitamine C dans un comprimé ?

Il faut donc trouver un protocole de dosage qui convienne, pour le moment sur le papier. La mise en œuvre d'une réaction d'oxydoréduction s'impose très vite chez tous les groupes compte tenu à la fois des substances disponibles et des données accessibles. En s'aidant des potentiels standards des différents couples redox, de nombreux groupes proposent de faire réagir le diiode avec la vitamine C. À ce stade, certains choisissent cette réaction pour un titrage direct, d'autres préfèrent un titrage indirect en utilisant un excès de diiode qui sera titré par une solution de thiosulfate de sodium. Un groupe souhaite réaliser un suivi pH-métrique parce que la réaction du diiode avec la vitamine C produit des ions oxonium. Enfin, quelques groupes ont proposé de faire le titrage de la vitamine C en utilisant comme titrant l'iodate de potassium selon la réaction :

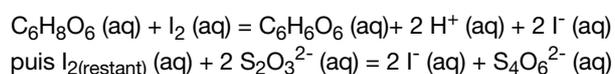


Le rôle de l'enseignant dans cette phase de travail est de passer dans les groupes, de mettre en place un questionnement pour que chaque étudiant puisse argumenter son choix de protocole (calcul de constante d'équilibre, espèces colorées ou non en vue d'un titrage colorimétrique, utilisation d'un indicateur coloré...). Le principe n'est pas de leur dire si ce qu'ils proposent est « bien ou non », mais de les écouter et de discuter avec eux sur la pertinence de leurs arguments, un peu comme des scientifiques dans un laboratoire de recherche.

La seconde phase consiste à choisir des conditions expérimentales (volumes de prise d'essai, concentration des solutions, réalisation de la solution à doser, etc.). C'est à ce stade que les étudiants rencontrent les premières vraies difficultés, différentes selon leur formation initiale. Par exemple, les étudiants de CPGE choisissent de dissoudre le comprimé de Vitascorbol® dans de l'eau déminéralisée mais ne savent ni dans quel volume, ni dans quelle verrerie. Une fois cet obstacle franchi, arrive le problème des excipients

Exemple de grille d'évaluation d'un TP d'investigation.			
	acquis	en cours d'acquisition	non acquis
Connaissances mobilisées pour résoudre un problème			
Savoir adapter ses connaissances à la situation proposée			
Savoir observer, questionner, formuler une hypothèse et la valider ou non, argumenter, modéliser			
Comprendre le lien entre les phénomènes observés, les concepts utilisés et le langage mathématique qui aide à les décrire			
Richesse et variété des idées			
Proposer un protocole expérimental			
Savoir extraire des informations d'un texte			
Aptitudes expérimentales			
Développer des habiletés manuelles, être familiarisé avec certains gestes techniques			
Savoir utiliser correctement le matériel mis à disposition			
Participer à la conception d'un protocole et le mettre en œuvre en utilisant les outils appropriés, y compris informatiques			
Efficacité de la mise en application			
Respecter les règles de sécurité et prendre conscience des risques			
Être capable de s'adapter à l'environnement de travail			
Communication			
Qualité des documents rédigés (diaporama, rapports ; orthographe, grammaire)			
Aisance à l'oral			
Aptitude à gérer un groupe (activité de superviseur à tour de rôle)			
Analyser, exprimer et exploiter correctement les résultats d'une mesure ou d'une recherche, d'une expérience			
Utiliser les langages scientifiques à l'écrit et à l'oral			
Conclusion scientifique			
Comprendre qu'à une mesure est associée une incertitude et l'évaluer			
Savoir interpréter des résultats et tirer une conclusion d'un travail réalisé			
Savoir présenter un travail, une production, un calcul soigné et bien structuré			

peu solubles dans l'eau et de la mousse qui peut apparaître au cours de la dissolution et qui gêne la préparation de la solution dans la fiole jaugée. Toujours en CPGE, peu d'étudiants ont pensé à utiliser un bécher pour dissoudre le comprimé dans un peu d'eau déminéralisée, puis à filtrer la solution dans une fiole jaugée en lavant plusieurs fois le bécher par des petites portions d'eau déminéralisée. Ensuite, il faut choisir le volume de la prise d'essai à titrer en lien avec la concentration du titrant de façon à avoir une chute de burette de l'ordre de 15 mL sur un volume total de burette de 25 mL. Un petit calcul s'impose compte tenu des réactions mises en jeu :



Une fois choisis le volume de la prise d'essai et la concentration du titrant, les étudiants sont prêts à réaliser le titrage. Cependant, en CPGE, aucun groupe ne s'est aperçu d'un problème supplémentaire : les solutions de diiode et de thiosulfate ont une concentration indiquée approximative ! Ils ne peuvent donc convenir pour un titrage. Il faut alors les titrer à leur tour... Pour cela, on pourra utiliser un étalon solide : l'iodate de potassium. En BTS, les étudiants ont procédé différemment. Habités à raisonner sur la validité et la précision de leurs analyses, ils ont dès le départ axé leur méthodologie sur la réalisation d'étalonnages des solutions à partir de la seule espèce dont on peut mesurer une quantité précise : le solide. Ils se sont alors répartis le travail : certains

étalonnant (avec dédoublement de chaque manipulation de façon à faire des tests de répétabilité), d'autres choisissant les réactions de titrage, d'autres diluant et faisant des tests rapides, d'autres se spécialisant dans les calculs. Tout est par ailleurs centralisé sur le tableau par les étudiants.

En classe de CPGE, les étudiants n'avaient jamais été confrontés à ce problème. Une lecture précise de la liste de matériel et l'observation des différents flacons les a amenés à le découvrir. D'où une nouvelle phase d'investigation : comment déterminer avec précision la concentration des solutions de diiode et de thiosulfate de sodium ? Certains ont donc pensé utiliser la solution d'iodure de potassium à 10 % (m/V) pensant que « c'était plus précis ». Il a donc fallu leur faire découvrir que seul l'iodate de potassium pouvait convenir étant donné que l'on pouvait peser une masse précise au milligramme près de cette substance. Restait à chercher comment l'impliquer dans un étalonnage des solutions de diiode et de thiosulfate de sodium. Deux groupes de CPGE ayant trouvé la réponse, ils sont passés au tableau pour exposer leur idée : « *On prépare une solution d'iodate de potassium de concentration parfaitement connue par pesée précise de l'iodate de potassium. On rajoute un volume V de solution d'iodure de façon à être en excès d'iodure par rapport à l'iodate (les informations approximatives des concentrations les guidant). On acidifie de façon à provoquer la rétrodismutation. On connaît donc précisément la quantité de diiode qui est en solution. On dose par la solution de thiosulfate de sodium. On peut donc*

déterminer précisément la concentration de la solution de thiosulfate de sodium. Puis, on dose la solution de diiode fournie avec cette solution de thiosulfate dont on connaît à présent la concentration précise. On a donc à présent des solutions de diiode et de thiosulfate de sodium de concentrations parfaitement connues avec une estimation de l'incertitude compte tenu de la verrerie utilisée. » Le même résultat a été obtenu avec les étudiants de BTS, mais plus rapidement du fait de leur habitude du laboratoire. Une précision a été cependant apportée concernant l'estimation des incertitudes. On ne calcule pas l'incertitude en ne tenant compte que de la verrerie mais en y intégrant aussi le manipulateur ainsi que la méthode de détermination de l'équivalence. En BTS, les étudiants déterminent alors, expérimentalement, un écart-type de répétabilité et/ou de reproductibilité. Ainsi, chaque manipulation doit être dédoublée et la concordance des résultats vérifiée.

La dernière phase correspond à la réalisation expérimentale des différents protocoles proposés, l'exploitation des résultats, l'analyse critique (précision, comparaison avec les indications portées sur la boîte de comprimés).

Formalisation des résultats

Nous avons demandé aux étudiants de faire un compte rendu en une feuille maximum sans apporter plus de précisions. C'est donc ici à l'étudiant de saisir ce qui est important et nécessaire :

- justifier le choix du protocole,
- expliquer comment ce protocole a été validé,
- indiquer les relations (mathématiques, chimiques) à établir ou à utiliser,
- donner les conclusions que l'on peut tirer des résultats obtenus.

Bilan

L'ensemble des groupes a réussi à trouver un protocole de dosage et le tester dans le temps imparti. L'interprétation des résultats a également été possible et selon les groupes, l'erreur relative variait entre 2 et 7 %. En CPGE, les étudiants ont tous réussi à trouver différents facteurs sources d'imprécision en analysant leur pratique expérimentale. Ils ont même fait preuve d'un véritable esprit critique envers leur pratique (ce qui n'est pas toujours le cas lors de séances de TP plus guidées). C'est ainsi que deux groupes ont eu l'honnêteté de reconnaître une valeur aberrante sur la quantité de vitamine C dans un comprimé suite à un mauvais choix de verrerie (utilisation d'une éprouvette graduée pour mesurer le volume de la prise d'essai à la place d'une pipette jaugée, ou bien la réalisation de la solution à doser dans un erlenmeyer) — erreur non observée en BTS —, mais aussi un comprimé pas complètement solubilisé, une difficulté à repérer le changement de couleur... En BTS, le problème venait plus de l'aspect calculatoire, comme choisir correctement les excès de tel ou tel réactif, les problèmes de nombres stœchiométriques...

Le groupe qui a envisagé un suivi pH-métrique du titrage direct de la vitamine C par le diiode a bien constaté la diminution du pH au fur et à mesure de l'ajout de diiode et sa stabilisation après l'équivalence. La détermination du volume équivalent est cependant trop imprécise du fait d'une variation de pH trop faible autour de l'équivalence. Néanmoins, un suivi conductimétrique pourrait améliorer la précision : il faudrait tester cette hypothèse...

Ce TP a permis de revoir la notion d'excès (la stœchiométrie de la réaction de rétrodismutation n'est pas à nombres stœchiométriques simples), de ne pas oublier de mettre toujours un excès d'ions iodure pour solubiliser le diiode formé et de nombreuses autres petites astuces de laboratoire.

Tout au long de cette séance, les étudiants se sont investis fortement. Ils ont cherché un protocole de dosage ; ils ont dû gérer leur temps, faire preuve de rigueur, confronter ce qu'ils avaient prévu avec leur propre réalisation et quelquefois ils ont dû adapter leur protocole initial. Ils ont fait preuve d'esprit critique et d'initiative. Ils ont été obligés de s'approprier le problème afin de pouvoir le résoudre dans la limite des contraintes que nous leur avons imposées.

Conclusion : qu'apporte la DI à l'enseignement ?

Au cours des séances de TP en investigation avec nos étudiants, nous avons constaté que :

- la découverte des phénomènes et la recherche de leur explication par une démarche qu'ils ont construite eux-mêmes semblent permettre une meilleure appropriation du sujet ;
- leur esprit critique est fortement sollicité ;
- la DI crée en général une forte cohésion entre les étudiants d'un même groupe de TP et instaure une relation différente entre les étudiants et le professeur ;
- la DI place l'étudiant en situation de réussite car l'erreur commise ne traduit pas forcément une déficience de celui-ci. Toutes les formes de talents sont valorisées, ce qui permet à tous les types d'étudiants de briller à un moment ou un autre de la séance.

Et le rôle de l'enseignant dans cette démarche ?

Il est évident que le rôle du professeur dans le cadre de ce type de séances change considérablement, et d'une certaine manière, il se trouve revalorisé ! En effet, il adopte un rôle de « facilitateur », de guide, afin d'aider les étudiants à mieux s'approprier le sujet de TP. Il les assiste pour qu'ils avancent dans leur travail, il cherche à les motiver et les responsabiliser en mettant en place un climat de confiance. Dans cette atmosphère, chaque groupe prend conscience qu'il a un rôle à jouer face à l'objectif qu'il s'est fixé. L'enseignant pose des questions pour obliger les étudiants à proposer des hypothèses et imaginer des protocoles, pour recadrer certains groupes qui s'éloigneraient de la problématique, et utilise les réflexions des étudiants afin de faire avancer la résolution du problème. Plus d'autonomie en TP ne signifie donc pas moins de rigueur, moins de sécurité, ou la possibilité de faire « n'importe quoi ». Le professeur doit veiller à ce que le choix des expériences à réaliser soit conforme à l'objectif fixé tout en respectant les règles de sécurité. Aucune expérience ne doit être mise en œuvre sans une justification **rigoureuse** de la part de ceux voulant la réaliser.

Est-ce difficile de réaliser des TP en DI ?

Pour l'enseignant, la mise en place nécessite un certain travail en amont, une certaine analyse de ses pratiques et une envie réelle de se lancer et d'aller jusqu'au bout, quitte à tâtonner un peu au début. Au niveau des contenus, il n'est cependant pas nécessaire de se lancer dans de grands



projets totalement innovants et trop ambitieux, mais plus raisonnablement partir de TP connus et maîtrisés et :

- d'en modifier l'aspect ;
- de créer une ou des situations induisant un scénario, assorti de questionnements, menant à un ou des problèmes ;
- de se laisser la liberté de modifier certains des paramètres (toujours en expliquant pourquoi, justifications et recherches à l'appui).

Au niveau du déroulement des séances, il faut accepter :

- de travailler différemment avec les étudiants (souvent par groupes de plus de deux étudiants) ;
- de gérer des projets et des restitutions de comptes rendus de natures plus variées ;
- d'être très sollicité (du moins au début) car ce type de séance est forcément plus mouvementé qu'un TP classique (où tout est installé et prêt).

Pratiquer des TP de cette façon procure une réelle satisfaction tant de la part des étudiants que du professeur. Cependant, il ne faut pas négliger un aspect important : la prise de risque de la part de l'enseignant. En laissant aux étudiants davantage de liberté, la possibilité de proposer, de faire des choix, de modifier des protocoles, l'enseignant devra faire face aux problèmes rencontrés, être capable d'apporter une assistance aux différents groupes, d'en recadrer certains qui pourraient s'éloigner de la problématique initiale. En contrepartie, on assiste à des séances vivantes, au cours desquelles l'investissement des étudiants est sans comparaison avec les séances plus traditionnelles. Finalement, le principal objectif de cette démarche est de donner l'habitude aux étudiants de mobiliser leurs connaissances et savoir-faire pour résoudre un problème, d'avoir un esprit critique, de savoir créer et innover, d'expérimenter, de savoir tirer profit des échecs

et pas seulement des victoires. C'est la notion même de « compétence » qui est ici mise en œuvre.

Remerciements

Les auteurs remercient leurs étudiants de BTS chimiste et CPGE (PC) de l'ENCPB pour avoir participé à ces séances avec enthousiasme, rigueur et dynamisme. Ils remercient également Van Tong Chung et Yann Legros pour leur aide dans la réalisation de ce TP.

Notes et références

- (1) BO spécial n° 6 du 28 août 2008.
- (2) Lire notamment les rapports de l'Inspection générale disponible sur le site du Ministère de l'Éducation nationale.
- (3) Notons que si l'on dispose de plus de temps, il est également envisageable de leur faire trouver expérimentalement ce résultat par une recherche de la stœchiométrie de la réaction et une analyse IR comparée (réactifs/produits).
- (4) Pour plus de détails, consulter le rapport de l'Inspection générale de l'Éducation nationale, *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis*, rapport n° 2007-048, juin 2007, disponible sur le site du ministère de l'Éducation nationale, et l'ouvrage de M. Ruffenach et D. Courtilot, *Enseigner les sciences physiques - L'enseignement par compétences*, Bordas, 2009.
- (5) <http://eduscol.education.fr>

Bibliographie

- Lechtanski V.L., *Inquiry-Based Experiments in Chemistry*, ACS Publication, 2000.
- Gallagher-Bolos J.A., Smithenry D.W., *Teaching Inquiry-Based Chemistry: Creating Student-Led Scientific Communities*, Heinemann, 2004.
- Ruffenach M., Courtilot D., *Enseigner les Sciences physiques*, tomes 1 et 2, Bordas, 2004 et 2006.
- Ruffenach M., Courtilot D., *Enseigner les sciences physiques - L'enseignement par compétences*, Bordas 2009.
- *Le BUP*, numéro spécial « Démarche d'investigation au collège », 886, juillet/août-sept. 2006.
- Faire des sciences physiques et chimiques, *Les cahiers pédagogiques*, 469, E. Chevigny (coord.), 2009.

Webographie

- www.educnet.education.fr/rnchimie : site de ressources nationales de chimie. Depuis mars 2009, ce site hébergé sur Educnet propose une rubrique « Démarche d'investigation » dans laquelle vous pouvez proposer vos contributions.



X. Bataille



E. Beauvieux



N. Cheymol



V. Mas

Xavier Bataille et Erwan Beauvieux sont professeurs agrégés en BTS chimiste, et Nicolas Cheymol (auteur correspondant) est professeur de chaire supérieure en classes préparatoires aux grandes écoles, option PC, à l'École Nationale de Chimie, Physique et Biologie (ENCPB)*.



M. Vigneron

Vincent Mas est professeur au lycée Arago à Perpignan. Michel Vigneron est Inspecteur d'académie - Inspecteur pédagogique régional (IA-IPR) dans l'Académie de Versailles.

* ENCPB, 11 rue Pirandello, 75013 Paris.
Courriel : cheymol.n@aliceadsl.fr