

# Évaluer les activités expérimentales...

Xavier Bataille, Erwan Beauvineau, Julien Calafell, Nicolas Cheymol, Anne Szymczak et Michel Vigneron

**Résumé** Cet article propose une réflexion sur la mise en place de grilles d'évaluation par compétences en activité expérimentale. Un deuxième article montrera comment traiter et exploiter ces grilles après la séance.

**Mots-clés** Grilles de compétences, évaluation, auto-évaluation, démarche d'investigation, problème ouvert, travaux pratiques, techniques expérimentales.

L'évaluation, indissociable de tout apprentissage, existe sous des formes très variées selon le pays, la région, la discipline, l'établissement, mais aussi la classe et l'enseignant. Il s'agit d'un problème complexe et difficile à... évaluer.

En 1997, un décret officialise une approche par compétences pour l'enseignement obligatoire. En 2001, le Parlement européen prend position en faveur d'un enseignement par compétences. En 2006, huit compétences clés sont ainsi définies en Europe et la France propose sept compétences dans le socle commun de connaissances et compétences. Ainsi depuis 2008, la notion de compétence est introduite en France au collège. Elle se développe désormais au lycée avec la réforme du lycée et la nouvelle classe de seconde à la rentrée 2010 (voir un extrait des nouveaux programmes dans l'encadré 1). Dans les concours d'entrée dans les grandes écoles, ce mode d'évaluation commence à émerger au travers de l'évaluation des activités expérimentales (concours Centrale-Supélec).

L'approche par compétences constitue une démarche particulièrement bien adaptée à l'activité expérimentale dans le domaine des sciences physiques et chimiques. Nous développerons dans cet article l'intérêt d'une évaluation par compétences lors des activités expérimentales. Puis à l'aide de trois exemples de problèmes ouverts, nous expliciterons la mise en place d'activités expérimentales évaluées par compétences. Les compétences retenues sont celles proposées dans le document disponible sur le site Eduscol<sup>(1)</sup>.

## Évaluation et statut de l'erreur

Trois temps dans la pratique de l'évaluation peuvent être distingués (tableau I) :

- **L'évaluation diagnostique**, mise en place quand on entame l'enseignement d'une notion, a pour objectif de faire le point sur les connaissances antérieures des élèves. Elle analyse leurs besoins et les représentations initiales. Elle peut se pratiquer avant un cours, une activité expérimentale, la résolution d'un exercice ou d'un problème. L'enseignant, à partir des informations recueillies (par oral ou écrit), définit une stratégie pour remplacer ou corriger les représentations des élèves. Cette évaluation ne donne pas lieu à une note et elle doit être conçue pour mettre en confiance tous les élèves afin qu'ils s'expriment librement.
- **L'évaluation formative** a une fonction essentiellement didactique (par opposition à l'évaluation sommative). Elle est pratiquée de

Tableau I - Trois modes d'évaluation.

Mode d'évaluation	diagnostique	formative	sommative
<b>Fonction</b>	Orienter, adapter	Réguler, faciliter les apprentissages	Vérifier, certifier
<b>Phase</b>	Avant l'action de formation	Pendant l'action	Après l'action

### Encadré 1

**Extrait du nouveau programme de sciences physiques et chimiques de la classe seconde générale et technologique [1]**

#### La démarche scientifique

La science est un mode de pensée qui s'attache à comprendre et décrire la réalité du monde à l'aide de lois toujours plus universelles et efficaces, par allers et retours inductifs et déductifs entre modélisation théorique et vérification expérimentale. Contrairement à la pensée dogmatique, la science n'est pas faite de vérités révélées intangibles, mais de questionnements, de recherches et de réponses qui évoluent et s'enrichissent avec le temps. Initier l'élève à la démarche scientifique, c'est lui permettre d'acquérir des compétences qui le rendent capable de mettre en œuvre un raisonnement pour identifier un problème, formuler des hypothèses, les confronter aux constats expérimentaux et exercer son esprit critique.

Il doit pour cela pouvoir mobiliser ses connaissances, rechercher, extraire et organiser l'information utile, afin de poser les hypothèses pertinentes. Il lui faut également raisonner, argumenter, démontrer et travailler en équipe. En devant présenter la démarche suivie et les résultats obtenus, l'élève est amené à une activité de communication écrite et orale susceptible de le faire progresser dans la maîtrise des compétences langagières.

Dans la continuité du collège, la démarche d'investigation s'inscrit dans cette logique pédagogique.

#### L'approche expérimentale

Associée à un questionnement, l'approche expérimentale contribue à la formation de l'esprit et à l'acquisition, évaluée par le professeur, de compétences spécifiques. L'activité expérimentale offre la possibilité à l'élève de répondre à une situation-problème par la mise au point d'un protocole, sa réalisation, la possibilité de confrontation entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats. Elle lui permet de confronter ses représentations avec la réalité. Elle développe l'esprit d'initiative, la curiosité et le sens critique. Elle est indissociable d'une pratique pédagogique dans des conditions indispensables à une expérimentation authentique et sûre.

Ainsi, l'élève doit pouvoir élaborer et mettre en œuvre un protocole comportant des expériences afin de vérifier ses hypothèses, faire les schématisations et les observations correspondantes, réaliser et analyser les mesures, en estimer la précision et écrire les résultats de façon adaptée. Connaître les conditions de validité d'un modèle permet à l'élève d'en déterminer les exploitations possibles et de le réinvestir. [...]

**Extrait du nouveau programme de sciences physiques et chimiques de la classe de seconde générale et technologique, enseignement d'exploration « sciences et laboratoire » de la classe de seconde [1]**

[...] Dans la continuité de l'enseignement des sciences au collège, cet enseignement d'exploration permet aux élèves de découvrir ou de renforcer des capacités et des attitudes mises en œuvre dans une démarche scientifique. Cet enseignement fait appel et renforce différentes compétences au sens du « socle commun de connaissances et de compétences », notamment : la maîtrise de la langue française, les principaux éléments de mathématiques et la culture scientifique et technique, la maîtrise des techniques usuelles de l'information et de la communication, l'autonomie et l'initiative.

Dans le cadre d'une démarche de projet, il permet de découvrir les capacités plus particulièrement mises en œuvre à travers des pratiques expérimentales en laboratoire : formuler ou s'approprier une problématique, proposer une stratégie pour répondre à la problématique, mettre en œuvre des activités expérimentales, analyser les résultats et valider une solution, présenter et partager ses travaux. [...]

#### Évaluation

L'élève doit prendre conscience de ses aptitudes à résoudre des problèmes en évoluant dans un contexte expérimental grâce à une évaluation, essentiellement formative, qui l'aide à préciser son projet d'orientation. Le professeur lui fournit les éléments nécessaires et l'accompagne dans son auto-évaluation.

[1] Bull. Off. Educ. Natl., spécial, 4, 29 avril 2010.

façon à promouvoir la réussite éducative des élèves en régulant le processus d'enseignement à travers les prises d'indices sur les comportements, les performances des élèves et l'analyse de leurs erreurs. Dans cette approche, l'évaluation sert à mettre en place des remédiations, des régulations, des aides diverses pour que les erreurs deviennent moins fréquentes et que la nature des démarches d'apprentissage soit clairement repérée. Cette évaluation permet aussi à l'élève de mieux s'auto-évaluer grâce à la mise en place de critères et d'indicateurs précis pour repérer ses points forts et ses faiblesses. Elle le guide et l'encourage dans son travail scolaire et personnel. Essayer, échouer, recommencer, analyser ses erreurs est la seule façon d'apprendre durablement ; c'est aussi la démarche du scientifique dans son laboratoire...

• **L'évaluation sommative** est l'évaluation finale. Elle repose sur une appréciation d'ensemble des changements survenus dans une action de formation. Elle permet de dresser un bilan des performances des élèves et de leur situation (examen, concours, interrogations périodiques) au terme d'un cursus d'enseignement ou de formation donné. Elle certifie ainsi que les objectifs assignés sont atteints.

L'erreur est encore trop souvent perçue comme n'ayant qu'un rôle d'évaluation-sanction. Elle est alors ressentie par les élèves comme un échec, une dévalorisation, et cela peut conduire à une forte démotivation. Or une erreur est révélatrice d'une incompréhension, d'un manque de motivation et d'implication, ou d'un mode de raisonnement erroné qu'il convient d'analyser puis de corriger en mettant en place une dynamique de remédiation. En cours d'apprentissage, l'erreur est inévitable et peut même favoriser l'assimilation sur une longue durée de connaissances. En activité expérimentale, le statut de l'erreur ou de l'expérience qui ne marche pas est encore plus enrichissant pour les élèves ; elle peut ainsi devenir un indicateur de compréhension. Au lieu d'évaluer par rapport à une norme, il s'agit plutôt d'analyser la logique de l'erreur et d'en tirer parti pour améliorer les apprentissages.

## L'évaluation par compétences

Commençons par indiquer ce que *n'est pas* une compétence :

- une compétence ne se réduit pas à un résultat ou un ensemble de résultats observables, ni à un exercice ou à une tâche d'évaluation ;

- ce n'est pas une capacité abstraite isolée de tout contexte : on ne peut ni exercer ni observer une compétence « à vide » ; elle doit être finalisée et contextualisée, c'est-à-dire qu'elle doit se reporter à des situations précises ;

- la compétence ne se réduit pas à un ensemble de connaissances ou de savoir-faire. La notion de compétence implique l'utilisation de savoirs, de savoir-faire, d'attitudes dans une situation donnée.

## Comment définir une compétence ?

La définition retenue ici est celle proposée en 2007 dans le rapport de l'Inspection générale de l'Éducation nationale « *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis* »<sup>(2)</sup> : « Si trouver un sens commun à la notion de compétence semble difficile, quelques traits caractéristiques se dégagent de l'ensemble des propos des chercheurs :

• une compétence repose sur la mobilisation, l'intégration, la mise en réseau d'une diversité de ressources : les ressources internes, propres à l'individu, ses connaissances, capacités, habiletés, mais aussi les ressources externes mobilisables dans l'environnement de l'individu (autres personnes, documents, outils informatiques, etc.) ;

• cette mobilisation des ressources s'effectue dans une situation donnée, dans le but d'agir : la compétence est nécessairement située<sup>(3)</sup> ; pour autant, elle s'exerce dans une diversité de situations, à travers un processus d'adaptation et pas seulement de reproduction de mécanismes. »

On entend par compétence « l'aptitude à mobiliser et à réinvestir des connaissances, des capacités et des attitudes afin d'atteindre un objectif donné dans une situation complexe donnée<sup>(4)</sup>. »

Ces compétences se construisent tout au long de la scolarité, depuis l'école, le collège et le lycée jusqu'à l'enseignement supérieur.

## Comment construire une activité expérimentale qui évalue des compétences ?

Partons d'un exemple, le protocole extrait d'un sujet d'examen (voir encadré 2). Dans la partie « Manipulations », le texte est une

### Encadré 2

#### MANIPULATIONS

##### • Préparation du 1-iodobutane

Dans un ballon tricol sec de 250 mL équipé d'un réfrigérant surmonté d'une garde à chlorure de calcium, d'une ampoule de coulée et d'un agitateur, placer 21,5 g d'iodure de sodium anhydre.

- Ajouter 120 mL de propanone (acétone) anhydre. Agiter le mélange jusqu'à complète dissolution de l'iodure de sodium.

- Ajouter par l'ampoule de coulée 12,5 g de 1-bromobutane et porter au reflux pendant 75 min.

- Laisser refroidir le ballon à température ambiante.

- Filtrer le mélange réactionnel et placer le filtrat dans un ballon monocol de 200 mL.

- Évaporer le solvant par distillation.

- Placer le résidu de distillation dans une ampoule à décanter.

- Laver le mélange avec 50 mL d'eau. Garder de côté la phase organique.

- Extraire la phase aqueuse avec 20 mL de dichlorométhane.

- Rassembler les phases organiques et les laver avec 25 mL d'eau additionnée d'un cristal de thiosulfate de sodium.

- Laver ensuite la phase organique avec 50 mL d'eau.

- Sécher la phase organique sur sulfate de magnésium puis filtrer.

- Éliminer le solvant à l'évaporateur rotatif (ou par distillation simple).

- Stocker le produit dans un récipient étiqueté.

- Peser la masse de 1-iodobutane formée.

- Mesurer l'indice de réfraction du 1-iodobutane.

- Donner le flacon au professeur examinateur pour l'analyse en chromatographie en phase vapeur.

##### • Préparation du 2-butyl-3-oxobutanoate d'éthyle

- Peser 3 g de pastilles de soude dans un bécher de 100 mL et les dissoudre dans environ 10 mL d'eau.

- Laisser refroidir la solution, puis la transvaser quantitativement dans une fiole de 25 mL et ajuster son volume au trait de jauge.

- Boucher la fiole et homogénéiser la solution.

- Prélever à la pipette jaugée 10 mL de cette solution et les placer dans un erlenmeyer de 25 mL. Refroidir l'erlenmeyer dans un bain d'eau froide et ajouter 5,6 g d'hydrogénosulfate de tétrabutylammonium ; réchauffer légèrement pour dissoudre, si besoin est.

- Dans un ballon de 100 mL, équipé d'un barreau magnétique et d'une ampoule de coulée isobare, placer 1,95 g de 3-oxobutanoate d'éthyle, 4,14 g d'iodobutane commercial et 10 mL de dichlorométhane.

- Placer le contenu de l'erlenmeyer dans l'ampoule de coulée et l'ajouter goutte à goutte, en 5 minutes, sous vive agitation.

- Lorsque la phase aqueuse est devenue neutre (pH 7-8), arrêter l'agitation.

- Décanter, collecter la phase organique et éliminer le solvant à l'évaporateur rotatif (ou, avec précaution, à l'aide d'un montage de distillation simple).

- Ajouter 20 mL d'éther au résidu et filtrer l'iodure de tétrabutylammonium qui a précipité.

- Rincer le solide avec deux fois 3 mL d'éther.

- Sécher la solution sur sulfate de sodium.

- Éliminer le solvant à l'évaporateur rotatif (ou, avec précaution, à l'aide d'un montage de distillation simple).

- Placer le résidu dans un récipient prévu à cet effet.

- Peser la quantité obtenue de 2-butyl-3-oxobutanoate d'éthyle.

- Donner le produit à l'examineur qui effectuera une analyse par CPG.

##### • Contrôle de pureté du 2-butyl-3-oxobutanoate d'éthyle par CCM

Réaliser la chromatographie sur couche mince des solutions à 1 % dans la propanone :

- du 3-oxobutanoate d'éthyle commercial,

- du 2-butyl-3-oxobutanoate d'éthyle commercial,

- du 2-butyl-3-oxobutanoate d'éthyle préparé.

L'éluant est un mélange pentane/éther diéthylique (75/25 en volume).

La révélation sera effectuée sous radiation UV.

#### COMPTE RENDU

##### • Préparation du 1-iodobutane

Q1. Écrire l'équation de la réaction.

Q2. Expliquer pourquoi les réactifs utilisés pour la synthèse sont anhydres.

Q3. Indiquer la nature du solide obtenu lors de la filtration.

Q4. Préciser l'intérêt du lavage avec le thiosulfate de sodium. Écrire l'équation de la réaction mise en jeu.

Q5. Commenter les résultats de l'analyse CPG à l'aide des documents fournis.

Q6. Calculer le rendement de la réaction en produit brut, puis le rendement corrigé après analyse chromatographique.

Remplir la feuille de résultats

Préparation du 2-butyl-3-oxobutanoate d'éthyle

Q7. Indiquer le rôle de l'hydroxyde de sodium.

Q8. Identifier les réactions secondaires susceptibles de se produire et donner leurs équations.

Q9. Préciser le rôle de l'hydrogénosulfate de tétrabutylammonium.

Q10. Commenter l'analyse CCM.

Q11. Commenter l'analyse CPG à l'aide des documents fournis.

Q12. Calculer le rendement de la réaction en produit brut, puis le rendement corrigé d'après l'analyse CPG.

Remplir la feuille de résultats

succession de gestes techniques à effectuer. L'élève – ici plutôt le candidat – est complètement guidé, aucun choix n'est laissé à l'expérimentateur. N'importe quel manipulateur, s'il est un peu adroit, peut arriver au résultat souhaité sans rien comprendre à ce qu'il fait. Finalement, ce genre d'épreuve telle qu'elle est construite actuellement ne teste que deux capacités : l'habileté manuelle et la capacité à lire un texte et exécuter une tâche.

Dans la partie « Compte rendu », on constate que les questions posées sont généralement trop binaires (dans le sens où la réponse attendue permet une notation plus qu'une réelle évaluation : l'élève sait ou ne sait pas faire). Ce genre de questions ne permet pas de savoir si l'élève a bien compris le sens du travail demandé. Un questionnement plus ouvert permet davantage de vérifier si l'élève a bien saisi l'essentiel de la manipulation effectuée. Même les analyses de spectres (disponibles sur le site RNchimie<sup>(5)</sup>) sont extrêmement guidées. Il pourrait être envisageable de fournir aux élèves un ensemble de spectres (masse, RMN, IR) de réactifs, d'intermédiaires, de produits, en ne demandant pas une attribution, mais plutôt d'en tirer les informations utiles ou jugées utiles par l'élève.

### **D'une activité guidée vers une activité permettant une évaluation par compétences...**

Il n'est malheureusement pas rare de trouver des sujets d'activité expérimentale foisonnant de questions – évidemment intéressantes – mais qui peuvent, telles qu'elles sont posées, faire percevoir le sujet comme un simple exercice pratique, peu susceptible de motiver les élèves. La majorité des protocoles proposés ne vise pas à développer l'autonomie et noie l'élève sous un flot d'informations : il est alors tellement absorbé à ne pas oublier une étape qu'il en oublie la vision globale de l'activité proposée et ne perçoit pas toujours le sens de chaque geste. L'avantage de la mise en place de tâches complexes (ou problèmes ouverts) est de permettre une évaluation centrée sur la démarche scientifique et donc de travailler sur les compétences, dans le cadre d'une situation complexe de nature expérimentale.

Pour que le problème posé dépasse le niveau du « simple » savoir-faire ou de la simple restitution de connaissances déjà construites, il faut que la solution ne soit pas évidente initialement. Il s'agit donc de mettre au point des situations dites complexes quant au nombre de ressources à mobiliser. Il faut aussi veiller à ce que le nombre et le type de ressources mobilisées varient d'une activité à l'autre. On évalue ainsi la façon dont l'élève s'approprie le problème, son mode de résolution (mise au point d'un protocole, analyse critique des données expérimentales...) et aussi la façon dont il réinvestit ses connaissances pour formaliser son travail.

### **Retour sur l'exemple**

La même activité peut donc être abordée d'une autre façon (voir encadré 3). En ce qui concerne le compte rendu, c'est à l'élève de saisir ce qui est important et nécessaire, intéressant à développer, ou encore ce qui permettrait de compléter l'étude. Bien entendu, il faut accepter que les premiers essais ne soient pas totalement concluants. Une comparaison des comptes rendus d'un élève tout au long de l'année doit pouvoir faire apparaître une évolution : il sera alors possible de juger du moment où des compétences comme « maîtrise de la communication écrite et orale » ou encore « compréhension du protocole » sont acquises.

Suivant le niveau des élèves et les compétences que l'on cherche à mobiliser ou à évaluer, on pourra adapter un protocole en termes de contenus et de guidage des élèves. L'activité expérimentale proposée doit donc être pensée en fonction des compétences que l'on souhaite mobiliser, tester, réinvestir...

### **Sur quoi fonder sa réflexion pour concevoir une séance évaluée par compétences ?**

#### **Objectifs visés**

Cela peut se faire au travers de différentes questions :

- Quelles connaissances, capacités et aptitudes vont être mobilisées ? Est-ce une activité : durant laquelle l'élève devra proposer,

#### **Encadré 3**

##### **PARTIE EXPÉRIMENTALE**

On souhaite réaliser la synthèse du 1-iodobutane à partir de 1-bromobutane et d'iodure de sodium. Dans un réacteur de forme et de contenance adaptées, en utilisant la verrerie disponible dans le laboratoire, réaliser un montage permettant : d'introduire 21,5 g d'iodure de sodium anhydre et 120 mL de propanone (acétone) anhydre, de travailler dans des conditions anhydres, d'introduire un liquide en cours de réaction.

Agiter le mélange jusqu'à complète dissolution de l'iodure de sodium. Ajouter alors 12,5 g de 1-bromobutane et porter au reflux pendant 75 minutes.

Deux sous-propositions sont proposées pour le traitement du brut réactionnel\*.

##### **• Sous-proposition 1**

Laisser refroidir le ballon à température ambiante. Filtrer le mélange et éliminer le solvant en utilisant la verrerie adaptée. Laver avec 50 mL d'eau puis extraire les eaux de lavage avec 20 mL de dichlorométhane. Enfin, laver la phase organique avec 25 mL d'eau additionnée de thiosulfate de sodium puis une dernière fois avec 50 mL d'eau. Sécher la phase organique, éliminer le solvant et stocker le produit dans un récipient étiqueté. Analyser le produit obtenu. On pourra utiliser plusieurs techniques d'analyse en fonction des disponibilités du laboratoire. Déterminer un rendement.

##### **• Sous-proposition 2**

Extraire et purifier le 1-bromobutane. Analyser le produit obtenu. On pourra utiliser plusieurs techniques d'analyse en fonction des disponibilités du laboratoire. Déterminer un rendement.

##### **COMPTE RENDU**

En une page maximum, faire apparaître les aspects essentiels du travail effectué : type de réaction, choix des conditions expérimentales, rôle des différentes étapes, réactions mises en jeu ; choix des techniques d'analyse et interprétation des résultats ; nature, quantité, pureté du produit obtenu ; conclusion.

\* Remarque : il est aussi possible de faire le choix de raisonner sur les équivalents plutôt que de donner les masses et les volumes.

pourra tester..., pour apprendre une nouvelle technique, pour découvrir un appareil de mesure, pour appliquer une technique ou une méthode déjà rencontrée ?

- Quelles sont les connaissances et capacités réinvesties, quelles sont les nouvelles ?...

#### **Consignes données à l'élève**

Celles-ci sont fondamentales pour le conduire à réaliser les tâches que l'on attend de lui, complexes ou simples. Le choix du guidage est très important : cela va de la consigne écrite (quels sont les verbes utilisés pour mettre l'élève en action ?) à la consigne orale (montrer du matériel présent dans une salle et en parler ne va pas produire le même effet que si l'élève doit se diriger sans aucune consigne orale vers ce matériel pour faire un choix). La compétence mise en œuvre ne sera alors pas la même.

#### **La stratégie pédagogique**

Dans quelle salle vont travailler les élèves ? De quel matériel disposeront-ils ? Le matériel sera-t-il disposé sur les paillasses ou devront-ils proposer le matériel à utiliser ? De quel temps les élèves disposent-ils ? Quels sont leurs pré-requis et quelles ressources va-t-on mettre à leur disposition ? Quelles vont être les activités attendues : observations, expérimentations, manipulations ? Le travail se fait-il en équipe ? Si oui, suivant quelles modalités : nombre de membres, avec ou sans coordinateur, avec ou sans rapporteur ? Quels outils : photocopié(s) de TP, cours, banque de données, rétroprojecteur, vidéoprojecteur, système d'acquisition de données<sup>(6)</sup>, tableau numérique interactif ? Peut-on concevoir des activités expérimentales en ateliers tournants ? Que doit restituer l'élève à l'issue de la séance ?

#### **Formalisation des résultats dans le compte rendu**

Qu'attend-on des comptes rendus des élèves ? Les réponses aux questions suivantes peuvent être des exemples de critères d'évaluation du compte rendu après structuration et selon la séquence abordée : Quelle(s) étape(s) de la démarche est (sont) à expliciter ? Quelles sont les idées à formuler, à confronter ? Quelles sont les relations à établir ou à utiliser ? Quelles sont les interprétations à proposer ? Quelle est la pertinence des résultats obtenus ? Quelles conclusions peut-on tirer des résultats obtenus ? Quelle(s) ouverture(s) peut-on proposer ?

#### **Indicateurs de réussite**

En cours de séance, le professeur peut envisager de mettre en place des étapes que les élèves doivent atteindre afin de pouvoir poursuivre leurs investigations. Celles-ci peuvent être des observations, des réalisations, des calculs, des notes sur le cahier de laboratoire qui seront validées par le professeur lors du passage dans les groupes ou la vérification du travail de recherche.

## La grille de compétences : un outil d'aide à l'évaluation et l'auto-évaluation

L'acquisition des compétences se fait par une série d'évaluations au cours de la formation. L'auto-évaluation permet d'identifier les points forts et ceux restant à améliorer. L'élève peut ainsi progresser en comprenant mieux quel est son niveau de maîtrise de chacune des compétences. La construction d'une séquence par le professeur nécessite donc de définir les compétences mises en œuvre précédemment qui sont à réinvestir – celles-ci peuvent alors faire l'objet d'une évaluation, les nouvelles compétences à faire travailler, la manière dont il va les communiquer aux élèves, et la manière dont il va les évaluer.

La grille proposée par le site Eduscol<sup>(1)</sup> retient six compétences : **s'approprier (App)**, **réaliser (Rea)**, **analyser (Ana)**, **valider (Val)**, **communiquer (Com)**, **être autonome, faire preuve d'initiative (Auto)**.

Elles ne sont généralement pas à évaluer lors d'une même séance ; on pourra choisir de privilégier telle ou telle compétence et de la décliner en « observables » pour aider à l'évaluation ou à l'auto-évaluation (voir quelques pistes de problèmes ouverts dans l'*annexe 1\**).

Nous proposons ci-après trois exemples d'activités sous forme de problème ouvert associé à une grille de compétences pour une évaluation formative ou sommative.

### Exemple 1 : titrages acido-basiques

L'énoncé de cette activité et les deux grilles d'auto-évaluation distribués aux élèves sont disponibles dans l'*annexe 2\**.

Déroulement de la séance : 3 h d'activités expérimentales, la première sur le titrage des ions hydrogénocarbonate dans une eau minérale, la seconde sur le titrage d'un mélange par pH-métrie (à certains moments, un point d'étape est réalisé avec les élèves).

#### Commentaires sur le déroulement de la séance

Un premier « TP-cours » sur les titrages a été réalisé avec 2 h de cours/TD associé. À l'issue de cette séance, un certain nombre de concepts ont été abordés :

- Sur le plan expérimental : manipulation de la burette, pipette, pH-mètre, conductimètre, logiciel de simulation et de traitement des données, précision des mesures, indicateurs colorés, solution tampon.

- Sur le plan des connaissances : caractéristiques de la réaction de titrage, équivalence, méthodes de détection de l'équivalence, équations des courbes de titrage pH-métrique et conductimétriques dans le cas du titrage d'un acide faible par une base forte, acidités simultanées et successives.

#### Commentaires sur la première partie

• **Principe de la manipulation** : il n'y a pas de difficulté dans cette manipulation concernant le traitement des résultats. Ils doivent réfléchir sur la nature et la concentration du réactif titrant à utiliser, puis faire une simulation afin de voir quelle est la technique expérimentale la plus adaptée. Dans le choix du réactif, l'ion hydrogénocarbonate est une espèce amphotère et la réaction a une plus grande constante de réaction dans le cas du titrage avec un acide fort plutôt qu'avec une base forte. La pH-métrie, la conductimétrie et l'utilisation d'un indicateur coloré permettent d'obtenir convenablement le volume à l'équivalence.

• **Réactions des élèves** : ils se lancent rapidement dans les calculs, pensent aussi à poser  $V_{\text{eq}} \sim 10\text{-}15$  mL. La simulation a été utilisée naturellement ; du coup aucun binôme n'a choisi la base pour le titrage (peut-être aussi un effet de groupe). Étant donné qu'ils connaissaient l'ordre de grandeur de  $V_{\text{eq}}$ , personne n'a fait de pré-titrage, ils ont automatiquement resserré les valeurs autour de  $V_{\text{eq}}$  attendu. En ce qui concerne le choix des méthodes, la majeure partie des élèves ont utilisé la pH-métrie, quatre binômes ont choisi l'indicateur coloré (car plus rapide mais un binôme a fait le calcul complet du pH à l'équivalence alors que la simulation suffisait pour le choix de l'indicateur) et aucun la conductimétrie. Beaucoup d'élèves ont écarté la conductimétrie sous prétexte qu'il y avait trop d'ions dans l'eau minérale.

#### Commentaires sur la seconde partie

La méthode de titrage est imposée ici : il s'agit d'un titrage acido-basique. Il y a trois sauts de pH car la soude est introduite en

excès. Sur ces trois sauts, deux sont de faible amplitude, il faut donc faire un titrage rapide en relevant le pH, tracer la courbe et refaire un titrage plus lentement en resserrant les mesures au voisinage des équivalences.

• **Principe de la manipulation** : la méthode de titrage est imposée ici ; il s'agit d'un titrage acidobasique suivi par pH-métrie. Les élèves doivent prendre quelques initiatives :

- il faut (étant donné que nous n'avons pas d'idée sur les valeurs des volumes aux équivalences, ni sur leur nombre d'ailleurs) penser à faire un pré-titrage rapide ;

- le protocole n'étant pas précisé, il faut faire le choix de la verrerie pour le titrage et les prélèvements.

D'un point de vue du traitement des résultats, il y a une réelle difficulté car il faut tenir compte d'une réaction qui a lieu avant le titrage (ce qui est assez inhabituel) dont on ne connaît pas le réactif limitant (ce qui est encore plus déstabilisant pour l'élève). L'autre inconnue est la troisième base indéterminée, ce qui rajoute une difficulté supplémentaire (possibilité d'une transformation non quantitative selon la nature de la base).

• **Réactions des élèves** : ils ont bien vu la réaction qui a lieu avant le titrage car ils tracent systématiquement un axe de  $pK_A$  avant de se lancer dans la résolution du problème. Peu d'élèves ont utilisé dans cette partie le logiciel de simulation mis à leur disposition. Ils ont bien prévu le nombre hypothétique de sauts, par une simple réflexion ; certains ont même vu que si  $S_3$  était une solution de méthanoate de sodium, il pouvait n'y avoir qu'un seul saut (si la soude était en défaut) car la constante de réaction est alors trop faible. Certains n'ont pas réalisé de pré-titrage et n'ont donc vu que deux sauts (voire un). Deux binômes n'arrivaient pas à associer les sauts aux différentes bases données, il a fallu les mettre sur la voie. Pour la recherche du  $pK_A$ , certains élèves ont fait le calcul avec la valeur du pH à la troisième équivalence, au lieu d'aller simplement regarder à la demi-équivalence.

Les élèves ont été assez intéressés par cette partie non guidée. À la fin, nous avons écrit les résultats au tableau et réalisé un bilan de cette expérience, notamment en comparant leurs résultats à la valeur trouvée dans les tables. Certains élèves avaient trouvé les valeurs attendues exactement et en étaient fiers !

### Exemple 2 : titrages redox

Cette séquence de TP a eu lieu en mai, en classe de PCSI, dans le prolongement du cours sur l'oxydo-réduction. Lors de la séance précédente, le travail portait sur les titrages argentimétriques et s'articulait autour de deux axes :

- Dosage indirect par la méthode de Charpentier-Volhard : application des notions de précipitation et de complexation vues en cours, respect d'un protocole précis fourni dans l'énoncé, compte tenu d'une réflexion préalable sur les conditions expérimentales proposées.

- Dosage direct suivi par une méthode physique : aucun protocole n'est fourni ; les élèves énumèrent les méthodes qu'ils connaissent et proposent conductimétrie et potentiométrie. Selon le temps dont on dispose et le niveau d'autonomie du groupe, on peut alors imposer une seule méthode (plutôt la potentiométrie à ce stade de l'année car la conductimétrie a été revue lors des travaux sur les dosages acido-basiques) ou scinder le groupe en deux.

Cette séance permettait notamment de montrer aux élèves d'une part la nécessité de comprendre et maîtriser l'ensemble des notions théoriques et expérimentales relatives à la réalisation d'un dosage suivant un protocole précis, et d'autre part leur aptitude à réinvestir des notions du cours pour mettre en place un protocole simple de dosage direct.

On pouvait alors poursuivre sur un travail concernant la mise en place et la réalisation d'un dosage redox pour lequel beaucoup plus de paramètres interviennent que dans le cas précédent.

#### Énoncé

• Matériel disponible par binôme :

Millivoltmètre + ordinateur ; électrode de platine + électrode au calomel saturé ou Pt combinée + d'autres électrodes inutiles ; burette de 25 mL ; agitateur magnétique + barreau ; 2 béchers de 100 mL ; compte-gouttes ; éprouvette graduée de 10 mL ; tubes à essais, pipettes.

• Produits disponibles par binôme :

100 mL de permanganate de potassium ( $\sim 0,01$  mol.L<sup>-1</sup>) ; 10 mL d'acide sulfurique à 5 mol.L<sup>-1</sup> ; 50 mL de solution de sel de Mohr à 0,020 mol.L<sup>-1</sup>.

Tableau II - Valeurs des potentiels standards des couples.

$pK_S(\text{Fe}(\text{OH})_3) = 38$ ,  $pK_S(\text{Fe}(\text{OH})_2) = 15$ .

Couple	$\text{H}^+(\text{aq})/\text{H}_2(\text{g})$	$\text{O}_2(\text{g})/\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$\text{Fe}^{3+}(\text{aq})/\text{Fe}^{2+}(\text{aq})$	$[\text{Fe}(\text{SO}_4)]^+(\text{aq})/\text{FeSO}_4(\text{aq})$	$\text{MnO}_4^-(\text{aq})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$	$\text{MnO}_4^-(\text{aq})/\text{MnO}_2(\text{s})$	$\text{MnO}_2(\text{s})/\text{Mn}^{2+}(\text{aq})$
$E^\circ/\text{V}$	0	1,23	0,77	0,65	1,51	1,68	1,23

### Réflexion préalable

Les solutions aqueuses de permanganate de potassium se conservent mal. On souhaite titrer celle fournie par une solution de sel de Mohr considérée comme solution étalon. Le *tableau II* regroupe l'ensemble des valeurs des potentiels standards des couples susceptibles d'intervenir dans cette étude, ainsi que deux valeurs de constantes de solubilité.

*Proposer un protocole opératoire pour réaliser ce titrage, en considérant qu'il y a formation d'ions manganèse(II) : quelle espèce place-t-on dans la burette ? Doit-on accorder une importance particulière au pH du milieu ? Quelles quantités utilise-t-on ? Quel suivi choisit-on ?*

### Réalisation expérimentale et interprétation

- Réaliser l'expérience et interpréter les résultats.
- Peut-on utiliser un tel titrage pour déterminer des grandeurs thermodynamiques relatives aux espèces étudiées ?
- Quelles sont les notions importantes à retenir de ce travail ?

### Commentaires sur la séance

• La démarche de réflexion préparatoire repose ensuite sur les trois mots-clés qui caractérisent une réaction de titrage : *rapide, quantitative, unique*. Il s'agit de vérifier si ces trois conditions sont réalisées. L'énoncé oriente clairement vers une réaction entre les ions fer(II) et les ions permanganate, donnant des ions manganèse(II). L'équation de la réaction est donc trouvée.

*La réaction est-elle rapide ?* Il s'agit de trouver un moyen expérimental de le vérifier : test en tube à essai ; peut-on placer indifféremment dans le tube l'une ou l'autre des deux solutions avant d'ajouter la deuxième ?

*La réaction est-elle quantitative ?* Les élèves proposent un calcul de constante d'équilibre à partir des données fournies.

*La réaction est-elle unique ?* Il faut alors orienter la discussion vers :

- La formation des hydroxydes métalliques (on peut s'appuyer sur les connaissances en chimie organique et mettre en relation cette chimie des solutions avec certains traitements en chimie organique : hydrolyse des magnésiens en milieu acide pour éviter les précipitations d'hydroxyde), ce qui conduit au choix du pH du milieu.
- Le choix de l'acide à utiliser : importance de la nature de la base conjuguée ; influence ici des ions sulfate. On revient alors sur le caractère quantitatif de la réaction ; le couple des ions du fer à considérer n'est plus le même.
- Les indications de l'énoncé concernant toutes les espèces du manganèse : le tracé d'une échelle des potentiels standard permet de faire trouver le risque de formation de  $\text{MnO}_2$  ; on en déduit que le réactif à titrer sera placé dans la burette.

• La réalisation expérimentale est mise en place après avoir choisi :

- Le mode de suivi : les élèves proposent très naturellement la colorimétrie et la potentiométrie ; il leur reste à choisir les électrodes parmi celles fournies.

- Le volume de la prise d'essai : on se base sur la chute de burette attendue ; doit-on dépasser beaucoup l'équivalence ? Est-ce lié au mode de suivi ? Quelle est l'incidence sur la précision de la mesure ?

• L'exploitation des résultats obtenus est à la fois individuelle et collective :

- Tracé de la courbe à l'aide du logiciel usuellement utilisé, détermination de la concentration recherchée, évaluation des incertitudes de mesures.

- Comparaison de l'ensemble des résultats du groupe : il est intéressant d'avoir fourni à l'un des groupes une solution de concentration très différente ; on chasse l'intrus avant le traitement statistique collectif, mais après proposition d'un deuxième titrage pour valider ce résultat inattendu.

- La courbe permet aussi de déterminer des potentiels standard *a priori* : on annonce alors la nécessité de compléter l'approche thermodynamique de l'oxydoréduction par une approche cinétique,

pour justifier l'écart à la valeur attendue pour le couple du manganèse.

### Bilan

Les élèves apprécient ce type de séance au cours de laquelle ils se sentent davantage maîtres des opérations qu'ils réalisent, comprenant tout leur sens. Ils découvrent qu'on peut « faire parler » les valeurs expérimentales tabulées pour mettre au point un protocole et ainsi appliquer et réinvestir les notions introduites dans les cours sur les solutions aqueuses. Dans une telle séance, on insiste à la fois sur la réflexion préalable et sur l'ensemble de l'exploitation des résultats (concentration recherchée et valeurs expérimentales de grandeurs thermodynamiques ainsi mesurées). Le compte rendu est ramassé cinq jours plus tard, de manière à ce que les élèves puissent y consacrer du temps. Ils disposent également de temps pour compléter les grilles d'évaluation.

L'objectif est de pouvoir ensuite leur proposer en deuxième année notamment des protocoles détaillés à analyser avant de manipuler – les TP de chimie ne sont pas de simples recettes... –, et des situations de travail en autonomie : par exemple une bouteille d'eau minérale avec l'étiquette : quelles espèces doser ? Comment ?

### Exemple 3 : grille d'auto-évaluation sur des gestes techniques en chimie organique

**Contexte** : la séance décrite ici vient à la suite de celle portant sur l'extraction liquide/liquide, lors de laquelle, trois produits (acide benzoïque, acétate d'éthyle et  $\beta$ -naphтол) ont été séparés, avec plus ou moins de succès. Seule une CCM avait été réalisée pour estimer la qualité de la séparation : restait à caractériser les produits par des propriétés physiques. Ici, les solides organiques sont caractérisés par leur température de fusion et les liquides par leur indice de réfraction. Une séance a donc été dédiée à ces analyses.

**L'objectif** de cette séance était de faire rédiger par les élèves des fiches d'utilisation du banc Kofler et du réfractomètre. Chaque groupe a été dissocié en deux sous-groupes passant chacun la moitié de la séance à travailler sur un des appareils. Au bout de la moitié de la séance (2 h), ces activités étaient inversées. Un élève avait été désigné dans chacun des deux premiers groupes pour rédiger une fiche et l'envoyer par courrier électronique au professeur responsable. Les deux fiches ont ensuite été relues et corrigées par l'ensemble de la classe, lors de la séance suivante.

**Le banc Kofler** : sur la base de propositions du professeur et des élèves, pendant la séance, les élèves en charge du banc Kofler devaient :

- mesurer la température de fusion d'un même produit sur plusieurs bancs Kofler étalonnés par le même étalon, puis sur le même banc cette fois étalonné successivement par différentes substances étalon ;

- réaliser des mesures de températures de fusion de mélanges d'étalons (mélanges de poudre homogénéisés au mortier et pilon).

**Le réfractomètre** : les élèves du groupe « réfractomètre » étaient chargés, après avoir étalonné l'appareil<sup>(7)</sup>, de mesurer les indices de réfraction de composés purs et de mélanges aux proportions variables. L'objectif visé est de constater quelle conséquence peut avoir la présence d'une impureté sur la mesure de l'indice de différents mélanges. Les élèves étaient aussi chargés de vérifier la valeur de compensation de température indiquée par le constructeur, une loi empirique donnant la correction de température de l'indice de réfraction ( $n^{20} = n^t + (20 - t) \times 4,5 \times 10^{-4}$ ). Un réfractomètre avait été réglé à 20 °C, un autre refroidi à 13 °C et un troisième laissé en chauffe sous une lampe (35 °C). L'indice de réfraction du même liquide avait été mesuré sur les trois appareils.

**L'évaluation** : une grille d'auto-évaluation associée à la maîtrise de certains gestes techniques a été complétée par les élèves. Ce tableau, distribué en début de séance à chaque élève, a été

complété dans le cadre d'une auto-évaluation durant la séance (voir *annexe 3\**).

## Conclusion

Évaluer par compétences suppose de changer d'optique (lister les compétences à mobiliser, réfléchir au type d'évaluation, en individuel ou en groupe) et donc de transformer les textes des activités expérimentales. Il est aussi nécessaire de repenser l'organisation matérielle en fonction du degré d'autonomie que l'on donnera aux élèves et du temps dont on dispose. Les grilles d'évaluation devront rester modestes. En particulier, il ne faut pas chercher à évaluer trop de compétences sur une seule séance. Cela suppose d'avoir en début d'année une vue d'ensemble de la progression et des thèmes traités afin d'évaluer l'ensemble des compétences plusieurs fois dans l'année dans des contextes variés et sur des problèmes différents. Le travail en équipe des enseignants facilite grandement la mise en œuvre de cette pratique.

Pour terminer, nous vous invitons à lire un extrait du rapport de l'Inspection générale « *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis* »<sup>(2)</sup> co-écrit par Florence Robine, inspectrice générale de l'Éducation nationale, en *annexe 4\** sur le site.

## Notes et bibliographie

\* Les annexes sont téléchargeables librement en format pdf sur [www.lactualitechimique.org](http://www.lactualitechimique.org) via la page liée à l'article.

- (1) [http://media.eduscol.education.fr/file/PC/66/5/Ressources\\_PC\\_former\\_evaluer\\_compétences\\_exp\\_grilles\\_144665.pdf](http://media.eduscol.education.fr/file/PC/66/5/Ressources_PC_former_evaluer_compétences_exp_grilles_144665.pdf).
  - (2) Houchoï A., Robine F., *Les livrets de compétences : nouveaux outils pour l'évaluation des acquis*, Rapport n°2007-048, juin 2007, [www.education.gouv.fr/cid5579/les-livrets-de-compétences-nouveaux-outils-pour-l-evaluation-des-acquis.html](http://www.education.gouv.fr/cid5579/les-livrets-de-compétences-nouveaux-outils-pour-l-evaluation-des-acquis.html).
  - (3) Situation contextualisée, c'est-à-dire faisant référence à un problème particulier.
  - (4) Situation dans laquelle il s'agit pour l'élève de choisir et de combiner plusieurs tâches élémentaires afin de résoudre un problème.
  - (5) [www.educnet.education.fr/rnchimie](http://www.educnet.education.fr/rnchimie)
  - (6) Rappelons que les acquisitions faites par ordinateur (ou à l'aide d'automates comme les titrateurs) permettent d'automatiser les tâches ingrates et répétitives, les manipulations de phénomènes se produisant très rapidement ou très lentement. L'utilisation d'acquisition de données doit se faire de manière raisonnée.
- Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Expérimenter en chimie post-bac : de l'enquête à la réalisation, *Ellipses*, 2010.
  - 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 et *Le Bup*, 2009, 918, p. 973.
  - Bataille X., Beauvineau E., Cheymol N., Mas V., Vigneron M., La démarche d'investigation pour motiver les élèves : exemple d'un TP sur la spectroscopie infrarouge, *L'Act. Chim.*, 2009, 334, p. 41 et *Le Bup*, 2009, 919, p. 1127.
  - 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. 44.
  - Ruffenach M., Courtillot D., Enseigner les sciences physiques, l'enseignement par compétences, *Bordas*, 2009.
  - Hiribarren A., Guédé V. (coord.), Travailler par compétences, *Les cahiers pédagogiques*, 2009, 476.
  - Robine F. (coord.), Un renouveau de l'enseignement des sciences, *Revue internationale d'éducation de Sèvres*, 2009, 51 (pour plus de détails, voir [www.ciep.fr](http://www.ciep.fr)).
  - Talbot L., *L'évaluation formative, comment évaluer pour remédier aux difficultés d'apprentissage*, Armand Colin, Sciences humaines et sociales, 2009.

- Scallon G., L'évaluation des apprentissages dans une approche par compétences, De Boeck, Collection Pédagogies en développement, 2007.



X. Bataille



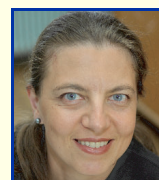
E. Beauvineau



N. Cheymol



J. Calafell



A. Szymczak



M. Vigneron

**Xavier Bataille** et **Erwan Beauvineau** sont professeurs agrégés en BTS chimiste et **Nicolas Cheymol** (*auteur correspondant*) est professeur en classe préparatoire aux grandes écoles, au lycée Pierre-Gilles de Gennes, École Nationale de Chimie, Physique et Biologie, Paris\*.

**Julien Calafell** est professeur en classe préparatoire aux grandes écoles, au lycée Bellevue à Toulouse.

**Anne Szymczak** est professeur en classe préparatoire aux grandes écoles, au lycée Wallon à Valenciennes.

**Michel Vigneron** est inspecteur d'académie-inspecteur régional (IA-IPR) dans l'académie de Versailles.

\* ENCPB, 11 rue Pirandello, F-75013 Paris.  
Courriel : [nicolas.cheymol@ac-versailles.fr](mailto:nicolas.cheymol@ac-versailles.fr)

## PREPARING FOR PHASE I?

- Full CMC support
- Preformulation
- Scale-up chemistry
- GMP synthesis
- 50+ chemists
- Crédit d'Impôt sur la Recherche

C-MLABS.COM  
+31 495 549 072 - Europe

**CAMBRIDGE MAJOR**  
LABORATORIES EUROPE

CHEMISTRY THAT WORKS®