

Autour des enjeux d'une formation expérimentale en chimie

Résumé Pour réfléchir au rôle des activités expérimentales à l'université, diverses recherches sont passées en revue. Cet article examine les objectifs des enseignants, la nature des tâches expérimentales proposées aux étudiants, la réalisation des tâches et l'apprentissage qui peut être attribué aux activités expérimentales.

Mots-clés **Activités expérimentales, laboratoire de chimie, objectifs, tâches.**

Abstract **Around the challenges of an experimental training in chemistry**

Several pieces of research are reviewed to reflect upon the role of laboratory work at university level. This paper examines the teachers' goals, the nature of experimental tasks provided to students, the achievement of tasks and the learning that can be associated to experimental activities.

Keywords **Experimental activities, chemistry laboratory, goals, tasks.**

Cet article s'appuie sur une revue de recherche portant sur les activités expérimentales en chimie au début de l'université afin de caractériser les enjeux essentiels de cet enseignement. La recherche en éducation dans le supérieur se développe *via* la pédagogie universitaire [1], mais les recherches s'intéressant à l'enseignement-apprentissage d'une discipline donnée sont moins fréquentes [2]. Les recherches récentes portant spécifiquement sur l'enseignement expérimental dans le supérieur⁽¹⁾ en chimie sont rares en France (on peut citer les travaux qui étudient l'apport d'une plateforme numérique à la conception d'un protocole expérimental [3]) comme en Belgique [4]. Dans l'éditorial du numéro spécial⁽²⁾ paru en 2007 de la revue *Chemistry Education Research and Practice* consacré à l'enseignement expérimental en chimie, Hofstein et Mamlok-Naaman indiquaient que les études menées jusque-là n'avaient pas permis de mettre en évidence des relations simples entre pratique expérimentale au laboratoire et apprentissage des étudiants [5], constat renouvelé dans un rapport de recherche états-unien en 2012 [6].

Pourtant, pour beaucoup d'enseignants universitaires⁽³⁾, un enseignement de chimie sans pratique de laboratoire est inconcevable puisque le laboratoire est le lieu par excellence où l'étudiant peut se confronter à la réalité du monde matériel et faire des liens avec les modèles et théories [7-9]. Mais l'environnement au laboratoire est complexe, les étudiants y sont soumis à de nombreuses interactions avec d'autres personnes (enseignants, étudiants ou techniciens) et avec le matériel à disposition [8, 10], et les résultats attendus par les enseignants dépendent aussi de la nature des activités proposées aux étudiants [8]. Certains de ces aspects ont été abordés dans le projet européen *Labwork in Science Education* (1996-1998) qui a étudié les activités expérimentales dans l'enseignement de trois disciplines (biologie, chimie et physique) au lycée et au début de l'enseignement supérieur [11]. Les auteurs du projet ont considéré que les enjeux d'un enseignement expérimental relevaient de quatre phases⁽⁴⁾ qui permettent de structurer la revue de recherche effectuée pour cet article. La phase 1 correspond au choix ou à l'explicitation des objectifs de l'enseignant ou du concepteur de manuels, la phase 2 à la conception des tâches conçues et proposées aux étudiants pour essayer d'atteindre ces objectifs, la phase 3 aux actions conduites par les étudiants pour accomplir les tâches ou ce qu'ils en ont perçu, et la phase 4 à ce qu'apprennent les étudiants à partir de la réalisation de ces tâches [11].

Les objectifs assignés aux activités expérimentales

Les objectifs assignés aux activités expérimentales ont fait l'objet de nombreuses études mentionnées dans les revues de recherche sur la pratique expérimentale (par ex. [7, 10]), mais peu concernent l'enseignement supérieur. Dans le projet européen *Labwork*, Tiberghien et ses coauteurs [9] ont reconstitué les objectifs d'apprentissage tels qu'ils apparaissent à la lecture des fiches de travaux pratiques (TP) provenant de six pays européens (trente fiches de chimie pour le supérieur). Les objectifs d'apprentissage les plus fréquents en chimie sont la familiarisation avec des objets et des phénomènes, qui relève de la perception, et la mise en œuvre d'une procédure standard, alors que la conception d'une investigation pour résoudre une question spécifique ou un problème sont rares [9]. Les auteurs signalent que les objectifs généraux d'autonomie et de motivation n'ont pas été étudiés.

Ceux-ci ont été pris en considération dans la revue de recherche faite par Nakhleh, Polles et Malina [10] aux États-Unis à la même époque (2002). Ils considèrent qu'à l'université, trop d'objectifs du domaine cognitif (portant sur la vérification des concepts de chimie) et du domaine psychomoteur (portant sur la formation de savoir-faire techniques) seraient en jeu dans une même séance. Ils émettent l'idée que la contribution la plus importante du travail au laboratoire pourrait être le développement et le maintien de la motivation (domaine affectif) à persévérer dans la construction de connaissances chimiques. La confiance en soi et l'attitude envers les sciences (domaine affectif) sont de possibles résultats d'une pratique de laboratoire et contribueraient à l'établissement et au maintien de la motivation [10]. Ils signalent que les résultats de recherche abordant cet aspect font défaut. Plus récemment, toujours aux États-Unis, une enquête a recensé, au moyen d'entretiens, les différents objectifs assignés aux activités expérimentales par des universitaires [12]. Les auteurs de l'étude les répartissent en trois domaines – cognitif, psychomoteur et affectif – parce qu'ils considèrent qu'un apprentissage ayant du sens (« *meaningful learning* ») s'effectue par l'intégration et la coordination de pensées (domaine cognitif), de sentiments et de valeurs (domaine affectif) et d'actions (domaine psychomoteur)⁽⁵⁾ (voir les résultats dans le *tableau 1*). Notons que les objectifs classés dans le domaine affectif diffèrent sensiblement de ceux évoqués par Nakhleh *et coll.* et qu'ils concernent plutôt ce qui a trait

Tableau I - Objectifs assignés aux travaux pratiques par des universitaires états-uniens [12].

Domaine	Objectifs d'enseignement assignés aux travaux pratiques
Cognitif	Comprendre les concepts
	Faire des liens avec les thèmes vus en cours
	Faire des liens avec d'autres champs
	Analyser de façon critique
	Expérimenter une variété de contenus
	Communiquer à la communauté scientifique
Affectif	Utiliser l'expérience acquise pour faire des liens avec le monde réel, s'en servir de façon pertinente dans des cours ou un futur emploi
	Collaborer, travailler en groupe
	Être autonome au laboratoire
Psychomoteur	Apprendre les techniques du laboratoire
	Utiliser les matériels de laboratoire

à l'interaction avec les autres, que ce soit pour collaborer, s'insérer dans le monde du travail ou se passer des autres en étant autonome.

Ce sont les enseignants de chimie générale ayant participé à une rénovation des enseignements pratiques dans leur université qui manifestent le plus grand degré d'interconnexion entre les objectifs des trois domaines, alors que les enseignants de chimie organique et des deux dernières années du diplôme⁽⁶⁾ n'associent que des objectifs des domaines cognitif et psychomoteur. Aucun enseignant n'a mis en avant les objectifs du domaine affectif, ce qui peut expliquer qu'il ne soit pas question de motivation et irait dans le sens de la conviction de Nakhleh et ses coauteurs que les objectifs de ce domaine ne sont pas vraiment (re)connus et sont donc peu pris en compte. Ceci est confirmé dans une autre étude récente (2018) qui ne se réfère pas à ces trois domaines et s'attache à comparer les objectifs énoncés par des enseignants dans deux universités australiennes et une au Royaume-Uni : le consensus est général sur la nécessité de développer des compétences pratiques transférables tout en transmettant des connaissances théoriques [13]. Les auteurs de l'étude notent que le développement d'une méthodologie scientifique et la conception expérimentale ne sont que très peu cités.

La nature des tâches (ce que les étudiants ont à faire)

Dans l'étude européenne Labwork [9], les étudiants devaient majoritairement utiliser en chimie une procédure, une observation ou un appareil, moins souvent faire une synthèse ou provoquer un événement. Il ne leur était jamais demandé de tester une prévision à partir d'une loi ou d'une théorie, ni de choisir entre des explications. Un autre rapport au Royaume-Uni en 2007 indique que la formulation d'hypothèses et la conception d'expériences pour les tester ne figurent pas dans bon nombre de travaux pratiques de licence de chimie [8]. Plus récemment, en France, l'examen de cinq manuels de TP de chimie en usage dans deux universités différentes a révélé que dans certaines fiches de TP, des tâches sont absentes [14]. Lorsque les tâches manquent au niveau de la structure de la fiche de TP et qu'il s'ensuit une demande explicite pour compléter la procédure en laissant toute liberté aux étudiants pour

ce faire, cela relèverait d'une amorce de conception de protocole expérimental [14]. Si les tâches manquantes sont situées uniquement au niveau des actions à réaliser, les étudiants doivent adapter la procédure à la question étudiée plutôt qu'en choisir une *ex nihilo*, ce qui constituerait néanmoins un premier pas vers une conception de protocole. Les manuels de TP examinés pour la chimie correspondaient au second type de tâches manquantes. La conception de protocole est une activité complexe nécessitant à la fois des connaissances théoriques, pratiques (sur le matériel et son usage), des aptitudes au raisonnement, à l'argumentation, pour émettre des hypothèses, envisager leurs conséquences et traduire cela en des expériences réalisables. La conception de protocole fait partie des démarches d'investigation recommandées par le rapport de la communauté européenne Rocard (2007) pour combattre le déclin des études scientifiques.

La diffusion des démarches d'investigation dans de nombreux pays a conduit à l'émergence de fiches d'activités expérimentales labellisées « investigation » dans l'enseignement universitaire aux États-Unis. Des chercheurs états-uniens ont noté le flou entourant le terme investigation et ont conçu une grille d'analyse afin de déterminer le degré d'initiative laissé aux étudiants dans les manuels de TP ayant le label investigation [15]. Cette grille est constituée de trois critères à deux modalités : fourni à l'étudiant ou construit par l'étudiant. La combinaison des critères et des modalités conduit à quatre niveaux d'enquête, du plus directif (niveau 0 où chaque critère est fourni à l'étudiant) au moins directif (niveau 3 où chaque critère est construit) (voir *tableau II*).

La construction du problème désigne le choix de la question à explorer qui incombe à l'étudiant lorsqu'un phénomène brut a été simplement décrit (par ex. une description en termes d'objets et d'événements). La construction d'une procédure/méthode correspond à la conception d'un protocole et sa description par une procédure. La construction de solution consiste en une interprétation des données. Les auteurs de l'étude n'ont pas fourni d'exemples correspondant à chaque niveau, mais une liste des manuels états-uniens analysés au moyen de cette grille, dont aucun ne proposait d'activité de niveau 3 [16]. Nous pouvons imaginer sur un exemple, l'étude du vinaigre, à quoi pourraient correspondre ces différents niveaux d'investigation (voir *tableau III*).

Tableau II - Niveaux d'investigation des activités expérimentales [15].

Niveau	Problème/question	Procédure/méthode	Solution
0	fourni à l'étudiant	fournie à l'étudiant	fournie à l'étudiant
1	fourni à l'étudiant	fournie à l'étudiant	construite par l'étudiant
2	fourni à l'étudiant	construite par l'étudiant	construite par l'étudiant
3	construit par l'étudiant	construite par l'étudiant	construite par l'étudiant

Tableau III - Activités expérimentales sur un même thème illustrant les niveaux d'investigation selon [15].

Niveau	Consignes fournies
3	Étudier la qualité d'un vinaigre (sans autre précision)
2	Déterminer le degré d'acidité d'un vinaigre incolore (sans autre précision)
1	Déterminer le degré d'acidité d'un vinaigre incolore en mettant en œuvre un titrage acido-basique suivi par pHmétrie ; description du mode opératoire fournie
0	Déterminer le degré d'acidité d'un vinaigre incolore en mettant en œuvre un titrage acido-basique suivi par pHmétrie ; description du mode opératoire fournie ; comparer le résultat (valeur et incertitude) obtenu à l'indication figurant sur l'étiquette

Du point de vue de la conception des tâches, cette grille permet aussi d'élaborer progressivement des activités expérimentales de moins en moins directives, bien que les critères soient relativement larges.

La réalisation des tâches

Une première façon d'étudier la réalisation des tâches est proposée par des recherches qui analysent des propos d'étudiants commentant leurs actes lors de séances traditionnelles (sans visée de conception expérimentale par exemple). Aux États-Unis, DeKorver et Towns [17] ont interrogé en entretien individuel des étudiants de première année non spécialistes de chimie pour déterminer ce qui fonde leurs actions en séance. Lors de chaque entretien, ils ont présenté des extraits d'une séance de TP de chimie générale que l'étudiant avait menée peu auparavant, en lui demandant de justifier les actions visibles sur la vidéo. Aucun des quatre objectifs les plus cités par les étudiants (les objectifs du manuel de TP, finir les expériences rapidement, obtenir le « bon » résultat, avoir une note) ne figurent parmi ceux mentionnés par des enseignants (voir *tableau I*, [12]).

Ces résultats se retrouvent aussi chez des étudiants de troisième et quatrième année d'université qui suivent un cursus de chimie [18]. Moins de la moitié des étudiants interrogés considèrent que le laboratoire est le lieu pour faire preuve d'analyse critique, réaliser l'intégration de connaissances issues de plusieurs cours ou encore générer des connaissances conceptuelles, qui sont pourtant les objectifs classés comme pouvant être travaillés prioritairement en TP selon les enseignants. Les étudiants mettent l'accent sur les objectifs affectifs tels qu'éviter la frustration et se sentir bien, ce qui conduit aux comportements du type finir tôt et obtenir une note [18]. Les objectifs du domaine affectif exprimés par les étudiants vont à l'encontre des objectifs des domaines psychomoteur et cognitif tels que passer du temps à s'exercer à certaines techniques et à comprendre des concepts [18]. Si les étudiants partagent les objectifs des enseignants, il a été observé qu'ils manquent fréquemment de capacités métacognitives leur permettant de réguler leurs actions afin de parvenir aux objectifs visés [18]. À rebours de ces études états-uniennes, l'étude australo-britannique montre que les étudiants (interrogés par écrit après

plusieurs séances) partagent des objectifs de développement d'aptitudes pratiques, d'augmentation de la compréhension conceptuelle, de préparation à l'emploi [13]. Les différences constatées relèvent peut-être des spécificités du système états-unien, mais sont aussi liées au mode d'enquête. Interroger un étudiant face à une vidéo de ses performances et peu après sa séance favorise l'expression du ressenti émotionnel, moins présent lorsqu'il s'agit de répondre par écrit à une question ouverte demandant quels sont les objectifs attribués aux séances expérimentales.

Une autre façon d'étudier la réalisation des tâches consiste à comparer les productions des étudiants dans des conditions différentes lors de conception expérimentale par exemple. Elle peut être initiée *via* des plateformes numériques qui procurent des aides ciblées aux étudiants. Girault et d'Ham [3] comparent la réussite de trois groupes d'étudiants de première année d'université confrontés à la même tâche : élaborer un protocole expérimental pour déterminer la concentration en colorant d'un sirop de grenadine par spectrophotométrie. Le premier groupe travaille à partir de documents, qui notamment précisent les étapes permettant de réaliser un dosage par spectrophotométrie, et doit fournir un protocole sur papier. Le second groupe travaille avec la plateforme numérique Copex-chimie dans laquelle ont été implantés la pré-structuration des tâches correspondant au dosage par spectrophotométrie en étapes et actions (premier étayage), ainsi qu'un retour simulant les résultats engendrés par leur proposition de protocole (deuxième étayage). Le troisième groupe utilise également Copex-chimie dans laquelle un tuteur artificiel corrigeant les erreurs commises s'ajoute aux deux étayages précédents. Les auteurs ont enregistré tous les accès aux différentes rubriques de la plateforme, noté la durée de travail et analysé la production finale, écrite pour le premier groupe, en comparant à la préstructuration des tâches implantées dans la plateforme et résultant de l'analyse *a priori*. Les étudiants du troisième groupe parviennent à la réalisation de protocoles cohérents ou aboutis plus souvent que les autres qui fournissent un protocole trop général ou procèdent par essai-erreur [3]. Pour les auteurs, ces résultats montrent qu'une aide correctrice d'erreurs est nécessaire lors de la conception de protocole, à laquelle l'aide de l'enseignant en séance peut s'ajouter en synergie [3].

Quel apprentissage pour les étudiants en TP ?

Les études portant sur ce qu'apprennent spécifiquement les étudiants en TP de chimie sont rares. Si l'on reprend l'étude s'intéressant aux étudiants états-uniens de première année, les auteurs constatent que les étudiants ne font pas de lien entre ce qui relève des domaines cognitif et psychomoteur. La séparation entre ces domaines ajoutée au conflit avec le domaine affectif empêche qu'un apprentissage ayant du sens s'effectue [17]. Pour augmenter la motivation des étudiants et leurs compétences manipulatoires considérées comme des prérequis indispensables à la pratique expérimentale au laboratoire, des stratégies spécifiques ont été proposées [19-20]. Il s'agit que les étudiants obtiennent leur badge pour pipeter, mesurer un volume avec une burette graduée ou encore préparer une solution en fiole jaugée. Le défi à relever consiste pour l'étudiant à se filmer en train d'accomplir l'action pour laquelle il requiert le badge, après avoir reçu un enseignement au laboratoire. La vidéo est évaluée par un enseignant via l'environnement numérique de travail de l'université, des correctifs peuvent donc être apportés si les gestes sont à améliorer. Les progrès relevés dans les gestes comme dans les réponses à des questionnaires sur les raisons des gestes effectués confortent les auteurs dans leur démarche [19-20] et offrent une première réponse pour infléchir la vision utilitaire précédemment mentionnée.

Domin a comparé les moments où des étudiants pensent réfléchir et mettre en œuvre leurs connaissances (ce qui contribue au développement conceptuel pour cet auteur) selon qu'ils suivaient des séances de TP classiques avec des protocoles expérimentaux fournis ou fondées sur une résolution de problème avec conception de protocoles [21]. L'exemple de problème à résoudre fourni par Domin s'intitule « Analyse d'un complément alimentaire au calcium » : après une mise en contexte décrivant l'importance du calcium dans l'organisme humain et la nécessité pour certaines personnes d'ingérer des compléments alimentaires au calcium, la tâche à résoudre est posée : « Votre groupe reçoit un complément au calcium sous forme de CaCO_3 . Vous devez déterminer la masse de Ca^{2+} dans un comprimé de complément alimentaire. Votre valeur doit avoir au moins trois chiffres significatifs. Vous bénéficiez de deux séances de TP pour mener à bien le projet ». Lors des séances classiques, les étudiants sont focalisés sur la réalisation de la tâche, les aspects procéduraux, et non sur les concepts qui les sous-tendent. Selon Domin, la réflexion conceptuelle survient ensuite lors de la rédaction du rapport de TP si des questions incitent à faire des liens avec ce qui a été fait et l'interprétation requise. Au contraire, la réflexion conceptuelle se produit durant la séance lorsqu'il y a conception de protocole, à l'occasion notamment de nombreuses interactions avec l'enseignant, souvent à la demande des étudiants. Cependant, de l'avis des étudiants qui ont suivi successivement les deux types de séances durant l'année universitaire, ces deux types les ont également aidés à comprendre les concepts en jeu.

Modifier certaines habitudes

Il ressort de ce bref panorama que les enseignants attendent beaucoup des activités de laboratoire durant lesquelles les étudiants devraient développer des compétences pratiques (manipuler du matériel et des produits chimiques en sécurité, mesurer et observer avec précaution), mais aussi des compétences cognitives (concevoir, analyser, argumenter, etc.).

Cependant, l'apprentissage de concepts, de savoir-faire et d'attitudes est un processus long qui se nourrit de situations diverses, et les quelques éléments présentés ont souligné les différents aspects qui entrent en ligne de compte, dont la motivation des étudiants qu'il ne faut pas négliger. Pour l'augmenter et minorer des comportements utilitaires, outre choisir des situations contextualisées, il paraît nécessaire de revoir les modes d'évaluation pour les mettre plus en adéquation avec les objectifs à énoncer explicitement. Mettre l'accent sur les procédures de collecte de données, sur l'émission d'explications fondées sur des données expérimentales dans les évaluations plutôt que sur l'obtention d'un résultat [18] permettrait peut-être de sensibiliser davantage d'étudiants aux enjeux de la conception expérimentale ou de la résolution de questions en prise avec certaines préoccupations quotidiennes. Pour aider à l'intégration des connaissances, il semble important que les enseignants de TP reviennent en fin de séance ou alors dans des séances post-laboratoire dédiées, sur les spécificités de la séance, mais aussi sur les points communs avec d'autres. Introduire des séances post-laboratoire réflexives nécessiterait de modifier certaines habitudes car ces séances sont rarement prévues dans les unités d'enseignement où figurent les TP.

Notes et références

- (1) Université (dont les IUT), STS et CPGE. Il existe des comptes rendus d'enseignants relatant la mise en place d'activités expérimentales rénovées (comme dans ce dossier).
- (2) Les articles du numéro provenaient de sept pays différents, aucun francophone.
- (3) Notons la situation tout à fait particulière des études de santé, les activités expérimentales étant absentes de la première année PACES, qui conduit pourtant aux études de pharmacie, domaine où la chimie intervient notablement.
- (4) Pour plus de précision, consulter les archives en ligne de la Commission européenne, http://cordis.europa.eu/projects/home_en.html, ou l'article [11].
- (5) Ils s'appuient sur la théorie de Novak du « constructivisme humain et de l'apprentissage ayant du sens » [Bretz S.L., Novak's theory of education: human constructivism and meaningful learning, *J. Chem. Educ.*, **2001**, 78, p. 1107] qui lui-même s'inspire de la théorie d'Ausubel, le premier psychologue à parler d'assimilation d'une connaissance au sein d'un réseau de connaissances déjà là, au début des années 1960 aux États-Unis.
- (6) Les auteurs de l'étude distinguent les enseignements pratiques de deux premières années du bachelors divisés en chimie générale et chimie organique, et les deux dernières années où cette division n'intervient plus.
- [1] De Ketele J.-M., La pédagogie universitaire : un courant en plein développement, *Revue française de pédagogie*, **2010**, 172, p. 5, <http://journals.openedition.org/rfp/2168>
- [2] de Hosson C., Manrique A., Regad L., Robert A., Du savoir savant au savoir enseigné, analyse de l'exposition des connaissances en cours magistral de physique : une étude de cas, *Revue internationale de pédagogie de l'enseignement supérieur*, **2018**, 34-1, <http://journals.openedition.org/ripes/1307>
- [3] Girault I., d'Ham C., Scaffolding a complex task of experimental design in chemistry with a computer environment, *J. Sci. Educ. Techn.*, **2014**, 23, p. 514.
- [4] Picron C., Snaeuwaert P., Analyse de protocoles rédigés lors d'activités expérimentales de chimie. Communication aux 10^e Rencontres scientifiques de l'ARDiSt, Saint-Malo, 27-30 mars **2018**.
- [5] Hofstein A., Mamlok-Naaman R., The laboratory in science education: the state of the art, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2007**, 8, p. 105.
- [6] *Discipline-Based Education Research: Understanding and Improving Learning in Undergraduate Science and Engineering*, S.R. Singer, N.R. Nielsen, H.A. Schweingrube (eds), National Academies Press, **2012**.
- [7] Hofstein A., Lunetta V.N., The laboratory in science education: foundations for the twenty-first century, *Sci. Educ.*, **2004**, 88, p. 28.
- [8] Reid N., Shah I., The role of laboratory work in university chemistry, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2007**, 8, p. 172.
- [9] Tiberghien A., Veillard L., Le Maréchal J.-F., Buty C., Millar R., An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries, *Sci. Educ.*, **2001**, 85, p. 483.
- [10] Nakhleh M.B., Polles J., Malina E., *Chemical Education: Towards Research-based Practice*, J.K. Gilbert, O. De Jong, R. Justi, D.F. Treagust, J.H. Van Driel (eds), Kluwer Academic Publishers, **2002**, p. 69-94.

[11] Séré M.-G., Winther J., Le Maréchal J.-F., Tiberghien A., Le projet européen « Labwork in Science Education ». Les travaux pratiques dans l'enseignement des sciences en Europe, *Le Bup*, **2001**, 95, p. 1727.

[12] Bretz S.L., Fay M., Bruck L.B., Towns M.H., What faculty interviews reveal about meaningful learning in the undergraduate chemistry laboratory, *J. Chem. Educ.*, **2013**, 90, p. 281.

[13] George-Williams S.R., Ziebell A.L., Kitson R.R.A., Coppo P., Thompson C.D., Overton T.L., "What do you think the aims of doing a practical chemistry course are?" A comparison of the views of students and teaching staff across three universities, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2018**, 19, p. 463.

[14] Girault I., d'Ham C., Ney M., Sanchez E., Wajeman C., Characterizing the experimental procedure in science laboratories: a preliminary step towards students experimental design, *Int. J. Sci. Educ.*, **2012**, 34, p. 825.

[15] Fay M.E., Grove N.P., Towns M.H., Bretz S.L., A rubric to characterize inquiry in the undergraduate chemistry laboratory, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2007**, 8, p. 212.

[16] Bruck L.B., Bretz S.L., Towns M.H., Characterizing the level of inquiry in the undergraduate laboratory, *Journal of College Science Teaching*, **2008**, 38, p. 52.

[17] DeKorver B.K., Towns M.H., General chemistry students' goals for chemistry laboratory coursework, *J. Chem. Educ.*, **2015**, 92, p. 2031.

[18] DeKorver B.K., Towns M.H., Upper-level undergraduate chemistry students' goals for their laboratory coursework, *J. Res. Sci. Teach.*, **2016**, 53, p. 1198.

[19] Hensiek S., DeKorver B.K., Harwood C.J., Fish J., O'Shea K., Towns M.H., Improving and assessing student hands-on laboratory skills through digital badging, *J. Chem. Educ.*, **2016**, 93, p. 1847.

[20] Towns M.H., Harwood C.J., Robertshaw M.B., Fish J., O'Shea K., The digital pipetting badge: a method to improve student hands-on laboratory skills, *J. Chem. Educ.*, **2015**, 92, p. 2038.

[21] Domin D.S., Students' perceptions of when conceptual development occurs during laboratory instruction, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2007**, 8, p. 140.

Isabelle KERMEN,

maitre de conférences en sciences de l'éducation à l'Université d'Artois, où elle enseigne la chimie, et chercheure au sein du Laboratoire de Didactique André Revuz (LDAR), EA 4434 des universités d'Artois, Cergy-Pontoise, Paris Diderot, Paris-Est Créteil et Rouen-Normandie.

Elle est l'auteur de *Enseigner l'évolution des systèmes chimiques au lycée - Savoirs et modèles, raisonnements d'élèves, pratiques enseignantes*, paru en juin 2018 aux éditions des Presses universitaires de Rennes.

* isabelle.kermen@univ-artois.fr



33 sujets de thèses en sciences dures, humaines et sociales explicités en BD de 2 pages

edp sciences

ISBN : 978-2-7598-2289-8
17€ - 80 pages

Commandez en ligne sur laboutique.edpsciences.fr