

Copex-chimie, un environnement numérique pour aider les élèves à concevoir une expérimentation de dosage spectrophotométrique

Isabelle Girault et Cédric d'Ham

Résumé	Cet article montre l'intérêt et les difficultés d'une activité de conception expérimentale pour des élèves de lycée ou de formations post-bac travaillant avec l'environnement informatique Copex-chimie. Il présente les différentes stratégies mises en place dans le logiciel pour apprendre aux élèves à concevoir une expérimentation de dosage du colorant E124 dans un sirop de grenadine et s'attache à comprendre l'influence de ces stratégies sur la réussite à la tâche et sur les apprentissages des élèves.
Mots-clés	Conception expérimentale, démarche d'investigation, étayage, tuteur artificiel, Copex-chimie, JIREC 2014.
Abstract	Copex-chimie, a computer environment for scaffolding scientific inquiry and experimental design This paper depicts the interest but also the difficulties encountered by students facing an experimental design, at high school or university level. Copex-chimie is a computer environment dedicated to the titration of a red dye in grenadine syrup. This paper presents the three types of experimental design's scaffolding embedded in Copex-chimie (including an intelligent tutoring system) and depicts the impact of such scaffoldings on experimental design and learning.
Keywords	Experimental design, scientific inquiry, scaffolding, intelligent tutoring system, Copex-chimie, JIREC 2014.

Apprendre en concevant des expérimentations

Les élèves apprennent les sciences de plus en plus fréquemment au cours de séquences d'investigation ou de conduite de projets scientifiques. Dans ce type d'activités, ils peuvent être amenés à concevoir leurs expérimentations. Une étude a montré que des élèves qui conçoivent leurs expériences réussissent aux examens traditionnels de façon similaire à des élèves engagés dans un cursus similaire sans conception expérimentale ; en revanche, ils acquièrent de nouvelles méthodes, proches de celles que les scientifiques utilisent en laboratoire [1]. La tâche de conception expérimentale impose aux élèves de mettre en œuvre des processus cognitifs élevés [2-3], entraînant des activités pédagogiques complexes sur de multiples aspects [4-5]. Ceci explique probablement pourquoi la conception des expérimentations n'est généralement pas dévolue aux élèves [6].

Nos recherches ont pour objectif d'aider à mettre en place des activités de conception expérimentale en classe. Nous cherchons à produire des étayages pour que les élèves parviennent à concevoir leur expérimentation, tout en préservant l'intérêt pédagogique de cette activité. Par étayage, nous entendons toute stratégie mise en place pour permettre à l'élève d'apprendre à réaliser une tâche qui serait trop complexe à résoudre sans assistance. Dans ce cadre, une de nos premières études a proposé un outil d'évaluation des protocoles expérimentaux sous la forme d'une grille de critères [6]. Actuellement, nous concevons des outils informatiques pour étayer la conception expérimentale. Un grand nombre d'environnements informatiques ont déjà été proposés et évalués pour accompagner des élèves dans leur démarche d'investigation, le grand défi résidant dans le fait que ces environnements doivent apporter une aide individualisée aux élèves en fonction de leurs besoins [7]. Nous cherchons à relever ce défi pour la conception

expérimentale : dans cet article, nous décrivons Copex-chimie, un environnement informatique pour le lycée ou l'université, qui aide les apprenants à concevoir le dosage d'une substance par spectrophotométrie.

Les étayages pour la conception expérimentale développés dans Copex-chimie

Copex-chimie est une application web [8] dans laquelle les élèves doivent produire un protocole de dosage spectrophotométrique du colorant E124 dans un sirop de grenadine (voir *figure 1*).

Dans Copex-chimie, nous proposons trois types d'étayage aux élèves [9] :

- **Un étayage par structuration préalable du protocole** : l'élève doit écrire son protocole en respectant la structure qui lui est imposée dans le logiciel. Cette structure guide l'activité en contraignant son déroulement. La structuration du protocole est faite à deux niveaux : trois étapes sont imposées pour organiser le protocole (*figure 1*, cadre de droite) ; à l'intérieur de chacune de ces étapes, l'élève détaille le protocole à partir de huit actions prédéfinies dont il doit choisir les valeurs des paramètres (*figure 1*, cadre de gauche).
- **Un étayage par rétroactions personnalisées sur la base d'une simulation scientifique** : à tout moment, l'élève peut faire appel à une simulation qui calcule les spectres et les valeurs d'absorbance correspondant aux actions spécifiées dans le protocole (*figure 1*, cadre flottant).
- **Un étayage par rétroactions personnalisées sur la base des erreurs détectées dans le protocole par un « tuteur artificiel »** : à la demande de l'élève, le tuteur artificiel affiche des informations selon trois niveaux de détail : (1) des jauges indiquent l'avancement étape par étape ; (2) la liste des erreurs détectées est affichée pour chaque étape ; (3) pour chaque erreur, l'élève peut accéder

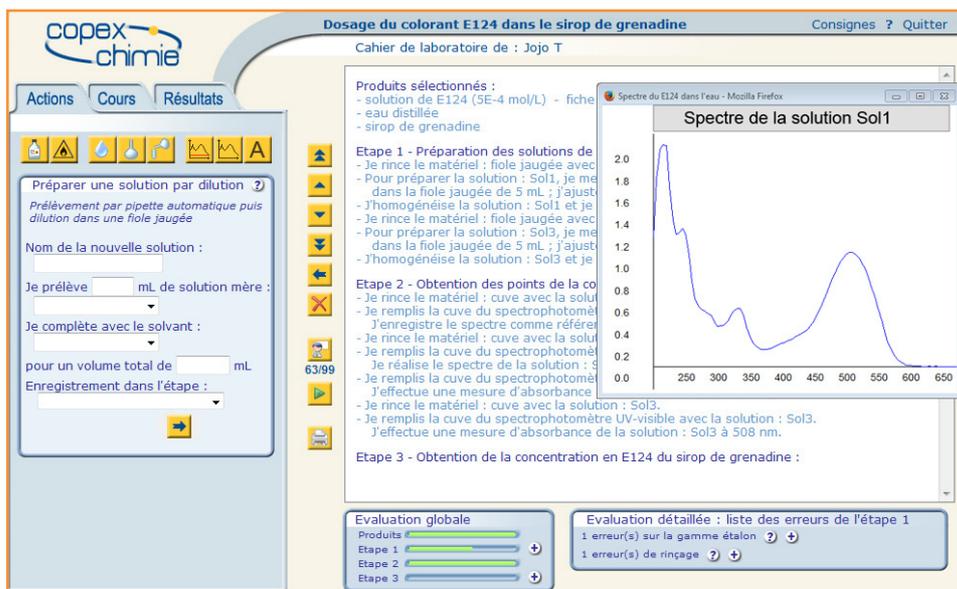


Figure 1 - Interface de Copex-chimie avec ses trois types d'étayage : structuration en étapes (cadre de droite) et actions prédéfinies (cadre de gauche); rétroactions par simulation (cadre flottant); rétroactions sur les erreurs détectées (jauges et détail des erreurs dans les cadres du bas).

à un message de description. Les deux premiers niveaux de rétroaction sont affichés sur la figure 1 (cadres du bas). Les messages décrivant les erreurs sont souvent formulés pour provoquer une réflexion de l'élève sur son erreur. Par exemple, si l'élève rince la fiole jaugée avec un liquide non approprié, il obtient le message : « Évaluez l'influence de votre solution de rinçage sur la solution préparée par dilution. » Copex-chimie peut être configuré pour limiter le nombre d'accès au tuteur et les niveaux de rétroaction fournis à l'étudiant.

Impact des étayages du logiciel sur la conception expérimentale et les apprentissages

Au cours des neuf dernières années, Copex-chimie a été utilisé par environ 1 700 étudiants de l'Université de Grenoble, en licence 1 et en IUT. Plusieurs études ont été menées sur l'activité de conception expérimentale, que ce soit avec le logiciel, configuré de différentes façons, ou sans logiciel. Les apprentissages des étudiants ont été évalués par un traitement pré-test/post-test. Dans le cas du travail sur logiciel, toutes les traces d'activités des étudiants ont été enregistrées. Les principaux résultats obtenus sont décrits ci-après.

Tout d'abord, nous avons montré que la conception d'un protocole de dosage spectrophotométrique ne peut pas être envisagée pour des étudiants de première année sans un étayage serré [9] : les étudiants engagés dans une activité « papier-crayon », sans l'aide du logiciel, produisent des protocoles très succincts, composés de quelques actions et dont les paramètres sont rarement spécifiés. Les productions s'apparentent plus à un principe de manipulation qu'à un protocole utilisable en laboratoire. L'étayage par structuration (étapes et actions paramétrées) force les étudiants à rentrer dans la complexité de la tâche. Cependant, les résultats obtenus ne sont pas probants : cette complexité n'est pas gérable par les étudiants qui abandonnent, pour la plupart, leur travail avant de parvenir à un protocole satisfaisant. Seul le logiciel avec un tuteur artificiel disponible permet à la majorité des étudiants de produire un protocole satisfaisant au cours d'une séance de 1 h 30. Le dispositif le plus efficace est lorsqu'un enseignant est présent en classe

lors du travail sur Copex-chimie. Le tuteur artificiel agit alors comme une aide pour l'enseignant en le déchargeant du traitement des erreurs sur les problèmes les plus courants.

Concernant les apprentissages (résultats à publier), nous avons montré que le travail sur Copex-chimie entraîne bien une augmentation significative du score d'évaluation au post-test par rapport au pré-test. L'étude des stratégies mises en œuvre par les étudiants nous amène à penser qu'il est préférable de limiter le nombre d'accès au tuteur sur une séance (10 à 20 accès maximum) afin d'éviter la mise en place de stratégies essai-erreur, possiblement préjudiciables à l'apprentissage.

Conclusion et perspectives

Copex-chimie est une application web (en accès libre) qui permet aux étudiants de s'initier à la conception expérimentale sur le thème des dosages spectrophotométriques. Nous avons montré l'intérêt des étayages proposés dans Copex-chimie pour l'activité complexe que représente la conception d'une expérimentation. Nous souhaitons transposer ces principes à un environnement plus ouvert qui puisse être utilisé pour tout type de travail expérimental, aussi bien au lycée qu'à l'université. Ce nouvel environnement, intitulé LabBook [10], permet aux élèves de produire collaborativement des rapports expérimentaux. Il inclut un module de conception expérimentale qui peut être adapté par l'enseignant à toute expérimentation. Nous travaillons actuellement à la possibilité de faire spécifier par l'enseignant le comportement du tuteur artificiel en fonction du travail expérimental envisagé.

Références

- [1] Etkina E., Karelina A., Ruibal-Villasenor M., Design and reflection help students develop scientific abilities: learning in introductory physics laboratories, *J. Learn. Sci.*, **2010**, 19, p. 54.
- [2] Neber H., Anton M., Promoting pre-experimental activities in high-school chemistry: focusing on the role of students' epistemic questions, *Int. J. Sci. Educ.*, **2008**, 30(13), p. 1801.
- [3] Karelina A., Etkina E., Acting like a physicist: student approach study to experimental design, *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.*, **2007**, 3, p. 020106.
- [4] Girault I., Cross D., d'Ham C., Students' adaptation to a new situation: the design of an experimental procedure, Actes du congrès *ESERA Conference*, Malmö, Suède, **2007**, p. 21.
- [5] Laugier A., Dumon A., Résolution de problème et pratique expérimentale : analyse du comportement des élèves en début de seconde, *Chem. Educ. Res. Pract.*, **2003**, 4(3), p. 335.
- [6] 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(6), p. 825.
- [7] Quintana C. et al., A scaffolding design framework for software to support science inquiry, *J. Learn. Sci.*, **2004**, 13(3), p. 337.
- [8] <http://copex-chimie.imag.fr>
- [9] Girault I., d'Ham C., Scaffolding a complex task of experimental design in chemistry with a computer environment, *J. Sci. Educ. Technol.*, **2014**, 23(4), p. 514.
- [10] <http://labbook.imag.fr>



I. Girault

Isabelle Girault et Cédric d'Ham sont maîtres de conférence à l'Université Grenoble Alpes, Laboratoire d'Informatique de Grenoble, équipe MeTAH*.



C. d'Ham

* LIG-MeTAH, ENSE3, Bât. B, 11 rue des Mathématiques, Domaine universitaire, F-38000 Grenoble. Courriel : Isabelle.girault@imag.fr