

La construction de protocole de travaux pratiques de chimie à l'aide d'un logiciel : quels apports pour les apprentissages ?

par **Patricia MARZIN, Mustafa ERGUN, Isabelle GIRAULT, Cédric D'HAM**
Laboratoire Leibniz-IMAG, équipe SEED - MeTAH - 38031 Grenoble Cedex

patricia.marzin@imag.fr

Gilles BAUDRANT

Lycée Marie Curie - 38435 Échirolles Cedex

Martine BIAU

Lycée Claude Bernard - 69400 Villefranche-sur-Saône

et **Éric SANCHEZ**

INRP - 69347 Lyon Cedex 07

RÉSUMÉ

L'article ci-dessous présente une étude effectuée avec des élèves de terminale S, à partir de l'utilisation du logiciel Educ@ffix.net qui a pour objet l'acquisition de connaissances procédurales et déclaratives par la réalisation d'un protocole expérimental en chimie. La situation-problème proposée consiste à déterminer la concentration du colorant E124 dans un sirop de grenadine. Dans un premier temps, la situation pédagogique modélisée dans l'environnement informatique est décrite. Puis l'article présente l'interface du logiciel et explique la structure mise en place. Enfin, les premiers résultats expérimentaux sont décrits. L'expérimentation a porté sur cinquante-six élèves de terminale S de deux lycées de Grenoble et de Villefranche-sur-Saône. L'objectif est de vérifier que le logiciel proposé permet bien aux élèves de construire un protocole expérimental et qu'il leur permet également de construire des connaissances. Ces objectifs sont partiellement atteints.

INTRODUCTION

Apprendre à construire un protocole d'expérimentation est une étape importante dans une démarche expérimentale ; néanmoins, cet objectif d'apprentissage est généralement négligé dans l'enseignement secondaire ou universitaire. L'un des objectifs de notre projet est de fournir à des élèves de lycée ou à des étudiants une assistance à la construction de protocole par l'intermédiaire d'un environnement informatique dédié. Notre logiciel de télé-TP, Educ@ffix.net, est accessible *via* Internet. Il permet de réaliser des travaux pratiques à distance dans lesquels les élèves conçoivent virtuellement une manipulation en réponse à un problème donné. L'interface a été conçue pour que les élèves

puissent travailler seuls ou en binôme devant leur machine. Les élèves se connectent en indiquant un identifiant et un mot de passe ce qui leur permet d'interrompre leur travail et de le poursuivre au cours d'une connexion ultérieure. Au cours de l'élaboration de leur protocole, les élèves peuvent le faire évaluer par un tuteur informatique. La manipulation réelle et l'acquisition des données expérimentales peuvent être effectuées ultérieurement en TP avec l'aide de l'enseignant.

Le logiciel que nous présentons est un prototype. Le projet comporte plusieurs phases : une phase d'établissement du cahier des charges, une phase de développement du logiciel, une phase de validation.

Notre étude porte sur l'acquisition de connaissances procédurales en relation avec la construction de protocole ; toutes les notions théoriques nécessaires à la réalisation de la tâche sont censées avoir été acquises antérieurement par les élèves. L'hypothèse qui fonde la réalisation du logiciel est que lorsque les élèves construisent un protocole, ils acquièrent des compétences procédurales, qui permettent de faire des liens entre les connaissances théoriques et gestuelles, acquises de manière isolée. Pour valider les hypothèses de recherche concernant les apprentissages des élèves, nous avons réalisé une expérimentation en trois temps : un prétest dont le but est d'évaluer le niveau des connaissances des élèves à propos des notions à mobiliser pour construire le protocole, une situation où des élèves utilisent le logiciel, et un posttest qui porte sur les mêmes notions que le prétest.

Cet article présente :

- ◆ la situation pédagogique telle qu'elle a été modélisée dans l'environnement informatique : contenus disciplinaires, choix pédagogiques et didactiques (tâches à réaliser par les élèves) ;
- ◆ l'interface logicielle ;
- ◆ et les premiers résultats de la validation.

1. LA SITUATION PÉDAGOGIQUE MODÉLISÉE DANS L'ENVIRONNEMENT INFORMATIQUE

1.1. Les notions travaillées

L'environnement informatique doit permettre à des lycéens ou à des étudiants d'apprendre, de manière autonome, à élaborer un protocole expérimental en chimie. Les connaissances réinvesties par les élèves sont la loi de Beer-Lambert, les principes de gamme et de courbe étalon, la spectrophotométrie, les notions de spectre d'absorbance, de dosage et de rinçage du matériel. Ces notions sont complétées par des objectifs méthodologiques.

Les notions dans les programmes de terminale S

Les notions en jeu dans la situation décrite relèvent du programme de physique-chimie de la classe de terminale S dans la partie A du chapitre de chimie intitulée « *La trans-*

formation d'un système chimique est-elle toujours rapide ? » Ces notions sont formulées dans les programmes de la façon suivante : « *Une nouvelle technique d'analyse : la spectrophotométrie. L'absorbance A, grandeur mesurée par le spectrophotomètre. Relation entre l'absorbance et la concentration effective d'une espèce colorée en solution, pour une longueur d'onde donnée et pour une épaisseur de solution traversée donnée. Suivi de la cinétique d'une transformation* » (BO n° 4 du 30 août 2001 HS).

L'exemple que nous avons choisi est le dosage par spectrophotométrie du colorant E124 dans un sirop de grenadine, solution contenant ce colorant. Pour trouver la valeur de la concentration de ce produit, les élèves doivent utiliser le principe de la loi de Beer-Lambert qui leur permettra, à partir de la mesure d'absorbance de solutions de concentration connue, de retrouver la concentration inconnue. Pour cela, les élèves doivent :

- ◆ préparer une gamme étalon à partir d'une solution de colorant E124 de concentration connue ;
- ◆ tracer la courbe étalon (absorbance en fonction des concentrations pour une longueur d'onde de 508 nm) ;
- ◆ mesurer l'absorbance de la solution de grenadine diluée.

1.2. Les choix pédagogiques et didactiques

La conception de la situation didactique mise en place à l'aide de l'environnement informatique résulte du choix d'aider les élèves à construire un protocole.

En effet, de nombreux travaux [1, 5] ont fait le constat que l'investigation scientifique était peu ou mal enseignée à l'école. Si les élèves sont confrontés de façon fréquente et régulière avec des activités pratiques, les protocoles de travaux pratiques sont souvent élaborés par les enseignants [4], l'activité des élèves étant limitée à leur mise en œuvre. D'après une étude effectuée par SÉRÉ [5], 90 % des feuilles de TP de physique analysées ont pour objectif d'établir des relations entre grandeurs, et dans seulement 10 % il est demandé de tester une prédiction ou de choisir plusieurs explications. Pour COQUIDÉ [1] « Il semble bien que les TP habituels aident peu les élèves à établir des relations entre concepts, percepts et objets matériels ». De telles situations conduisent à développer des compétences qui relèvent de savoir-faire techniques, ce que nous avons appelé précédemment les connaissances gestuelles, mais ne permettent pas de développer des compétences qui ont trait au travail du chercheur [2] (imagination, créativité, raisonnement...). La situation mise en place avec l'environnement Educ@ffix.net [3] conduit les élèves à construire un protocole pour réaliser un dosage. Il ne s'agit pas de vérifier, de décrire, de catégoriser ou de modéliser un phénomène, ni même d'apprendre une technique, mais plutôt de réinvestir des connaissances en utilisant une procédure technologique (la spectrophotométrie), et de faire des liens entre des notions. La situation proposée est à la fois ouverte : le point de départ est un problème à résoudre, et guidée : le protocole est prédéfini à partir de cinq étapes inscrites sur l'interface, que les élèves doivent suivre dans un ordre imposé.

Nos hypothèses de recherche portent sur les usages et les apprentissages visés. Elles tiennent compte des choix retenus lors de la conception du logiciel et des travaux sur les conceptions des élèves en chimie. Ces hypothèses se déclinent selon trois axes de recherche :

- ◆ le logiciel va aider les élèves à construire un protocole cohérent par rapport au problème posé ;
- ◆ l'élaboration par l'élève d'un protocole structuré avant la manipulation va lui permettre de donner du sens à son travail expérimental, c'est-à-dire de construire les connaissances procédurales mises en jeu au cours du TP, en faisant le lien entre les concepts connus au préalable et les tâches à réaliser pendant ce TP ;
- ◆ les élèves vont rencontrer des difficultés liées aux conceptions qu'ils ont (par exemple sur la conservation de la matière).

1.3. Les tâches réalisées par les élèves

1.3.1. La question de départ

Après s'être identifié, l'élève peut consulter la consigne qui est formulée de la façon suivante : « *Le sirop de grenadine est rouge. Rouge comme la grenade ? Oui... Mais en fait, dans certains sirops, la couleur est produite par un colorant ajouté : le colorant E124 (rouge cochenille). L'objectif du TP est de déterminer la concentration du E124 dans un échantillon de sirop qui vous est fourni. Pour déterminer cette concentration, vous allez utiliser un spectrophotomètre. Cet appareil mesure les modifications subies par un faisceau de lumière quand il traverse un échantillon : la lumière est plus ou moins absorbée par l'échantillon selon la nature et la concentration des produits contenus dans l'échantillon* ».

1.3.2. La construction de protocole

Pour continuer le travail, l'élève peut consulter une fiche qui lui indique les différentes étapes que comporte le protocole (annexe 1 : fiche de consigne).

Pour construire leur protocole, les élèves disposent d'un cahier de laboratoire dans lequel ils peuvent inscrire les différentes actions à réaliser. Ce cahier de laboratoire occupe la partie principale de la page-écran. En annexe 2 nous présentons un protocole type, tel qu'il est formulé par le logiciel, à la fin de la construction d'un protocole.

1.3.3. La validation par l'expérience

Pour exécuter leur protocole, les élèves doivent réaliser plusieurs expériences qui ne sont pas prises en charge par le logiciel ; elles peuvent être effectuées en laboratoire :

- ◆ les rinçages, dilutions et homogénéisation nécessaires ;
- ◆ le spectre d'absorption entre 350 nm et 800 nm pour les solutions de la gamme étalon ;
- ◆ les mesures d'absorbance des différentes solutions de la gamme étalon ;
- ◆ la mesure d'absorbance de la solution de grenadine.

2. L'INTERFACE DU LOGICIEL

2.1. Les différentes étapes du protocole

Une image de l'interface est présentée en annexe 4. Afin de structurer l'activité d'élaboration de protocole, le travail de l'élève est divisé en cinq étapes, qui sont des procédures classiques du travail du chimiste. Ces étapes sont les suivantes :

- ◆ *Étape 1* : Sélection des produits
- ◆ *Étape 2* : Préparation des solutions de la gamme étalon
- ◆ *Étape 3* : Obtention des points de la courbe étalon
- ◆ *Étape 4* : Préparation des solutions à partir du sirop de grenadine
- ◆ *Étape 5* : Mesures servant à obtenir la concentration en E124 du sirop de grenadine

2.2. Les actions

L'élève ou l'étudiant doit choisir, parmi les huit actions élémentaires, celles qui sont nécessaires pour réaliser chacune des étapes et les placer dans le cahier de laboratoire selon une chronologie qui permette de répondre au problème posé. Ces actions sont définies comme des procédures générales, indépendantes du matériel et pouvant être réemployées dans d'autres contextes de travail de laboratoire. Les huit actions sont listées ci-dessous :

- ◆ Sélectionner les produits
- ◆ Consulter une fiche de sécurité
- ◆ Préparer une solution par dilution
- ◆ Enregistrer la ligne de base du spectrophotomètre
- ◆ Réaliser un spectre
- ◆ Mesurer une absorbance
- ◆ Rincer
- ◆ Homogénéiser

L'utilisateur doit également choisir des paramètres adéquats qui lui permettent de réaliser des mesures pertinentes par rapport à la consigne. Ainsi, chaque action est définie par un jeu de paramètres qui doivent être spécifiés avant que l'action ne soit enregistrée dans le cahier de laboratoire. Par exemple, pour l'action « préparer une solution par dilution », l'élève doit définir le volume et la nature de la solution à diluer, ainsi que le volume total de la nouvelle solution et la nature du solvant utilisé (*cf.* les exemples donnés dans la figure 1, page ci-après). Définir les paramètres implique l'utilisation des connaissances procédurales définies plus haut.

2.3. Le cours en ligne

Les élèves ont la possibilité de consulter à tout moment des cours, en cliquant sur l'onglet « cours ». Ces cours comprennent des explications sur les principales notions présentées plus haut.

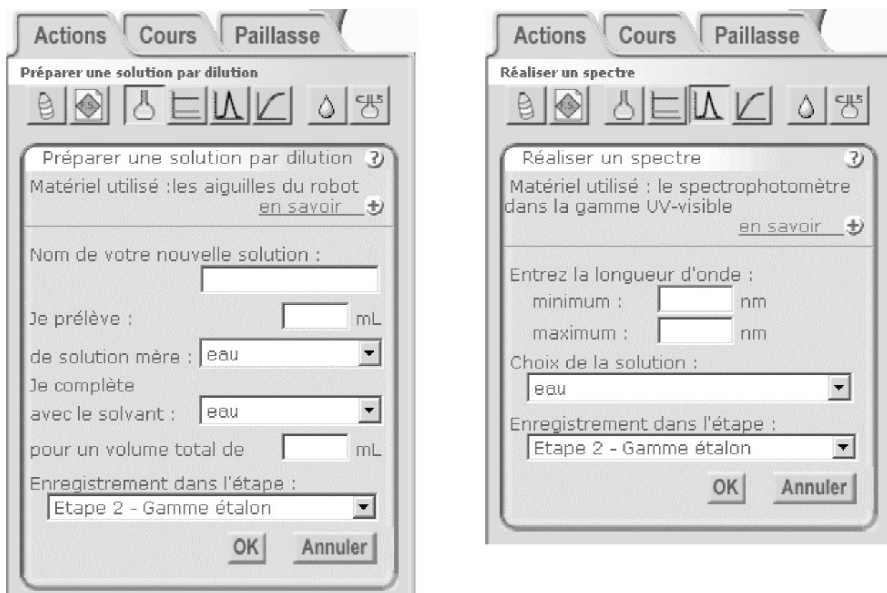


Figure 1 : Boîtes de dialogue utilisées pour définir les actions « Préparer une solution par dilution » et « Réaliser un spectre ».

2.4. Le tuteur informatisé

Les élèves ont également la possibilité d'évaluer leur protocole. Un clic sur le bouton « évaluer » déclenche la mise en œuvre d'un contrôle par le logiciel (tuteur informatisé) du travail réalisé, du point de vue des actions et des paramètres sélectionnés par les élèves. Il permet donc d'accéder à des informations sur l'état d'avancement de leur travail, sur les éventuelles erreurs réalisées et d'obtenir de l'aide en fonction du contexte. Cette aide contextualisée est fournie sous forme de texte. Elle est accessible à tout moment. En aucun cas, le tuteur ne corrige les erreurs, mais il pointe du doigt les difficultés en catégorisant les erreurs (par exemple, erreur de type rinçage) et en proposant un lien vers la page de cours correspondante. Les trois niveaux de rétroaction du tuteur sont présentés sur un exemple dans la figure 2 : le premier niveau indique l'avancement du protocole étape par étape (évaluation globale) ; le deuxième niveau donne la liste et le type des erreurs d'une étape choisie ; le troisième niveau décrit une erreur sélectionnée.

3. ÉVALUATION DE LA TÂCHE DE CONSTRUCTION DE PROTOCOLE : PREMIERS RÉSULTATS

Les premiers résultats sont des éléments de réponse à nos questions de recherche. Ils vont permettre de confirmer ou infirmer les hypothèses suivantes :

- ◆ le logiciel proposé va permettre aux élèves d'effectuer la tâche proposée ;

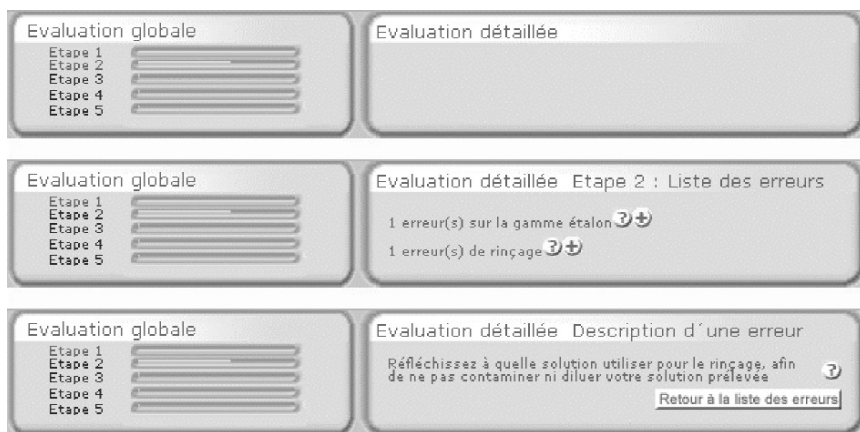


Figure 2 : Trois niveaux de rétroaction donnés par le tuteur informatisé.

- ◆ le travail de construction de protocole permet aux élèves de construire des connaissances de type procédural.

3.1. La méthodologie d'analyse

Deux classes de terminale S (56 élèves au total, âgés de 17-18 ans, issus de deux lycées d'Échirolles et de Villefranche-sur-Saône) ont travaillé en binômes à la construction d'un protocole permettant de déterminer la concentration en E124 dans un sirop de grenadine. Les élèves étaient regroupés dans une salle informatique reliée à Internet pour pouvoir accéder au dispositif Educ@ffix.net et disposaient de 1h30 pour réaliser le protocole. L'expérimentation a eu lieu en février et en mars 2004.

- ◆ Les élèves ont été enregistrés ou filmés pendant le travail. Les protocoles réalisés ont été récupérés à la fin de la séance. Ces données ne seront pas exploitées ici.
- ◆ Un logiciel de suivi de trace a permis de suivre le cheminement des élèves dans le logiciel. Dans un premier temps, cela nous permettra de vérifier si les élèves réussissent la tâche demandée.
- ◆ En parallèle, un prétest et un posttest ont été réalisés, respectivement avant et après l'expérimentation avec le logiciel. Ils seront exploités ici pour évaluer les connaissances procédurales avant expérimentation, ainsi que l'évolution de ces connaissances au cours de l'expérimentation.

3.2. Description des tests

Cinq connaissances procédurales (P) ont été testées. Elles sont formulées ci-dessous, avec une référence à la connaissance théorique (T) sur laquelle elles s'appuient.

- ◆ P1 : Comment homogénéiser ↔ homogénéité (T2) ↔ concentration (T1) : homogénéiser, c'est agiter pour rendre la concentration égale en toute partie de la solution.

- ◆ P2 : Comment diluer ↔ concentration (T1) : diluer, c'est ajouter du solvant pour rendre la concentration plus faible.
- ◆ P3 : Comment rincer ↔ concentration (T1) : rincer, c'est éliminer les impuretés en choisissant le bon liquide pour ne pas modifier la concentration de la solution prélevée.
- ◆ P4 : Comment choisir le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert (BL) ↔ loi de BL (T3) : le choix de la concentration maximale dépend du domaine de validité de la loi de BL.
- ◆ P5 : Comment choisir la solution de référence ↔ additivité des absorbances (T4) : choisir la bonne solution de référence, c'est identifier le ou les composé(s) dont les absorbances sont susceptibles de s'ajouter à celle du E124.

Cinq questions ont été posées aux élèves, de façon identique dans les prétests et posttests, pour connaître l'état de leurs connaissances procédurales P1 à P5 (cf. annexe 3). La question 1 (Q1) permet de tester la connaissance P1 ; la question Q2, la connaissance P2 ; et ainsi de suite.

Il était intéressant de vérifier l'acquisition des connaissances théoriques, supposées connues avant l'expérimentation. Il s'agit des connaissances théoriques (T1 à T4), nécessaires à la construction des connaissances procédurales citées P1 à P5 :

- ◆ T1 : Concentration molaire : $C = n/V$.
- ◆ T2 : Homogénéité : la valeur de la concentration est identique en toute partie d'un volume.
- ◆ T3 : Loi de BL, $A = \epsilon.l.C$ (ou $A = k.C$) : à une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration.
- ◆ T4 : Additivité des absorbances : l'absorbance d'un mélange est égale à la somme des absorbances des différents composants du mélange.

Les connaissances T1 à T4 ont été respectivement testées dans les questions Q6 à Q9 (cf. annexe 4).

3.3. Réussite de la tâche demandée et temps d'exécution

L'analyse des traces des vingt-huit protocoles réalisés par cinquante élèves travaillant en binômes montre une réussite moyenne étape par étape de :

- 100 % pour l'étape 1 (produits sélectionnés) ;
- 91 % pour l'étape 2 (préparation des solutions de la gamme étalon) ;
- 73 % pour l'étape 3 (obtention des points de la courbe étalon) ;
- 63 % pour l'étape 4 (préparation des solutions à partir du sirop de grenadine) ;
- 51 % pour l'étape 5 (mesures servant à obtenir la concentration en E124 du sirop de grenadine).

L'analyse de traces montre que seize binômes sur vingt-huit réalisent les cinq étapes avec des degrés de réussite différents. Cinq binômes réussissent avec un taux de 100 % à toutes les étapes. Cela correspond à une validation complète du protocole par le tuteur

informatisé, basée sur le nombre d'erreurs. Sur ces cinq binômes, le temps d'exécution est de 55 min (pour un binôme), 1 h 15 (deux binômes) et 1 h 30 pour les deux restants. Cinq binômes réalisent toutes les étapes avec un taux de réussite variant de 80 à 100 % ; six binômes réalisent toutes les étapes avec un taux de réussite entre 40 et 100 %. Quatre binômes ont réalisé quatre étapes, huit binômes ont réalisé trois étapes.

Douze binômes ont un taux de réussite de 0 % à la dernière étape ; cinq binômes ont un taux de réussite de 100 % à quatre étapes sur cinq, l'autre étape (cela peut être la 2, 3 ou 5) a une réussite élevée, mais non complète.

L'analyse de ces résultats montre que 1 h 30 est un temps trop court pour exécuter le protocole jusqu'au bout. Nous avons prévu initialement un temps de réalisation de 2 h. Cependant, le créneau horaire d'enseignement étant de 2 h, auquel il a fallu déduire le temps d'introduction du travail et d'installation aux machines, le temps réel de travail sur le logiciel était donc de 1 h 30. Cela peut aider à expliquer le fort taux de protocoles non terminés. Une analyse plus fine des protocoles et du logiciel de trace permettra de comprendre quelles ont été les difficultés rencontrées par les élèves.

3.4. Acquisition de connaissances procédurales

Le questionnaire figure en annexe 3. Quand nous avons vérifié ce que les élèves savaient sur les notions théoriques T1 à T4, nous avons obtenu les résultats du prétest pour ces questions regroupés dans le tableau 1.

Connaissance	Question	Réponses	Occurrence Prétest
T1	Q6	Attendue : 0,03 mol.L ⁻¹	43/56
T2	Q7	Attendue : réponse avec notion de concentration Autre : réponse avec notion de phase	8/56 34/56
T3	Q8	Réponses attendues : a. vrai b. vrai c. faux d. vrai e. vrai f. faux g. vrai h. faux i. faux j. vrai k. faux ne sait pas	a. 38/56 b. 52/56 c. 42/56 d. 46/56 e. 54/56 f. 55/56 g. 56/56 h. 43/56 i. 47/56 j. 41/56 k. 33/56 10/56
T4	Q9	Attendue : spectre b Autre : spectre c	30/56 22/56

Tableau 1 : Résultats synthétiques du prétest pour les questions 6 à 9.

La lecture de ce tableau montre que les connaissances T1 (concentration molaire) et T3 (loi de Beer-Lambert) sont assez bien connues.

La connaissance T2 (homogénéité) pose par contre des problèmes. Nous pensons qu'il s'agit d'un problème de formulation de la question posée. En effet, nous attendions une réponse au niveau microscopique (notion de concentration), alors que la réponse spontanée des élèves s'est située au niveau macroscopique (notion de phase). La première partie de la question 1 (*cf.* connaissances procédurales) illustre ce propos, car les élèves ont très bien reconnu la solution homogène, alors qu'est proposée une représentation du microscopique.

La connaissance T4 (additivité des absorbances) semble intégrée par seulement la moitié des élèves. Il s'agit à la fois d'une notion difficile et d'un exercice probablement trop difficile aussi.

Le tableau 2 regroupe les réponses aux questions 1 à 5 des pré et posttest, posées afin de déterminer l'évolution des connaissances procédurales au cours de l'expérimentation.

Connaissance	Question	Réponses	Occurrence Prétest	Occurrence Posttest
P1	Q1			
	Partie 1	Attendue : solution B	52/56	48/50
	Partie 2	Attendue : agiter / remuer / mélanger / homogénéiser / chauffer Autre : ne sait pas	24/56 19/56	38/50 6/50
P2	Q2	Attendue : c. vrai	51/56	47/50
P3	Q3			
	Pipette	Attendue : KMnO_4 Autre : eau / eau distillée	24/56 32/56	35/50 12/50
	Fiole jaugée	Attendue : eau / eau distillée Autre : KMnO_4	51/56 3/56	41/50 7/50
P4	Q4	Attendue : $0\text{-}6 \text{ mmol.L}^{-1}$	27/56	33/50
		Autre : $0\text{-}10 \text{ mmol.L}^{-1}$	6/56	6/50
		Autre : ne sait pas	19/56	8/50
P5	Q5	Attendue : $\text{KMnO}_4 + \text{CoCl}_2$	27/56	27/50
		Autre : $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	3/56	5/50
		Autre : ne sait pas	22/56	15/50

Tableau 2 : Résultats synthétiques des pré et posttest pour les questions 1 à 5.

Les résultats montrent que **la connaissance procédurale P1 (comment homogénéiser)** (Q1, partie 2) est acquise par moins de la moitié des élèves pendant le prétest, alors que beaucoup d'élèves (29/56) choisissent de ne pas répondre. Il est intéressant de

noter que la proportion d'élèves répondant correctement à la question a augmentée sensiblement à la fin de l'expérimentation (38/50). Cela vient peut-être des interventions du tuteur informatisé et l'accès au cours qui leur rappelle que « l'homogénéisation consiste à agiter la solution ».

À propos de **la connaissance procédurale P2 (comment diluer)**, les élèves l'ont déjà acquise au moment du prétest. Nous avons fait l'hypothèse que la construction de protocole pourrait permettre l'acquisition de cette connaissance, mais notre vision était pessimiste.

Les résultats de **la connaissance P3 (comment rincer)** sont intéressants. Le rinçage correct de la pipette est nettement amélioré après l'expérimentation, puisque 24/56 élèves répondent correctement au prétest alors que le taux de bonne réponse passe à 35/50 élèves. Cette amélioration est peut-être à relier aux interventions du tuteur. En effet, les élèves qui ont eu des difficultés de rinçage pendant la construction de leur protocole ont très probablement rencontré le message suivant du tuteur : « Réfléchissez à quelle solution utiliser pour le rinçage, afin de ne pas contaminer ni diluer votre solution à prélever ». Le rinçage de la fiole jaugée est fait correctement lors du prétest (51/56), mais ce taux de réussite a tendance à diminuer lors du posttest, puisque davantage d'élèves rincent la fiole avec KMnO_4 , qui est une réponse fautive. Il est possible que cette faible variation ne soit pas significative, mais peut-être que certains élèves ont été déstabilisés lors de l'expérimentation : ils ont répondu « l'eau » lors du prétest par habitude (eau = solvant habituel) et ne sont pas certains de leur réponse initiale, quoique correcte.

La connaissance P4 (choisir le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert) est acquise par seulement la moitié des élèves (27/56) au moment du prétest. Si davantage d'élèves répondent correctement à l'issue de l'expérimentation (33/50), cette hausse n'est pas très importante. Cela peut peut-être s'expliquer par le fait que selon les concentrations choisies par la gamme étalon, ils n'ont pas nécessairement été confrontés à la restriction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. Le logiciel permet cette réflexion, mais ne l'impose pas.

Les résultats pour **la connaissance P5 (comment choisir la solution de référence)** montrent que la connaissance n'évolue pas de façon significative entre les pré et posttest. La situation choisie dans le test est assez complexe et surtout beaucoup plus compliquée que dans leur construction de protocole où la solution de référence est de l'eau. Il est possible que la situation proposée dans le TP fût trop simple, ou en tout cas trop classique, pour faire évoluer cette connaissance.

4. DISCUSSION ET CONCLUSION

La première validation du logiciel Educ@ffix.net est concluante par le fait que la majorité des élèves ont réussi à construire un protocole avec pour certains un taux de réussite de 100 % pour toutes les étapes. Ce résultat montre que les élèves ne sont pas gênés par l'interface, qu'ils comprennent les différentes consignes et arrivent à rentrer

dans la démarche proposée par le logiciel. Cette expérimentation nous donne aussi une indication sur le temps nécessaire à la réalisation de la tâche. Pour le moment, nous avons du mal à conclure si les élèves qui n'ont pas réussi à atteindre l'étape 5 ont manqué de temps ou si cela est dû à des raisons plus profondes. Les difficultés rencontrées seront analysées plus finement grâce aux transcriptions audio et vidéo, et à l'analyse des traces.

L'utilisation du logiciel au sein du dispositif expérimental semble avoir aidé les élèves à progresser sur certaines connaissances procédurales (l'homogénéisation, le rinçage, la validité de la loi de Beer-Lambert).

Le logiciel, encore à l'état de prototype, n'est pas commercialisé pour le moment, mais nous pensons que la démarche proposée, les choix pédagogiques et didactiques peuvent être réinvestis dans une situation « papier-crayon » en présentiel. En particulier l'utilisation des actions et le découpage en étapes, dans le but de construire un protocole expérimental qui résolve un problème précis.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] COQUIDÉ M. Face à l'expérimental scientifique, in *Les difficiles transformations du métier d'enseignant*. Paris : Astolfi J.-P. eds. Paris, ESF, 2003, p. 153-181.
- [2] DARLEY B. et MARZIN P. Productions graphiques chez des élèves de première S. Apprendre à recueillir, traiter et interpréter des données expérimentales. Rapport interne INRP, 1998.
- [3] GIRAULT I., D'HAM C., CAIX-CECILLON C. et Bettega H. *Apprentissages en chimie par des expérimentations pilotées à distance*. EIAH 2003 : Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, Strasbourg (France), 15-17 avril 2003, p. 527-530.
- [4] ORLANDI E., Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 1991, n° 13, p. 111-132.
- [5] SÉRÉ M.-G. et BÉNÉ M. Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 1997, n° 11, p. 75-102.

Annexe 1

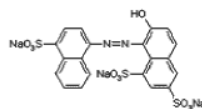
Fiche de consigne

Dosage par spectrophotométrie du colorant E124 dans un sirop de grenadine



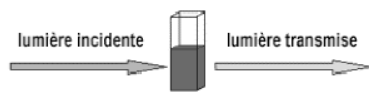
Le sirop de grenadine est rouge. Rouge comme la grenade ? Oui... Mais en fait, dans certains sirops, la couleur est produite par un colorant ajouté : le colorant E124.

L'objectif du TP est de déterminer la concentration du E124 dans un échantillon de sirop qui vous est fourni.



Formule du colorant E124

Pour déterminer cette concentration, vous allez utiliser un spectrophotomètre. Cet appareil mesure les modifications subies par un faisceau de lumière quand il traverse un échantillon : la lumière est plus ou moins absorbée par l'échantillon selon la nature et la concentration des produits contenus dans l'échantillon.



TRAVAIL À RÉALISER

Nous vous demandons de construire un protocole expérimental permettant le dosage du colorant E124 dans le sirop de grenadine à l'aide du logiciel Educ@ffix.net. Ce protocole sera ultérieurement exécuté par un robot situé à distance.

Afin d'atteindre l'objectif proposé, vous allez préparer une gamme étalon, tracer une courbe étalon et finalement déduire la concentration en E124 dans le sirop de grenadine à partir de cette courbe étalon

Le protocole devra être construit dans votre cahier de laboratoire en suivant les cinq étapes suivantes :

- ◆ Étape 1 : établir une liste des produits chimiques nécessaires.
- ◆ Étape 2 : décrire les actions à réaliser pour préparer les solutions de la gamme étalon.
- ◆ Étape 3 : décrire les actions à réaliser pour obtenir des points de la gamme étalon.
- ◆ Étape 4 : décrire les actions à réaliser pour préparer les solutions à partir du sirop de grenadine.
- ◆ Étape 5 : décrire les actions servant à obtenir la concentration en E124 du sirop de grenadine.

Important : Le robot ne sera pas mis en service durant cette expérimentation. Si vous avez besoin d'informations concernant votre protocole (résultats de mesure, informations diverses...) demandez à une personne ressource.

Une fois que votre protocole est complet, appelez votre enseignant, et imprimez deux fois votre travail.

MATÉRIEL À VOTRE DISPOSITION

Un robot manipulateur

- ◆ Le robot possède deux aiguilles pour manipuler les liquides : une aiguille dédiée à l'eau et une aiguille de prélèvement pour les autres solutions.
- ◆ Pour chaque manipulation, le robot dispose de 12 tubes propres et secs pouvant contenir jusqu'à 5 mL de solution.

Un spectrophotomètre :

- ◆ La gamme de mesure couvre les spectres UV et visible.

- ◆ La technologie du spectrophotomètre est monofaisceau et il est donc nécessaire d'enregistrer un spectre de référence avant de faire des mesures.
- ◆ La cuve en quartz a un trajet optique de 1 cm et elle nécessite un volume de 2 mL de solution pour effectuer une mesure.

Divers produits chimiques, dont une solution aqueuse de colorant E124

- ◆ La concentration de la solution mère de colorant est de $5 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$.
- ◆ Le E124 absorbe de la lumière dans le domaine du visible.
- ◆ À la longueur d'onde d'absorbance maximum λ_{Amax} , l'ordre de grandeur de ϵ (coefficient d'absorption molaire) est $10^4 \text{ L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$.
- ◆ L'absorbance des solutions de la gamme étalon suit la loi de Beer-Lambert tant que les valeurs d'absorbance ne dépassent pas 1,5.

Vous retrouverez toutes ces informations, et d'autres dans la partie « Cours » du logiciel Educ@ffix.net.

Vous avez fini :

Avez-vous pensé à faire les deux impressions ?

Annexe 2

Protocole type pour le dosage de sirop de grenadine

Étape 1 - Produits sélectionnés

- ◆ Eau ; fiche sécurité consultée
- ◆ E124 ; fiche sécurité consultée
- ◆ Sirop de grenadine

Étape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon

- ◆ Je rince le matériel : **aiguille** avec la solution : **E124**.
- ◆ Pour préparer la solution **sol_1**, je prélève avec l'aiguille **0,2 mL** de E124, et j'ajuste à **2 mL** avec le solvant : **eau**.
- ◆ J'homogénéise la solution : **sol_1**.
- ◆ Je rince le matériel : **aiguille** avec la solution : **E124**.
- ◆ Pour préparer la solution **sol_2**, je prélève avec l'aiguille **0,35 mL** de E124, et j'ajuste à **2 mL** avec le solvant : **eau**.
- ◆ J'homogénéise la solution : **sol_2**.
- ◆ Je rince le matériel : **aiguille** avec la solution : **E124**.
- ◆ Pour préparer la solution **sol_3**, je prélève avec l'aiguille **0,55 mL** de E124, et j'ajuste à **2 mL** avec le solvant : **eau**.
- ◆ J'homogénéise la solution : **sol_3**.

Étape 3 - Obtention des points de la courbe étalon

- ◆ Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **eau**.
- ◆ Je remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : **eau**.
J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.
- ◆ Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **sol_1**.
- ◆ Je réalise un spectre entre **350 nm** et **800 nm** sur la solution : **sol_1**.
Ici il est nécessaire d'avoir un premier retour expérimental : maximum d'absorbance = 508 nm
- ◆ Je prends une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **sol_1**.
- ◆ Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **sol_2**.
- ◆ Je prends une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **sol_2**.
- ◆ Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **sol_3**.
- ◆ Je prends une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **sol_3**.

Étape 4 - Préparation des solutions à partir du sirop de grenadine

Ici il est nécessaire d'avoir un deuxième retour expérimental : intensité de la coloration du sirop de grenadine par rapport aux intensités de coloration des solutions de la gamme étalon.

- ◆ Je rince le matériel : **aiguille** avec la solution : **sirop de grenadine**.
- ◆ Pour préparer la solution **grenadine-diluée**, je prélève avec l'aiguille **0,3 mL** de sirop de grenadine, et j'ajuste à **3 mL** avec le solvant : **eau**.
- ◆ J'homogénéise la solution : **grenadine-diluée**.

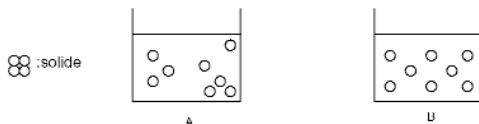
Étape 5 - Mesure(s) servant à obtenir la concentration en E124 du sirop de grenadine

- ◆ Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **grenadine-diluée**.
- ◆ Je prends une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **grenadine-diluée**

Annexe 3

Extrait du prétest et posttest qui concerne les liens entre connaissances

Question 1 (Q1) : Quelle est la solution homogène ?



- Réponse :
- A
 - B
 - ne sait pas

Comment passe-t-on de l'une à l'autre ? _____

Question 2 : Si on triple le volume d'une solution, qu'advientra-t-il de sa concentration ?

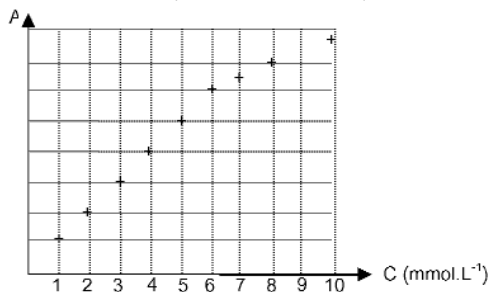
- a. elle sera le triple de la concentration initiale vrai faux
- b. elle sera identique vrai faux
- c. elle sera le tiers de la concentration initiale vrai faux
- d. ne sait pas

Question 3 : On va diluer une solution aqueuse de KMnO_4 avec l'eau. On dispose d'une pipette, d'une fiole jaugée et d'un bécher. La solution de KMnO_4 se trouve dans un bécher et on va réaliser la dilution dans une fiole jaugée avec l'aide d'une pipette.

Avec quel liquide doit-on rincer :

- a. la pipette ? _____ ne sait pas
- b. la fiole jaugée ? _____ ne sait pas

Question 4 : Hachurez, sur l'axe des abscisses, le domaine de concentration où la loi de Beer-Lambert s'applique.



Courbe d'étalonnage spectrophotométrique

ne sait pas

Question 5 : On dispose d'une solution aqueuse constituée de KMnO_4 à $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$, de CoCl_2 à $4 \cdot 10^{-6} \text{ mol.L}^{-1}$ et de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ de concentration inconnue. Quelle doit être la composition de la solution de référence (blanc du spectro), afin que l'appareil mesure uniquement l'absorbance de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ dans le mélange ?

Réponse : ne sait pas

Question 6 : On prépare une solution de 400 mL de diiode à partir de 12 mmol de cristaux de diiode. Quelle est la concentration molaire de la solution de diiode ?

Réponse : ne sait pas

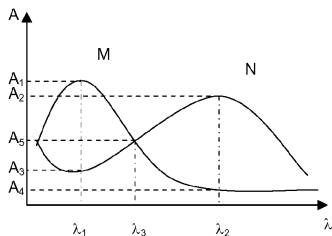
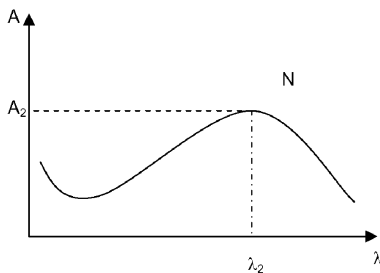
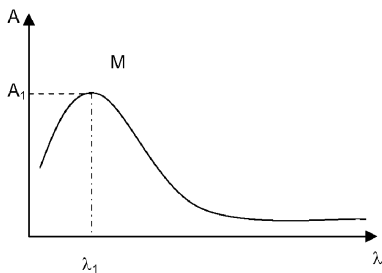
Question 7 : Qu'est-ce qu'une solution homogène ?

Réponse :

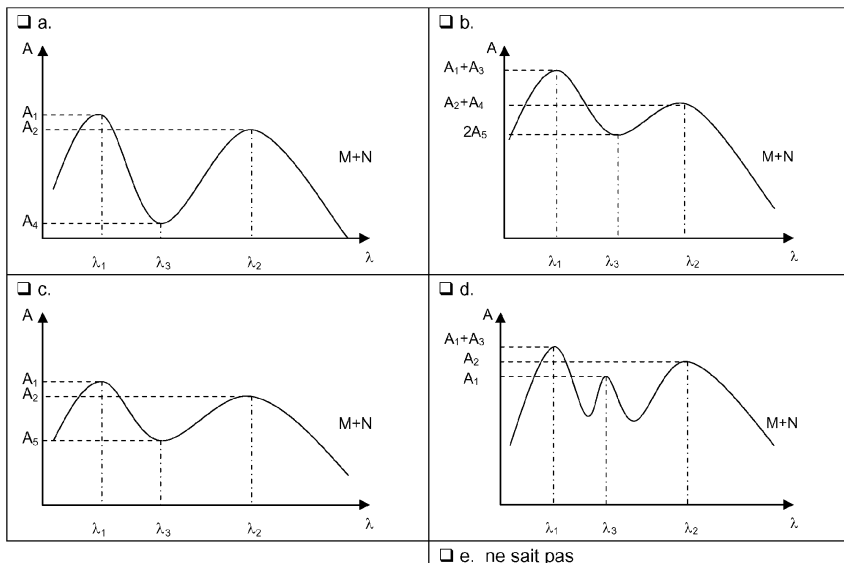
Question 8 : La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée :

- | | | | |
|--|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------------|
| a. dépend de l'épaisseur de la solution traversée | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| b. dépend de la concentration molaire de la solution | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| c. dépend de la température | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| d. dépend de la longueur d'onde | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| e. dépend de l'espèce chimique | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| f. se mesure avec un conductimètre | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| g. se mesure avec un spectrophotomètre | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| h. a pour unité $L^{-1}.mol.m^{-1}$ | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| i. a pour unité $L^{-1}.mol.cm^{-1}$ | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| j. est une grandeur sans unité | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |
| k. est inversement proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante | <input type="checkbox"/> vrai | <input type="checkbox"/> faux | <input type="checkbox"/> ne sait pas |

Question 9 : On dispose de 2 solutions colorées M et N. Les deux solutions donnent le spectre d'absorbance ci-dessous et sont préparées dans un même solvant. On mélange les deux solutions mais il n'y a aucune interaction entre les deux espèces. Quel est le spectre du mélange des solutions M et N ? Cochez une des cases a, b, c, d ou e.



Le graphe ci-contre est obtenu par la superposition des spectres de M et de N. Les valeurs données se trouvent dans les 4 graphes proposés



Annexe 4

Principales fonctionnalités de l'interface

Les onglets permettent d'accéder à différentes tâches : construire le protocole, consulter le cours ou voir la paillasse

Les étapes du cahier de laboratoire se complètent au fur et à mesure de la sélection des différentes actions

Pour revenir à la page d'accueil et consulter la consigne du TP

Boutons permettant de sélectionner un type d'action à réaliser : sélectionner un produit, consulter sa fiche de sécurité, préparer une solution, enregistrer un spectre...

Boutons permettant de déplacer, modifier ou supprimer une action sélectionnée dans le cahier de laboratoire

Bouton permettant d'obtenir des informations sur l'avancée du travail

Sélection de l'étape du protocole dans laquelle l'action sera insérée