



**HAL**  
open science

**Etude didactique d'une activité de conception de  
protocole expérimental en chimie, supportée par un  
environnement informatique dédié. Etude de cas  
d'Educ@ffix.net**

Mustafa Ergun

► **To cite this version:**

Mustafa Ergun. Etude didactique d'une activité de conception de protocole expérimental en chimie, supportée par un environnement informatique dédié. Etude de cas d'Educ@ffix.net. Education. Université Joseph-Fourier - Grenoble I, 2006. Français. NNT: . tel-00268010

**HAL Id: tel-00268010**

**<https://theses.hal.science/tel-00268010>**

Submitted on 31 Mar 2008

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# UNIVERSITE JOSEPH FOURIER - GRENOBLE 1

U. F. R. INFORMATIQUE ET MATHEMATIQUES APPLIQUEES

*N° attribué par la bibliothèque*

--	--	--	--	--	--	--	--

THESE

pour obtenir le grade de

**DOCTEUR DE L'UNIVERSITE GRENOBLE 1**

(arrêtés ministériels du 5 juillet 1984 et du 30 mars 1992)

Discipline : Environnement Informatique d'Apprentissage Humain et Didactique

**Spécialité : Didactique de la Chimie**

Présentée et soutenue publiquement par

**Mustafa ERGUN**

Le 6 Juin 2006

---

Etude didactique d'une activité de conception de protocole  
expérimental en chimie, supportée par un environnement  
informatique dédié

*Etude de cas d'Educ@ffix.net*

---

**Composition du jury :**

**BETTEGA** Herminia, Maître de Conférences Université de Grenoble 1, *Directrice*

**DUFAYARD** Jean, Professeur IUFM de Grenoble, *Examinateur*

**DUMON** Alain, Professeur Université de Bordeaux, *Rapporteur*

**GIRAULT** Isabelle, Maître de Conférences Université de Grenoble 1, *Directrice*

**LE MARECHAL** Jean-François, Maître de Conférences ENS de Lyon, *Rapporteur*

**LEPRETRE** Jean-Claude, Professeur de l'Université Grenoble 1, *Président du jury*

---

Thèse préparée au sein de l'équipe Sciences Expérimentales, EIAH et Didactique (SEED),  
Laboratoire LEIBNIZ-IMAG













## SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>3</b>
<b>CHAPITRE 1. CARTE CONCEPTUELLE.....</b>	<b>9</b>
1.1. Qu'est-ce qu'une carte conceptuelle ? .....	9
1.2. A quoi servent les cartes conceptuelles ? .....	10
1.3. Carte conceptuelle élaborée pour répondre à un problème spécifique.....	11
1.4. Définition des connaissances théoriques et procédurales dans la littérature.....	13
1.5. Définition des connaissances théoriques et procédurales dans notre étude .....	15
1.6. Quels sont les connaissances choisies pour notre étude? .....	16
1.6.1. Connaissances théoriques.....	16
1.6.2. Connaissances procédurales .....	17
<b>CHAPITRE 2. ASPECTS THEORIQUES DES CONCEPTS EN JEU .....</b>	<b>19</b>
2.1. Absorption de lumière .....	19
2.2. Loi de Beer-Lambert .....	20
2.3. Additivité de la loi de Beer-Lambert.....	23
2.4. Dosages par spectrophotométrie .....	24
<b>CHAPITRE 3. ANALYSE DES CONTENUS.....</b>	<b>28</b>
3.1. Analyse des programmes officiels .....	28
3.1.1. Connaissances de chimie.....	28
3.1.2. Compétences expérimentales .....	32
3.2. Analyse des manuels .....	32
3.2.1. Seconde .....	33
3.2.2. Terminale .....	34
<b>CHAPITRE 4. Educ@ffix.net .....</b>	<b>37</b>
4.1. Qu'est-ce qu' <i>Educ@ffix.net</i> ? .....	37
4.2. Quel type de travail implanté dans <i>Educ@ffix.net</i> ? .....	37
4.3. Quelles sont les contraintes liées au système <i>Educ@ffix.net</i> ? .....	38
4.4. Comment construit-on le protocole expérimental dans <i>Educ@ffix.net</i> ? .....	40
4.5. Le tuteur artificiel dans <i>Educ@ffix.net</i> .....	41
4.6. Interface du logiciel <i>Educ@ffix.net</i> .....	42

<b>CHAPITRE 5. PROBLEMATIQUE : QUESTIONS, HYPOTHESES, CADRE THEORIQUE .....</b>	<b>49</b>
5.1. Contexte dans lequel se situe ce travail.....	49
5.2. Particularité de notre recherche.....	50
5.3. Qu'est-ce qu'une activité expérimentale ?.....	52
5.3.1. Quels sont les objectifs d'apprentissage dans les travaux pratiques ? .....	54
5.3.2. Quel type de TP ? .....	56
5.4. Démarche expérimentale.....	60
5.5. La construction d'un protocole expérimental.....	63
5.6. L'utilisation d'EIAH dans l'enseignement expérimental en chimie.....	66
5.6.1. Qu'est-ce qu'un EIAH ?.....	66
5.6.2. Différents types d'EIAH .....	69
5.6.3. Quand et comment peut-on évaluer un EIAH ? .....	71
5.7. Contrat didactique .....	74
5.8. Conceptions.....	76
<b>CHAPITRE 6. METHODOLOGIE .....</b>	<b>83</b>
6.1. Organisation de l'expérimentation .....	83
6.1.1. Les différentes phases de l'expérimentation .....	84
6.1.2. Le choix des méthodes de recueil de données.....	84
6.2. Enquête auprès des élèves .....	85
6.2.1. Nature de l'échantillon .....	85
6.2.2. Caractéristique du pré-test et post-test .....	85
6.2.3. Condition de passation du questionnaire.....	86
6.3. Expérimentation avec le logiciel .....	87
6.4. Enquête auprès des enseignants .....	88
6.5. Analyse des données .....	89
<b>CHAPITRE 7. ANALYSE A PRIORI .....</b>	<b>91</b>
7.1. Analyse <i>a priori</i> du questionnaire.....	91
7.1.1. Connaissances théoriques.....	91
7.1.2. Connaissances procédurales .....	97
7.2. Analyse <i>a priori</i> de l'entretien .....	103
7.3. Analyse <i>a priori</i> de l'expérimentation .....	104
7.3.1. Les difficultés à rencontrer.....	105
7.3.2. Les stratégies à suivre .....	112

7.3.3. Le rôle à attribuer au tuteur .....	113
7.3.4. Analyse a priori de la construction des connaissances procédurales .....	114
<b>CHAPITRE 8. RESULTATS SUR LES DIFFICULTES RENCONTREES .....</b>	<b>123</b>
8.1. Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ? .....	124
8.1.1. Difficultés liées à la notion du rinçage .....	124
8.1.2. Difficultés liées à la notion d'homogénéisation .....	135
8.1.3. Difficultés liées à la spectrophotométrie .....	138
8.1.4. Difficulté liée à la façon de diluer la solution mère .....	146
8.1.5. Difficulté liée à la sécurité en chimie .....	148
8.1.6. Difficultés liées à l'ergonomie de l'interface .....	149
Conclusion.....	153
8.2. Quelles sont les stratégies suivies par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ? .....	155
8.2.1. Les choix opérés liés à la préparation des solutions de la gamme étalon .....	155
8.2.2. Les choix opérés liés à la mesure des absorbances des solutions préparées .....	156
8.3. Quelle utilisation du tuteur est faite par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ? .....	158
8.3.1. Comment les élèves utilisent-ils le bouton « évaluer » dans leur travail ? .....	158
8.3.2. Que font les élèves après l'intervention du tuteur ? .....	161
<b>CHAPITRE 9. RESULTATS SUR L'APPRENTISSAGE .....</b>	<b>164</b>
9.1. Quelles sont les connaissances théoriques des élèves sur les notions en jeu et leurs évolutions ? .....	164
I. Résultat Global.....	164
II. Résultats Détaillés .....	167
9.1.1. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T1 .....	167
9.1.2. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T2.....	168
9.1.3. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T3.....	171
9.1.4. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T4.....	172
9.1.5. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T5.....	174
9.1.6. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T6.....	177
9.1.7. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T7.....	178
III. Conclusion.....	180



9.2. Quelles sont les connaissances procédurales des élèves sur les notions en jeu, leurs évolutions et leurs constructions ? .....	180
I. Résultat Global.....	181
II. Résultats Détaillés .....	184
9.2.1. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P1 .....	184
9.2.2. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P2 .....	190
9.2.3. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P3 .....	192
9.2.4. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P4 .....	201
9.2.5. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P5 .....	203
9.2.6. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P6 .....	209
III. Conclusion.....	218
<b>CHAPITRE 10. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES.....</b>	<b>223</b>
<b>Bibliographie.....</b>	<b>229</b>
<b>Annexe A. Questionnaire (pré et post-test).....</b>	<b>244</b>
<b>Annexe B. Consigne de l'expérimentation dans le logiciel Educ@ffix.net.....</b>	<b>257</b>
<b>Annexe C. Le cours dans le logiciel Educ@ffix.net.....</b>	<b>259</b>
<b>Annexe D. Interface du logiciel Edu@ffix.net .....</b>	<b>281</b>
<b>Annexe E. Protocole construit par un expert afin de répondre à la question posée dans le logiciel.....</b>	<b>283</b>
<b>Annexe F. Manuel de Terminale S (édition HATIER) .....</b>	<b>284</b>

## Liste des figures

<i>Figure 1 : Carte conceptuelle élaboré par d'Ham et al. (2004)</i> .....	11
<i>Figure 2 : Domaines et caractéristiques des ondes électromagnétiques</i> .....	19
<i>Figure 3 : Intensité I et flux lumineux <math>\Phi</math></i> .....	21
<i>Figure 4 : Une longueur d'onde <math>\lambda</math> qui traverse une solution colorée</i> .....	21
<i>Figure 5 : L'absorbance de la lumière par un matériau homogène</i> .....	22
<i>Figure 6 : Domaine de validité de la loi de Beer-Lambert</i> .....	23
<i>Figure 7 : Schéma du principe d'un spectrophotomètre mono-faisceau</i> .....	24
<i>Figure 8 : Spectre d'un produit chimique entre 200 et 700 nm</i> .....	25
<i>Figure 9 : Courbe étalon l'absorbance en fonction de la concentration</i> .....	26
<i>Figure 10 : Différentes présentations des courbes étalons dans le manuel</i> .....	34
<i>Figure 11 : Représentations schématiques de l'additivité des absorbances dans le manuel</i> .....	35
<i>Figure 12 : Le déroulement du TP dans le système Educ@ffix.net</i> .....	38
<i>Figure 13 : Le spectrophotomètre et le robot diluteur dans le système Educ@ffix.net</i> .....	39
<i>Figure 14 : Les aiguilles du robot</i> .....	39
<i>Figure 15 : Trois niveaux de rétroaction donnés par le tuteur artificiel</i> .....	42
<i>Figure 16 : Interface du logiciel Educ@ffix.net pour construire le protocole expérimental</i> .....	43
<i>Figure 17 : Boîtes de dialogue utilisées pour définir les actions « Préparer une solution par dilution » et « Réaliser un spectre »</i> .....	44
<i>Figure 18 : La fenêtre dans l'onglet paillasse du logiciel</i> .....	45
<i>Figure 19 : Les étapes principales de la démarche expérimentale dans le cadre de la construction de savoir ...</i>	63
<i>Figure 20 : Les taux de réussite de l'utilisation d'une connaissance procédurale par l'élève lors de notre expérimentation</i> .....	114
<i>Figure 21 : Copie de brouillons des élèves qui ont pris en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert</i> .....	140
<i>Figure 22 : Les images employées dans Educ@ffix.net pour deux actions</i> .....	151
<i>Figure 23 : Graphiques employés pour caractériser l'évolution des connaissances théoriques</i> .....	165
<i>Figure 24 : Quelques types de graphiques rencontrés lors de l'analyse de l'évolution de connaissances procédurales</i> .....	182

## Liste des tableaux

<i>Tableau 1 : Extrait du programme officiel de Seconde.....</i>	<i>29</i>
<i>Tableau 2 : Extrait du programme officiel de Terminale S.....</i>	<i>31</i>
<i>Tableau 3 : Actions à choisir et paramètres à spécifier pour construire un protocole dans Educ@ffix.net .....</i>	<i>40</i>
<i>Tableau 4 : Plan du cours accessible dans Educ@ffix.net .....</i>	<i>44</i>
<i>Tableau 5 : Classification des objectifs d'apprentissage dans les TP (Tiberghien et al. 2001) .....</i>	<i>55</i>
<i>Tableau 6 : Description des modèles employés au laboratoire dans l'enseignement de la chimie (Domin, 1999) .....</i>	<i>57</i>
<i>Tableau 7 : Catégorisation des systèmes pour l'enseignement expérimental à distance (Trgalová, 2003).....</i>	<i>70</i>
<i>Tableau 8 : Fiche d'observation utilisée pour l'expérimentation avec Educ@ffix.net.....</i>	<i>87</i>
<i>Tableau 9 : Questions, réponses attendues pour l'entretien auprès des enseignants .....</i>	<i>104</i>
<i>Tableau 10 : Les sous-tâches du problème posé avec ses pondérations dans le protocole élaboré .....</i>	<i>105</i>
<i>Tableau 11 : Conceptions attendues liées aux concepts mis en jeu avec ses indicateurs .....</i>	<i>108</i>
<i>Tableau 12 : Difficultés attendues liées au contrat didactique avec ses indicateurs .....</i>	<i>109</i>
<i>Tableau 13 : Difficultés attendues liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation avec ses indicateurs .....</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 14 : Difficultés attendues liées à l'ergonomie de l'interface avec ses indicateurs.....</i>	<i>111</i>
<i>Tableau 15 : Stratégies attendues liées à la préparation des solutions avec ses corpus .....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 16 : Stratégies attendues liées à la mesure des absorbances avec ses corpus .....</i>	<i>113</i>
<i>Tableau 17 : Indicateurs de réussite de P1 dans chaque étape de l'expérimentation .....</i>	<i>115</i>
<i>Tableau 18 : Indicateurs de réussite de P3 dans chaque étape de l'expérimentation .....</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 19 : Indicateurs de réussite de P4 dans chaque étape de l'expérimentation .....</i>	<i>117</i>
<i>Tableau 20 : Indicateurs de réussite de P5 dans chaque étape de l'expérimentation .....</i>	<i>118</i>
<i>Tableau 21 : Indicateurs de réussite de P6 dans chaque étape de l'expérimentation .....</i>	<i>119</i>
<i>Tableau 22 : Indicateurs de la verbalisation de la construction des connaissances procédurales .....</i>	<i>120</i>
<i>Tableau 23 : Résultats de réussite pour chaque étape du TP réalisée par des élèves dans le système Educ@ffix.net (B1 à B5 correspondent à 5 binômes ayant 5 types de profils différents) .....</i>	<i>123</i>
<i>Tableau 24 : Exemple d'un binôme qui utilise le bouton « évaluer » très fréquemment .....</i>	<i>159</i>
<i>Tableau 25 : Utilisation du bouton « évaluer » par les élèves.....</i>	<i>160</i>
<i>Tableau 26 : Opérations effectuées par les élèves lors de l'utilisation du logiciel Educ@ffix.net .....</i>	<i>161</i>
<i>Tableau 27 : Opérations effectuées par les élèves après l'intervention du tuteur dans le logiciel Educ@ffix.net .....</i>	<i>162</i>
<i>Tableau 28 : Réponses correctes des élèves aux questions QT1, QT2a, QT3, QT4b, QT5b, QT6, QT7 au pré-test et post-test.....</i>	<i>164</i>
<i>Tableau 29 : Evolution de chaque connaissance théorique entre les pré et post-tests .....</i>	<i>166</i>
<i>Tableau 30 : Réponses des élèves à la question sur la concentration molaire (QT1) au pré et post-test.....</i>	<i>167</i>
<i>Tableau 31 : Catégorisation des réponses à la question QT2 .....</i>	<i>169</i>
<i>Tableau 32 : Réponses des élèves à la question sur l'homogénéité (QT2) au pré et post-test.....</i>	<i>169</i>
<i>Tableau 33 : Réponses des élèves à la question sur l'homogénéisation (QP1) au pré et post-test.....</i>	<i>170</i>
<i>Tableau 34 : Réponses des élèves à la question sur la longueur d'onde (QT3) au pré et post-test.....</i>	<i>171</i>
<i>Tableau 35 : Réponses des élèves à la question sur le spectre d'absorbance (QT4a) au pré et post-test .....</i>	<i>172</i>

<i>Tableau 36 : Réponses des élèves à la question sur le spectre d'absorbance (QT4b) au pré et post-test</i> .....	173
<i>Tableau 37 : Réponses des élèves à la question sur la loi de Beer-Lambert (QT5a) au pré et post-test</i> .....	175
<i>Tableau 38 : Réponses des élèves à la question sur la loi de Beer-Lambert (QT5b) au pré et post-test</i> .....	176
<i>Tableau 39 : Réponses des élèves à la question sur la loi de Beer-Lambert (QT5c) au pré-test</i> .....	176
<i>Tableau 40 : Réponses des élèves à la question sur l'additivité des absorbances (QT6) au pré et post-test</i> .....	178
<i>Tableau 41 : Réponses des élèves à la question sur l'absorbance (QT7) au pré et post-test</i> .....	179
<i>Tableau 42 : Evolution de connaissances procédurales selon les résultats du questionnaire (comparaison C1)</i> .....	181
<i>Tableau 43 : Evolution des connaissances procédurales chez les élèves (49 élèves au total) selon le graphique suivi</i> .....	183
<i>Tableau 44 : Réponses des élèves à la question sur homogénéisation (QP1) au pré et post-test</i> .....	184
<i>Tableau 45 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P1 (homogénéisation) à la fois entre les pré et post-tests et lors de l'expérimentation avec le logiciel</i> .....	185
<i>Tableau 46 : Réponses des élèves à la question sur la dilution (QP2a) au pré et post-test</i> .....	191
<i>Tableau 47 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P2 (dilution) à la fois lors de l'expérimentation avec le logiciel et entre les pré et post-tests</i> .....	191
<i>Tableau 48 : Réponses des élèves à la question sur le rinçage (QP3) au pré et post-test</i> .....	192
<i>Tableau 49 : Réponses des élèves à la question sur le rinçage (QP3) au pré et post-test</i> .....	193
<i>Tableau 50 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P3 (rinçage) à la fois entre les pré et post-tests et lors de l'expérimentation avec le logiciel</i> .....	193
<i>Tableau 51 : Réponses des élèves à la question sur le domaine de concentration (QP4) au pré et post-test</i> .....	201
<i>Tableau 52 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P4 (domaine de concentration) à la fois lors de l'expérimentation avec le logiciel et entre les pré et post-tests</i> .....	202
<i>Tableau 53 : Réponses des élèves à la question sur la solution de référence (QP5) au pré et post-test</i> .....	203
<i>Tableau 54 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P5 (solution de référence) à la fois entre les pré et post-tests et lors de l'expérimentation avec le logiciel</i> .....	204
<i>Tableau 55 : Réponses des élèves à la question Q6a pour la lettre X au pré et post-test</i> .....	210
<i>Tableau 56 : Réponses des élèves à la question Q6a pour la lettre Y au pré et post-test</i> .....	210
<i>Tableau 57 : Réponses des élèves à la question sur le choix de la longueur d'onde de mesure (Q6b) au post-test pour le produit 2</i> .....	211
<i>Tableau 58 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P6 (choisir longueur d'onde) à la fois entre les pré et post-tests (QP6a) et lors de l'expérimentation avec le logiciel</i> .....	212



# INTRODUCTION GENERALE



# INTRODUCTION

L'activité expérimentale dans le cadre de l'enseignement des sciences expérimentales est un support indiscutable pour l'apprentissage. Dans le domaine des sciences expérimentales, nous utilisons un terme unique comprenant l'expérience scientifique réalisée à la fois par les enseignants et les apprenants, celui de travaux pratiques (TP). Les TP constituent la base de la formation expérimentale des étudiants de physique, chimie et sciences de la vie et de la terre. Comme l'enquête réalisée avec des physiciens au niveau universitaire le montre, les travaux pratiques sont indispensables pour la formation des étudiants et parmi 400 physiciens, peu d'entre eux envisagent un enseignement expérimental sans travaux pratiques (Bornarel 1991). De nombreux auteurs insistent sur l'importance d'une telle activité pour la construction de connaissance chez les apprenants notamment en chimie (Arce & Betancourt 1997, Séré 2002, Rollnick *et al.* 2001).

Le contenu des TP est lié à l'objectif d'apprentissage que les concepteurs de ceux-ci assignent. Il y a de nombreux objectifs d'apprentissage pour les TP (Kerr 1963, Kirschner & Meester 1988, Tiberghien *et al.* 2001), voire il y a trop d'objectifs associés pour une seule séance de TP (Séré 2002). La catégorisation des TP, notamment dans l'enseignement de la chimie (Domin 1999), permet de voir la relation entre l'objectif d'apprentissage assigné au TP et la manière d'aborder le concept étudié.

Les travaux pratiques, ayant une problématique ouverte par rapport au modèle traditionnel (recette de cuisine) dans le système éducatif français, suivent de façon générale la démarche expérimentale qui comprend différentes étapes telles qu'observer un phénomène, émettre une hypothèse, réaliser une expérimentation, interpréter des résultats. Ce qui nous intéresse dans cette démarche expérimentale c'est la conception du protocole expérimental par l'élève, avant de réaliser l'expérimentation. La conception d'un protocole expérimental dans une activité d'apprentissage correspond à une étape de réflexion qui peut aider à mobiliser l'ensemble des connaissances acquises et peut permettre aux apprenants de comprendre ce qu'ils font et pourquoi ils le font. Les compétences relatives à cette étape constituent des objectifs d'apprentissage de l'enseignement de la chimie au lycée et à l'université qui sont généralement négligés.

De nos jours, les TP sont de plus en plus souvent liés à l'utilisation de l'outil informatique, que ce soit pour le contrôle de la manipulation, pour le traitement des résultats, ou pour les rendre accessibles à distance. Dans notre travail, un environnement informatique pour l'apprentissage humain (EIAH) a été utilisé pour aider les élèves à structurer la tâche de conception d'un protocole d'expérience.

Nous avons évalué d'une part la capacité des élèves à concevoir un protocole expérimental cohérent par rapport au problème posé en chimie lorsque ces derniers utilisent un outil informatique dédié et d'autre part les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole avec cet EIAH.

La première partie, intitulée « concepts chimiques mis en jeu », concerne l'utilisation de différents concepts chimiques qui sont mis en jeu lors de la construction d'un protocole expérimental dans notre étude. Elle comporte quatre chapitres.

Dans le chapitre 1, intitulé « carte conceptuelle », nous abordons la notion de carte conceptuelle à travers la littérature que nous avons parcourue, puis nous présentons la carte conceptuelle que nous avons prise en compte dans notre étude et la manière dont nous l'avons mise en œuvre dans notre travail.



Au deuxième chapitre, nous présentons les aspects théoriques des concepts chimiques mis en jeu dans la résolution du problème posé.

Le troisième chapitre concerne l'analyse des contenus (programme officiel et manuel du lycée) des concepts chimiques que nous avons choisis à partir de la carte conceptuelle afin de connaître l'aspect officiel des concepts chimiques en tant qu'objet d'enseignement.

Dans le chapitre 4, nous présentons l'EIAH *Educ@ffix.net*, que nous avons mis en œuvre dans notre travail, de façon détaillée afin de montrer en quoi consiste cet EIAH et comment il fonctionne.

Dans la deuxième partie, intitulée « problématique, cadre théorique et méthodologie de recherche », nous décrivons notre problématique, notre questionnement et notre cadre théorique ainsi que la méthodologie que nous avons mise en place. Elle comporte trois chapitres.

Dans le chapitre 5, nous présentons la problématique de notre recherche avec le contexte dans lequel se situe notre travail. Puis nous présentons les questions que nous nous sommes posées dans notre étude ainsi que les hypothèses que nous avons formulées. Nous développons ensuite certains aspects des activités expérimentales et la place occupée par notre recherche dans l'enseignement des sciences expérimentales. Ceci comprend la démarche expérimentale avec la phase de construction d'un protocole expérimental, la place de l'environnement informatique dans les activités expérimentales notamment en chimie, la notion de contrat didactique ainsi que celle de conceptions.

Dans le chapitre 6, nous présentons la méthodologie que nous avons choisie pour notre travail.

Au septième chapitre, nous présentons nos analyses a priori.

La troisième partie, intitulée « résultats et discussions » concerne l'analyse des productions des élèves ainsi que l'expérimentation réalisée avec des élèves. Elle comporte deux chapitres.

Dans le chapitre 8, nous présentons les résultats sur la capacité des élèves à concevoir un protocole expérimental qui comprend les difficultés rencontrées par les élèves et les stratégies qu'ils ont suivi lors de la construction du protocole expérimental.

Au neuvième chapitre, nous présentons les résultats sur les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole expérimental.

Nos données brutes sont fournies en annexes telles que la transcription des enregistrements audio et vidéo des élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel et celle des enregistrements réalisés avec les enseignants.

En conclusion, nous dégagerons les principaux résultats pour la suite de ce travail.

## Organigramme de la thèse

### **Première Partie : Concepts chimiques mis en jeu**

- Chapitre 1 : Carte conceptuelle
- Chapitre 2 : Aspects théoriques des concepts mis en jeu
- Chapitre 3 : Analyse des contenus au lycée
- Chapitre 4 : *Educ@ffix.net*



### **Deuxième Partie : Problématique, cadre théorique et méthodologie de recherche**

- Chapitre 5 : Problématique et cadre théorique de recherche
- Chapitre 6 : Méthodologie de recherche
- Chapitre 7 : Analyse a priori



### **Troisième Partie : Résultats et discussion**

- Chapitre 8 : Résultats sur la capacité des élèves de Terminale S à concevoir un protocole expérimental et discussion
- Chapitre 9 : Résultats sur les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole expérimental et discussion



**Conclusion générale  
Perspectives**



PREMIERE PARTIE.  
CARTE CONCEPTUELLE, ASPECTS  
THEORIQUES DES CONCEPTS EN JEU,  
ANALYSE DES CONTENUS,  
EDUC@FFIX.NET



# CHAPITRE 1. CARTE CONCEPTUELLE

Dans notre étude nous nous intéressons à l'utilisation de différents concepts chimiques lors de la construction d'un protocole expérimental en chimie par les élèves. Nous présenterons, dans ce premier chapitre, la carte conceptuelle que nous avons prise en compte dans notre étude et qui permet de voir l'articulation des différents concepts à la fois théoriques et procéduraux lors de la résolution d'un problème posé : détermination de la concentration d'une substance par la méthode spectrophotométrique. Avant d'expliquer de façon détaillée cette carte conceptuelle élaborée par d'Ham et ses collaborateurs (d'Ham *et al.* 2004), nous aborderons d'abord la notion de carte conceptuelle à travers la littérature que nous avons parcourue et puis nous présenterons cette carte selon la manière dont nous l'avons mise en œuvre dans notre travail. Enfin nous expliquerons la catégorisation des connaissances telle que nous les avons prises en compte dans notre étude.

## 1.1. Qu'est-ce qu'une carte conceptuelle ?

Selon la définition de Novak et Gowin (1984), une carte conceptuelle ou « concept map » en langue anglaise est une représentation graphique d'une base de connaissances déclaratives ayant une organisation hiérarchique. Ils en donnent la définition suivante :

*« A concept map is a schematic device for representing a set of concept meanings embedded in a framework of propositions. »*

(p.15)

Les cartes conceptuelles sont des outils pour représenter des connaissances dans un domaine défini. Elles contiennent des concepts écrits dans des boîtes et des relations entre ces concepts. Les liens entre les concepts peuvent être décrits par un texte court et se terminer par une flèche qui donne le sens de la relation entre les concepts. La façon de représenter des concepts sur une carte dépend de chaque concepteur, de l'objectif et de la valeur de ce qu'il a envie de représenter.

Il n'existe aucune norme pour guider la construction des cartes conceptuelles mais il existe des recommandations pour la faire. En effet, c'est le concepteur de la carte qui définit la signification qu'il désire donner à un concept et qui établit ses relations avec les termes qui l'entourent. Des définitions peuvent aussi être employées pour préciser la signification des concepts (Tochon 1990). Afin de pouvoir lire des informations sur la carte conceptuelle, il est conseillé de ne pas dépasser une quarantaine de descripteurs par schéma fléché et recommandé d'employer au maximum vingt concepts dans une carte conceptuelle (Novak & Gowin 1984).

L'une des caractéristiques la plus visible des cartes conceptuelles est liée à la façon d'organiser des concepts. Les concepts les plus généraux se trouvent en haut de la carte et les concepts les plus spécifiques et moins généraux sont placés en dessous des précédents. Dans un domaine défini pour une connaissance, la structure hiérarchique dépend du contexte dans lequel cette connaissance est appliquée et considérée. Le niveau de connaissance considéré peut être vaste ou bien cibler une question précise. Ceci veut dire qu'il est possible de construire les cartes conceptuelles pour une question particulière à laquelle nous voulons répondre.

En ce qui concerne la préparation des cartes conceptuelles (Sherrat & Schlabach 1990, Wandersee 1992) nous pouvons dire qu'elle suit de façon générale les étapes suivantes : (1)

d'abord l'identification des concepts importants du domaine où la carte conceptuelle sera utilisée, (2) ensuite le classement de ces concepts dans l'ordre du plus général au plus spécifique et (3) enfin la mise en relation de l'ensemble et la compilation de la carte. Comme Novak et Gowin (1984) insistent sur le fait qu'il n'existe pas une seule représentation juste, plusieurs présentations sont possibles.

## 1.2. A quoi servent les cartes conceptuelles ?

L'utilisation des cartes conceptuelles comme une technique pour étudier les changements de la compréhension de concepts scientifiques chez les étudiants a été effectuée par Novak (Novak 1990). Selon lui, il s'agit d'un outil pour apprendre à apprendre. La littérature montre différentes utilisations des cartes conceptuelles dans l'enseignement.

Selon Tochon (1990), « la carte de concepts en science de l'éducation est la représentation sémantique de la mémoire déclarative (mémoire factuelle de stockage du long terme) ». Il envisage trois types de cartes : (1) celles créées par les élèves, (2) celles utilisées dans la recherche et (3) celles créées par un expert ou un enseignant. Parmi ces trois types de cartes, nous nous intéressons uniquement au dernier type de cartes conceptuelles dans notre étude.

L'utilisation des cartes conceptuelles dans la planification de curriculum est possible et cette manière d'utilisation permet aux élèves de rendre plus compréhensibles des concepts mis en jeu dans l'enseignement. Plusieurs travaux effectués par Novak (Bascones et Novak 1985, Novak 1991, Mintzes *et al.* 1998) ont montré que les étudiants ayant construit des cartes conceptuelles lorsqu'ils apprennent des concepts scientifiques peuvent être capable de mieux maîtriser le sujet dans l'apprentissage. Dans ce type d'utilisation, les cartes conceptuelles peuvent être un moyen d'explicitier ce que les apprenants connaissent sur un sujet avant de l'aborder dans la classe. Si les cartes sont conçues par l'enseignant, elles permettent à l'enseignant de décider clairement l'organisation des connaissances telles qu'il a envie de les aborder dans la classe et d'élaborer un plan de cours (Novak 1990). Ainsi elles permettent à l'apprenant de mieux connaître la structure du domaine où il va étudier.

L'utilisation des cartes conceptuelles comme un outil d'évaluation n'est pas nouvelle dans l'apprentissage (Novak & Gowin 1984, Novak, 1990, Mintzes *et al.* 2000). Ce type d'utilisation permet à l'apprenant de verbaliser ses connaissances sur un domaine spécifique et de faire connaître ses lacunes concernant les concepts concernés. Il permet à l'enseignant de mettre en évidence les connaissances antérieures des élèves et à faire émerger des conceptions des élèves (Beyerbach 1988). Elles permettent également de mettre en évidence les progrès réalisés par les apprenants après une activité d'apprentissage (Winitzky *et al.* 1994) et peuvent être utilisé comme un outil de synthèse qui permet de voir de façon explicite la relation des concepts mis en jeu.

La carte conceptuelle utilisée en recherche notamment en sciences de l'éducation et science cognitive, renseigne le chercheur sur la manière de penser de l'apprenant donne des informations sur sa pensée et ses relations internes entre les concepts concernés (Tochon 1990).

Les cartes conceptuelles peuvent permettre de mettre en évidence des écarts entre les connaissances des experts et celles des novices car ces derniers ne maîtrisent pas de la même façon les connaissances dans un domaine spécifique.

### 1.3. Carte conceptuelle élaborée pour répondre à un problème spécifique

Comme nous l'avons souligné à l'introduction de ce chapitre, nous nous intéressons à la construction du protocole expérimental par les élèves et aux concepts qui sont mis en jeu lors de cette construction. En effet, les concepts utilisés pour répondre à la question « comment déterminer la concentration d'une substance par la méthode spectrophotométrique » sont présentés sous la forme d'une carte conceptuelle par d'Ham *et al.* (2004). Soulignons que cette carte est conçue par un expert et correspond à la troisième catégorie de types de cartes envisagée par Tochon (1990). Elle est liée aux tâches à accomplir par les apprenants et ces tâches reposent sur des concepts que nous allons décrire. Dans notre étude nous nous référons à cette carte conceptuelle et nous nous concentrerons sur l'étude de 13 concepts parmi les 21 recensés (voir figure 1). Ce sont des concepts qui se trouvent à la frontière de chaque côté de deux types de savoirs (savoirs théoriques et savoirs procéduraux). De manière explicite, afin de répondre au problème posé l'apprenant doit diluer la solution mère du colorant, préparer une gamme étalon à partir d'une solution colorée de concentration connue, tracer la courbe étalon (absorbance en fonction des concentrations) pour une longueur d'onde de mesure et mesurer l'absorbance de la solution colorée de concentration inconnue.

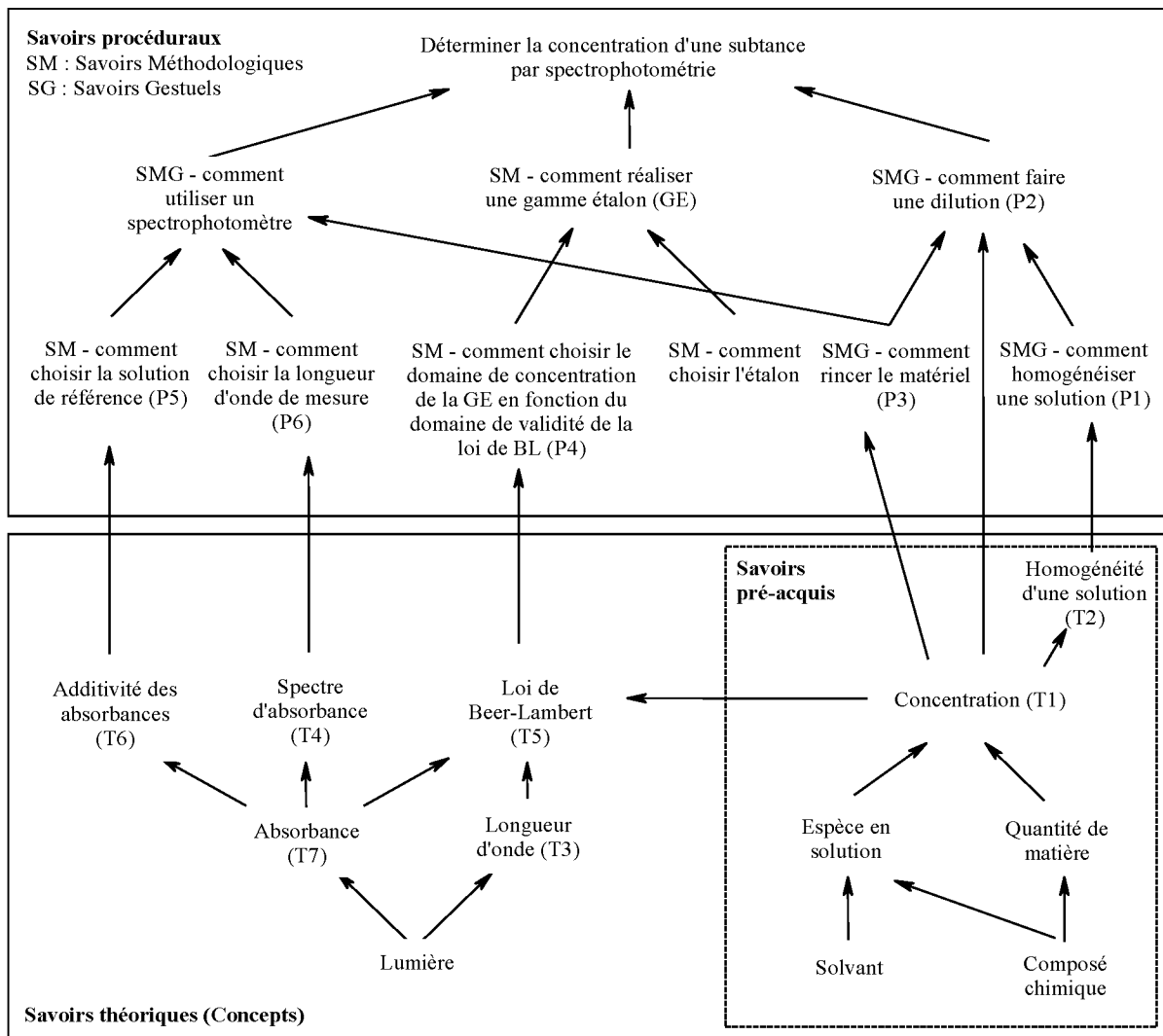


Figure 1 : Carte conceptuelle élaborée par d'Ham *et al.* (2004)



Cette carte conceptuelle comprend deux types de connaissances : (i) connaissances théoriques et (ii) connaissances procédurales. Les connaissances théoriques sont des connaissances déclaratives, descriptives et formalisées. Les connaissances procédurales sont des connaissances en actes, interviennent dans la résolution de problèmes et correspondent d'une part aux compétences physiques et d'autre part à la prise de décision méthodologique. L'apprenant doit maîtriser les différentes connaissances citées ci-dessus afin de mener à bien la tâche demandée qui consiste à construire un protocole cohérent permettant de répondre au problème scientifique posé : déterminer par spectrophotométrie la concentration d'E124 dans un sirop de grenadine.

En haut de la carte nous voyons la principale question posée en chimie. La réponse à cette question nécessite et doit prendre en compte les trois sous-tâches suivantes qui sont des savoirs méthodologiques (SM) et gestuels (SMG) : (1) comment utiliser un spectrophotomètre (SMG), (2) comment réaliser une gamme étalon (SM) et (3) comment faire une dilution (SMG).

Il faut noter que les savoirs gestuels n'interviennent que lors de l'exécution du protocole de manipulation. Alors que pour la tâche de conception du protocole, seuls les connaissances théoriques et méthodologiques sont mises en œuvre. Par exemple, les notions du rinçage et d'homogénéisation sont des connaissances procédurales qui comprennent d'une part un savoir-faire théorique au niveau méthodologique et d'autre part un savoir-faire expérimental au niveau gestuel.

L'utilisation d'un spectrophotomètre au niveau des connaissances procédurales nécessite de savoir d'une part comment choisir la solution de référence et d'autre part comment choisir la longueur d'onde de mesure. Comme cette carte conceptuelle les décrit, ces connaissances méthodologiques s'appuient sur les connaissances théoriques. Afin de choisir la solution de référence, il est nécessaire de connaître la notion d'absorbance et d'additivité des absorbances. En ce qui concerne le choix de la longueur d'onde de mesure, il est nécessaire de connaître la notion d'absorbance et de spectre d'absorbance. Pour réaliser une gamme étalon à une longueur d'onde de travail, il est nécessaire de savoir comment choisir l'étalon et le domaine de concentration de cette gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. Dans ce cas, la théorie de la loi de Beer-Lambert joue un rôle important car cette gamme étalon est liée à la loi de Beer-Lambert. La dilution de la solution mère et la préparation des solutions filles sont importantes lors de la résolution du problème posé ci-dessus car ces dilutions permettent d'obtenir différentes concentrations pour la gamme étalon. Lors de ces préparations les savoirs méthodologiques et gestuelles (rinçage du matériel et homogénéisation de solution) s'appuient sur les connaissances théoriques (la notion de concentration, d'homogénéité de la solution).

Nous soulignons que les flèches, dans cette carte, indiquent qu'une connaissance est pré-requise par rapport à une autre connaissance. Quant aux liens entre les concepts dans cette carte conceptuelle, nous pouvons donner un exemple afin de montrer comment articulent les savoirs dans cette carte entre eux. Par exemple, afin de déterminer la concentration d'une substance par spectrophotomètre, il est nécessaire de préparer des solutions par dilution (P2), lors de cette dilution il faut rincer le matériel avec la solution adéquate (P3) afin de ne pas contaminer la concentration (T1) de la solution prélevée.

En abordant cette carte conceptuelle, il nous a paru nécessaire de définir les notions « *connaissance procédurale* », « *connaissance théorique* » et d'expliquer ce que nous mettons derrière ces deux termes.

## 1.4. Définition des connaissances théoriques et procédurales dans la littérature

Dans les différentes littératures, nous trouvons beaucoup de définitions concernant ces deux notions. Avant de parler de la notion de connaissance, il est nécessaire de différencier la notion de savoir avec celle de connaissance. Le savoir est un concept plus générale, plus englobant. Le concept de savoir est un concept accepté par la communauté scientifique. La connaissance est un rapport privé (personnel) au savoir. Dans notre travail, le savoir est l'ensemble des connaissances acquises par l'apprentissage.

Il existe différents types de typologie concernant les savoirs. Malglaive (1990) propose une typologie des savoirs. Son critère de catégorisation est la dichotomie entre théorie et la pratique. Il distingue quatre catégories : savoirs théoriques, savoirs procéduraux, savoirs pratiques et savoir-faire. Les savoirs théoriques sont, pour lui, les lois et concepts axiomatisés et s'exprimant sur le mode conceptuel. Les savoirs procéduraux sont des savoirs rationnels sur les opérations formelles de la pensée. Les savoirs pratiques sont des savoirs pragmatiques, construits dans l'action en vue de son efficacité, sous l'entière dépendance des procédures. Les savoir-faire sont évolutifs avec des phases d'apprentissage, de constitution de routines, d'habitudes jusqu'à l'expertise. Ce sont des savoirs fondés sur l'action qui rendent compte des phénomènes matériels et symboliques sans mobiliser la rationalité.

En se référant aux travaux de Malglaive, Le Boterf (1994) distingue les savoirs (savoirs théoriques et savoirs procéduraux) et les savoir-faire (savoir-faire procéduraux, savoir-faire expérientiels, savoir-faire sociaux). Les savoirs théoriques visent à comprendre un objet, un phénomène, une situation, une organisation, un processus. Les savoirs procéduraux visent à prescrire « comment il faut faire », « comment s'y prendre pour ». Ils permettent de disposer de règles pour agir. Les savoirs opératifs sont décrits en vue d'une action à réaliser. Les savoir-faire procéduraux sont mis en mémoire après expérimentation. Le savoir-faire expérientiel est un savoir issu de l'action (de la pratique). Il comprend les leçons tirées de l'expérience pratique. C'est le savoir de l'acteur, celui qui ne peut être produit qu'en agissant.

En ce qui concerne la typologie des connaissances, dans la littérature de psychologie cognitive, il existe trois catégories de connaissances. Elles sont les connaissances déclaratives, procédurales et conditionnelles (Tardif 1992).

*« Les connaissances déclaratives sont des connaissances théoriques. Ces connaissances sont constituées de faits, de règles, de lois et de principes (...) Elles sont donc plutôt statiques et doivent, pour permettre l'action, être traduites en connaissances procédurales ou conditionnelles pour permettre les actions pédagogiques (...) Exemple : la définition d'un quadrilatère, la description des caractéristiques des vertébrés, la connaissance des tables de multiplication.*

*Les connaissances procédurales sont assimilées au savoir-faire. Elles correspondent aux étapes pour réaliser une action. Il s'agit donc de connaissances dynamiques puisqu'elles placent l'apprenant dans la réalisation d'une démarche. Elles sont essentiellement des processus d'actions (...) Exemple : résoudre une série de problème de multiplication, réaliser une expérience en science de la nature, faire un plan de travail.*

*Les connaissances conditionnelles réfèrent essentiellement au quand et au pourquoi (ce sont les conditions de l'action ; à quel moment utiliser telle stratégie, pourquoi adopter ce cheminement)... dans le milieu scolaire, les connaissances conditionnelles sont très probablement la catégorie de connaissances la plus négligée (...) Exemple :*

*distinguer un carré d'un rectangle, reconnaître un participe passé dans une phrase, choisir tel niveau de langage en présence du directeur de l'école.*

(p.49, 53)

Ajoutons les définitions données par Mendelsohn (1994) sur les deux notions concernées dans un contexte lié à l'analogie avec les langages informatiques :

*« Les connaissances déclaratives sont descriptives et indépendantes des usages. En première approximation, elles représentent les faits et les principes. Par exemple, le nom des capitales associé à leur pays, les lois du système numériques ou de la physique, la théorie de l'évaluation de Darwin. Les trois principales fonctions des connaissances déclaratives sont ; (1) de communiquer des informations, (2) de contrôler le déroulement de l'action, (3) de procurer un cadre pour généraliser.*

*Les connaissances procédurales sont prescriptives et spécifiques dans leurs usage. En première approximation, elles consistent en associations entre des buts, des situations et des actions. Elles sont assimilables à des structures de contrôle. Par exemple, sont considérées classiquement comme procédurales les connaissances que j'utilise pour conduire une voiture, les algorithmes de calcul en arithmétique ou encore les méthodes de recherche de panne en électricité. »*

(p.25)

Dans la littérature de pédagogie (Raynal & Rieunier 1997), nous trouvons les définitions suivantes concernant les types de connaissances individuelles :

*« Les connaissances déclaratives sont des connaissances relatives aux faits. Par exemple, savoir que ; l'eau bout à 100 degrés au bord de la mer, les véhicules automobiles utilisent généralement l'essence ou le gas-oil comme carburant.*

*Les connaissances procédurales sont des connaissances relatives aux procédures (ensemble de règles permettant de résoudre un problème particulier), c'est-à-dire aux opérations à exécuter pour atteindre un but. Par exemple, savoir comment ; concevoir un plan de formation, régler l'avance à l'allumage. »*

(p.87)

Comme nous pouvons le constater à partir de ces définitions, dans la littérature de pédagogie les connaissances procédurales incluent les connaissances conditionnelles telles qu'elles sont définies dans la littérature de psychologie cognitive.

Quant à la définition de ces notions par les didacticiens des sciences, nous trouvons diverses définitions.

D'après Develay (1998),

*« Les connaissances déclaratives correspondent aux connaissances formelles (une règle de grammaire, une définition de géographie, une loi de physique, un théorème de mathématiques) tandis que les connaissances procédurales concernent les savoir-faire. Savoir calculer la valeur du rayon d'un cercle en connaissant son aire est une connaissance procédurale, comme savoir rédiger l'introduction d'une dissertation. »*

(p.268)

Johsua et Dupin (2003) définissent les connaissances déclaratives et procédurales en utilisant le mot « savoir » au lieu de « connaissance » comme suivant :

*« Les savoirs déclaratifs concernent typiquement des connaissances factuelles (Paris est la capitale de la France). Les savoirs procéduraux sont des règles d'action définissant les opérations à réaliser en fonction de la situation et du but poursuivi et seraient plutôt conditionnels (si une condition est remplie, alors conduire telle action). »*

(p.101)

Dans un contexte lié à l'enseignement secondaire (Veyrat *et al.* 1997), nous trouvons les définitions suivantes concernant les deux notions :

*« Les connaissances théoriques sont les connaissances de la partie du programme considéré que tous les élèves doivent mémoriser. On y trouve des définitions, des lois, des unités, des modèles, des ordres de grandeur, des exemples d'application. On peut appeler ces types de connaissances comme les connaissances scientifiques.*

*Les connaissances procédurales sont des savoir-faire. Nous pouvons distinguer ces savoir-faire comme les savoir-faire théoriques et les savoir-faire expérimentaux. Les savoir-faire théoriques concernent l'utilisation raisonnée des lois et formules, des méthodes de raisonnement, des techniques de calcul. C'est-à-dire, ils sont des théories de l'application des méthodes, des lois, des techniques. Les savoir-faire expérimentaux concernent les actions. Ils doivent être acquis en travaux pratiques dans lesquels ils peuvent être évalués par les questions domaines. »*

(p.13)

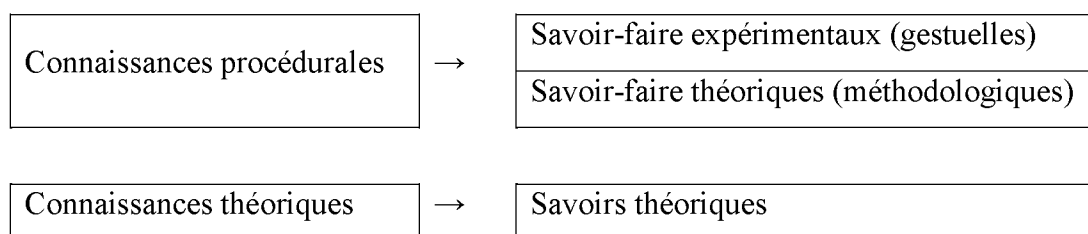
## **1.5. Définition des connaissances théoriques et procédurales dans notre étude**

Les connaissances procédurales sont très importantes dans le domaine où nous travaillons parce que la chimie est avant tout une science expérimentale. Les manipulations en laboratoire sont au centre de la vie de nombreux chimistes et offrent également une approche peu habituelle dans l'enseignement secondaire. Elles amènent à appréhender des valeurs liées à la démarche scientifique dont beaucoup sont transposables à la vie quotidienne. Comme le travail de Johnstone *et al.* (1981) le montre, les savoir-faire expérimentaux se conservent longtemps chez l'apprenant alors que les contenus des cours de chimie sont plus faciles à se « transformer en vapeur », même chez les étudiants au niveau universitaire.

Dans notre travail, nous assimilerons les termes de « connaissance déclarative » et « connaissance théorique » car il y a consensus entre ces deux termes comme le montre la littérature citée. Dans notre travail, la connaissance théorique représente la théorie d'un savoir scientifique (la loi), la définition de ce savoir scientifique, l'ordre de grandeur de ce savoir scientifique, etc. C'est-à-dire, la connaissance théorique englobe tout ce qui est lié à un savoir scientifique au niveau théorique. Les connaissances théoriques sont descriptives, indépendantes des usages et assez éloignées de l'action concrète. Elles représentent des faits et des principes. En ce qui concerne la carte conceptuelle prise en compte dans notre travail,

nous pouvons dire que les connaissances théoriques citées qui sont en bas de la carte appartient à cette catégorie de la classification des connaissances.

Quant aux connaissances procédurales, elles sont des « savoir comment »<sup>1</sup>, en opposition aux « savoir que »<sup>2</sup> qui sont des connaissances déclaratives. Les connaissances procédurales sont des savoir-faire, comprenant savoir-faire théoriques et savoir-faire expérimentaux. Les deux composantes des savoirs procéduraux correspondent d'une part, aux compétences perceptivo-gestuelles et d'autre part, à la conceptualisation des actions perceptivo-gestuelles (Vergnaud 1996). Les connaissances procédurales peuvent avoir une composante méthodologique et/ou une composante gestuelle. Les savoirs procéduraux consistent en une association entre des buts, des actions et des situations. Ils sont prescriptifs et spécifiques dans leurs usages. Nous soulignons que la classification choisie dans notre travail englobe différents types de savoirs et elle n'est pas dichotomique. Les connaissances procédurales citées dans la carte conceptuelle sont des connaissances méthodologiques et gestuelles mais elles se situent dans une seule catégorisation, nommé « connaissances procédurales ». Comme nous l'avons souligné auparavant, lors de la conception du protocole expérimental, nous nous intéressons uniquement l'aspect méthodologique des connaissances procédurales citées dans la carte conceptuelle dans notre travail.



## 1.6. Quels sont les connaissances choisies pour notre étude?

Nous nous sommes centrés sur les connaissances procédurales « de bas niveau », c'est-à-dire celles qui sont le plus en bas de la carte conceptuelle. Pour les connaissances théoriques, nous avons choisi celles directement liées aux connaissances procédurales plus deux autres qui nous ont semblé pertinentes.

### 1.6.1. Connaissances théoriques

Nous avons choisi d'étudier sept connaissances théoriques à partir de la carte conceptuelle présentée auparavant et nous les présentons ci-dessous telles que nous les avons définies.

*Connaissance théorique T1 : concentration molaire ;  $C=n/V$ .* Cette relation consiste à utiliser l'expression concentration molaire dans la résolution du problème posé.

*Connaissance théorique T2 : homogénéité ; la valeur de la concentration d'une solution est identique en toute partie d'un volume.* Cette connaissance théorique est liée à la notion de concentration.

*Connaissance théorique T3 : longueur d'onde ; grandeur caractéristique d'une radiation (absorbant dans le visible) et la distance séparant deux crêtes successives d'une onde périodique.* Un des trois paramètres qui permet de caractériser une onde.

<sup>1</sup> En langue anglaise la connaissance procédurale correspond « knowing how »

<sup>2</sup> En langue anglaise la connaissance déclarative correspond « knowing that »

Cette connaissance théorique consiste à connaître la notion de longueur d'onde telle qu'elle est définie dans le domaine des sciences expérimentales.

*Connaissance théorique T4 : spectre d'absorbance ; l'absorbance d'un composé varie de manière non aléatoire avec la longueur d'onde. Cela définit un spectre d'absorbance.* Cette connaissance théorique est liée à la notion d'absorbance.

*Connaissance théorique T5 : loi de Beer-Lambert  $A = \epsilon_{\lambda}.l.C$  (ou  $A = k.C$ ) ; à une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration.* Cette connaissance théorique est liée à la notion d'absorbance et celle de la longueur d'onde.

*Connaissance théorique T6 : additivité des absorbances ; lorsque plusieurs espèces présents en solution sont susceptibles d'absorber le rayonnement et que ces espèces sont indépendantes, l'absorbance est la somme sur toutes les espèces présents des différentes contributions.* Cette connaissance théorique consiste à connaître le principe de l'additivité des absorbances pour le choix de la solution de référence quand il s'agit de deux ou plusieurs composants dans un mélange qui va être utilisé pour la mesure spectrophotométrique.

*Connaissance théorique (T7) : absorbance ; grandeur caractéristique de la quantité de lumière absorbée par une solution.*

## 1.6.2. Connaissances procédurales

Quant aux connaissances procédurales, nous en avons choisi six et nous les présentons ci-dessous. Soulignons que nous ne nous intéressons qu'à l'aspect méthodologique des connaissances procédurales.

*Connaissance procédurale P1 : comment homogénéiser une solution diluée ; homogénéiser, c'est agiter pour rendre la concentration égale en toute partie de la solution.* Cette connaissance procédurale vise à connaître le principe d'homogénéisation et le moment où il faut l'effectuer.

*Connaissance procédurale (P2) : comment diluer ; diluer, c'est ajouter du solvant pour rendre la concentration plus faible.* Cette connaissance procédurale consiste à connaître le principe de la notion de dilution et le changement de la concentration lors de celle-ci.

*Connaissance procédurale P3 : comment rincer ; rincer, c'est éliminer les impuretés en choisissant le bon liquide pour ne pas modifier la concentration de la solution prélevée.* Cette connaissance procédurale consiste à connaître le principe de la notion du rinçage (choix de la solution du rinçage).

*Connaissance procédurale P4 : comment choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert ; le choix de la concentration maximale dépend du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.* Cette connaissance procédurale est liée au choix de la concentration des solutions à préparer en tenant compte du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.

*Connaissance procédurale P5 : comment choisir la solution de référence ; choisir la bonne solution de référence, c'est identifier le ou les composés dont les absorbances sont susceptibles de s'ajouter à celle du E124.* Cette connaissance procédurale doit être mobilisée lors de l'enregistrement de la ligne de base du spectrophotomètre (zéro,

référence). Elle consiste à prendre en compte tous les composés présents dans une solution et évaluer leurs effets sur l'absorbance du composé à mesurer.

*Connaissance procédurale P6 : comment choisir la longueur d'onde de mesure; choisir la longueur d'onde de mesure, c'est repérer le maximum d'absorbance dans un spectre d'absorbance qui n'entraîne pas la saturation du spectrophotomètre.* Cette connaissance procédurale est liée d'une part à la notion de maximum d'absorbance et d'autre part au fait de repérer ce maximum d'absorbance à partir d'un spectre d'absorbance.

# CHAPITRE 2. ASPECTS THEORIQUES DES CONCEPTS EN JEU

Nous présentons dans ce chapitre l'aspect théorique de la loi de Beer-Lambert et celui de la spectrophotométrie qui sont des concepts mis en jeu dans la résolution du problème posé ayant pour but de déterminer la concentration d'une substance par la méthode spectrophotométrique.

## 2.1. Absorption de lumière

La spectrophotométrie consiste à étudier des interactions quantitatives entre la lumière et la matière. La lumière qui arrive sur l'échantillon de matière peut être transmise, réfractée, réfléchie, diffusée ou absorbée. En effet, la lumière traverse une substance, elle est en partie transmise et en partie absorbée (Rouessac 1994). Une substance colorée absorbe dans le domaine visible du spectre des radiations électromagnétiques comme nous pouvons le voir ci-dessous.

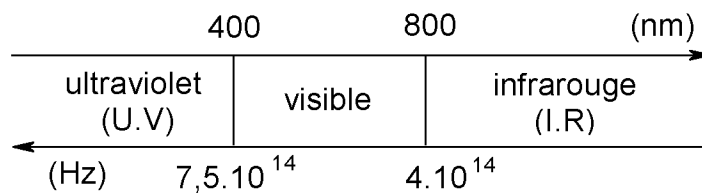


Figure 2 : Domaines et caractéristiques des ondes électromagnétiques

La lumière est un rayonnement électromagnétique, c'est-à-dire une onde propageant des oscillations d'influence électrique et magnétique appelées champs. Un champ magnétique exerce une force sur une particule chargée en mouvement. Un champ électrique exerce une force sur toute particule chargée, en mouvement ou non : c'est le seul que nous considérons ici car il a sur la matière l'effet le plus important. Le champ électrique du rayonnement est oscillant et en conséquence sa force agit d'abord dans un sens, puis dans le sens opposé. On appelle « cycle » un renversement complet du champ (donc la force) d'un sens initial au sens opposé, puis de nouveau au sens initial (Zumdahl 1999). Le nombre de cycles (par seconde) est la fréquence  $\nu$  de la lumière. L'unité de fréquence est le « hertz » (Hz), défini comme un cycle par seconde. On caractérise aussi une onde par sa longueur d'onde, ou distance de crêtes. Quand la lumière traverse un échantillon de matière, elle interagit avec les électrons des atomes de l'échantillon. La lumière interagit avec la matière dans des processus d'absorption et d'émission comme si elle était un courant de particules. En sortie d'échantillon, une partie du spectre de la lumière a été absorbée. Si la lumière absorbée fait partie des longueurs d'onde visibles, la lumière initialement blanche sort colorée de l'échantillon (Rouessac & Rouessac 1994).

Le fait de détecter cette absorption et en déduire des informations sur l'échantillon constituent le principe et le but de la spectrophotométrie. Les données fournies permettent d'obtenir deux types d'information :



(1) *une analyse qualitative* permet de savoir quelle espèce est présente dans l'échantillon

(2) *une analyse quantitative* grâce à la formule de Beer-Lambert permet de connaître la quantité d'espèce présente dans l'échantillon

La spectrophotométrie d'absorption est une méthode d'analyse qui permet le dosage de nombreux composés chimiques. Un spectre d'absorption, appelé aussi spectre, obtenu à partir d'un spectrophotomètre comprend une courbe d'absorbance en fonction de la longueur d'onde  $A=f(\lambda)$ . La détermination de l'absorbance pour une longueur d'onde peut être réalisée sur un colorimètre<sup>3</sup> ou un spectrophotomètre. Le terme spectre désigne l'intensité d'un signal expérimental observé que ce soit l'absorbance, l'émission ou la fluorescence en fonction de la longueur d'onde, du nombre d'onde ou de la fréquence (Skoog *et al.* 1997).

## 2.2. Loi de Beer-Lambert

La spectrophotométrie peut être considérée comme une application de la loi de Beer-Lambert. P. Bouguer<sup>4</sup> a trouvé en 1729 que la fraction de la lumière absorbée dans un milieu dépend de l'épaisseur parcourue (Pfeiffer & Liebhafsky 1951). Le mathématicien français J. Lambert qui connaissait les travaux de Bouguer a donné en 1760 une formulation mathématique plus précise des observations de ce dernier. Ce n'est qu'en 1852 que A. Beer, physicien allemand, a trouvé la bonne formulation et constaté que la loi s'applique également aux solutions (Burgot & Burgot 2002). Cette loi, nommée la loi de Beer-Lambert, permet de voir la relation entre l'absorbance d'une solution colorée avec sa concentration et s'écrit sous la forme actuelle :

$$A = \mathcal{E}(\lambda) \cdot C \cdot \ell$$

Dans la loi de Beer-Lambert, telle qu'elle est décrit ci-dessus,  $\ell$  est l'épaisseur (en cm) de la solution traversée,  $C$  la concentration molaire (en  $\text{mol.L}^{-1}$ ) et  $\mathcal{E}$  le coefficient d'absorption molaire ( $\text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$ ).

En substituant à  $C$  le rapport  $c/M$  qui lui est équivalent ( $c$ , concentration massique de composé exprimée en  $\text{g.L}^{-1}$ ,  $M$  masse molaire en  $\text{g.mol}^{-1}$ ), l'expression ci-dessus devient :

$$A = \mathcal{E}(\lambda) \cdot \ell \cdot c/M$$

Lorsqu'un faisceau de lumière monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  traverse une solution colorée ayant la concentration  $C$  dans une cuve son intensité  $I_0(\lambda)$ , à la sortie n'est plus la même et devient  $I_S(\lambda)$  comme nous le voyons ci-dessous.

---

<sup>3</sup> Le terme de colorimétrie vient de ce que les premiers dosages effectués dans ce domaine, bien avant l'invention des spectrophotomètres, se faisaient en lumière blanche et sans appareil optique, par une comparaison visuelle de la coloration de l'échantillon dosé avec celle de témoins de concentrations connues.

<sup>4</sup> Professeur d'hydrographie du Roi de France au Havre.

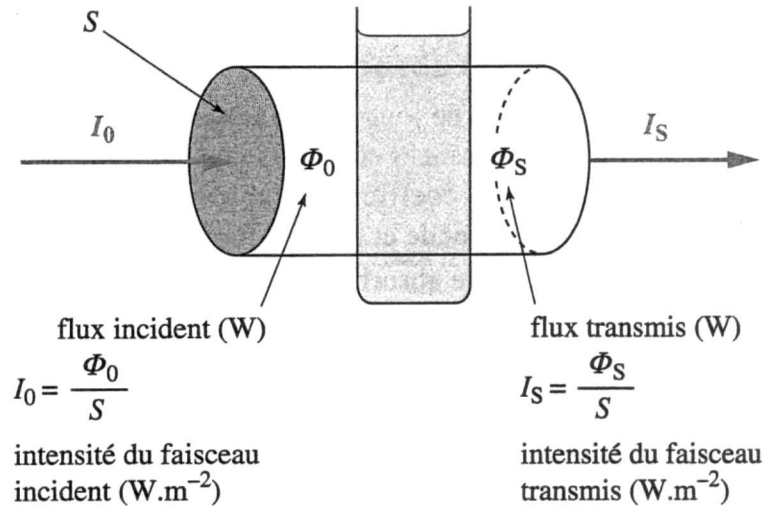


Figure 3 : Intensité  $I$  et flux lumineux  $\Phi$

L'absorbance de cette lumière par la solution peut être caractérisée par deux grandeurs : la *transmittance* et l'*absorbance*.

La *transmittance*  $T$  donne le pourcentage de lumière que transmet la solution :

$$T_{(\lambda)} = \Phi_{S(\lambda)} / \Phi_{0(\lambda)} = I_{S(\lambda)} / I_{0(\lambda)}$$

L'*absorbance*  $A$ , souvent encore appelée densité optique, est définie par :

$$A_{(\lambda)} = \log_{10} 1 / T_{(\lambda)}$$

$$A_{(\lambda)} = \log_{10} I_{0(\lambda)} / I_{S(\lambda)}$$

A l'origine de la loi de Beer-Lambert, on trouve l'hypothèse de Lambert selon laquelle l'intensité  $I$  d'une radiation monochromatique a diminué de  $dI$  (négatif) après avoir traversé une épaisseur  $dx$  d'un matériau dont le coefficient d'absorption est  $k$  pour la longueur d'onde choisie, soit :

$$-dI/dx = k.C. I_x$$

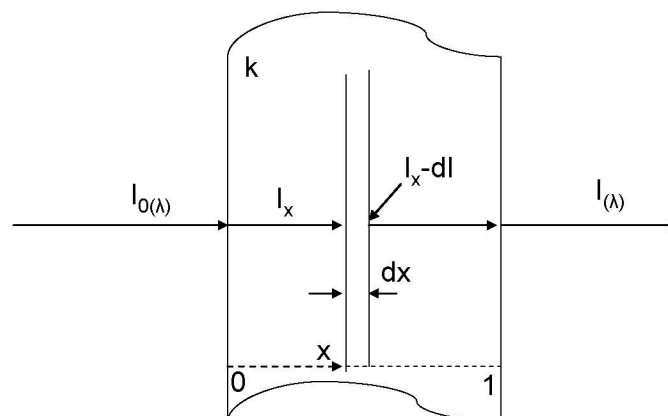


Figure 4 : Une longueur d'onde  $\lambda$  qui traverse une solution colorée

La figure ci-dessus le montre l'absorption de la lumière par un matériau homogène et le signe négatif résulte du fait que l'intensité diminue quand x croît.

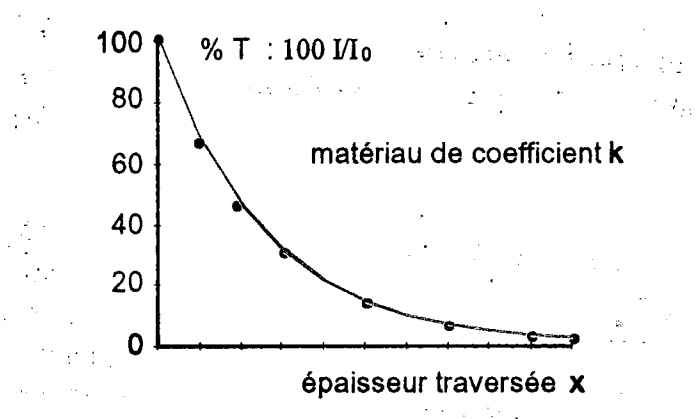


Figure 5 : L'absorbance de la lumière par un matériau homogène

Le graphique ci-dessus représente le pourcentage de transmittance en fonction de l'épaisseur traversée.

En appelant  $I_0$  l'intensité lumineuse de la radiation incidente en amont du milieu traversé d'épaisseur  $\ell$ , dont le coefficient d'absorption est  $k$ , l'intensité  $I$  transmise sera représentée par la forme de l'expression précédente :

$$dI = -k.C.Ix.dx$$

$$[\text{Ln}I]_{I_0}^I = -k.C.Ix.[x]_{x_0}^x$$

$$\text{Ln } I / I_0 = -k.C.\ell$$

$$I = I_0 e^{-k.C.\ell}$$

si on revient l'absorbance, telle qu'elle est décrite,

$$A_{(\lambda)} = \log_{10} I_{0(\lambda)} / I_{S(\lambda)}$$

l'absorbance devient  $A = \log_{10} e^{-k.C.\ell} \Rightarrow A = \epsilon.C.\ell$

$\epsilon_{(\lambda)}$  est le coefficient d'absorption molaire ou l'absorbance linéique molaire de la substance considérée. Ce coefficient dépend de la nature de la substance, de la longueur d'onde de la lumière, de la nature du solvant. Il dépend aussi de la température, même si ce paramètre a peu d'influence dans les conditions d'utilisation normales en laboratoire. Sa valeur qui peut varier dans une large plage allant de 0 à plus de 200000, correspond à l'absorbance d'une solution de concentration molaire, de 1 cm d'épaisseur.

L'absorbance est une grandeur sans dimension. Dans les unités cohérentes du système International (SI),  $\ell$  est une longueur exprimée en m, la concentration est en  $\text{mol.m}^{-3}$ ,  $\epsilon_{(\lambda)}$  s'exprime en  $\text{m}^2.\text{mol}^{-1}$ . Lorsque la longueur est en cm, la concentration en  $\text{mol.L}^{-1}$ ,  $\epsilon_{(\lambda)}$  s'exprime en  $\text{cm}^{-1}.\text{L}.\text{mol}^{-1}$ .

La loi de Beer-Lambert est une loi qui exige, comme la plupart des lois, des conditions nécessaires pour être valable. La loi de Beer-Lambert n'est vérifiée que dans les conditions suivantes :

- la lumière utilisée doit être monochromatique
- les concentrations doivent être faibles
- la solution ne doit être ni fluorescente ni hétérogène
- la solution ne doit pas donner lieu à des transformations photochimiques
- l'absorbance ne doit pas être trop élevée : en générale au-delà d'une valeur de 1,5 en absorbance, la linéarité de la loi de Beer-Lambert n'est plus observée comme le schéma ci-dessous le montre.

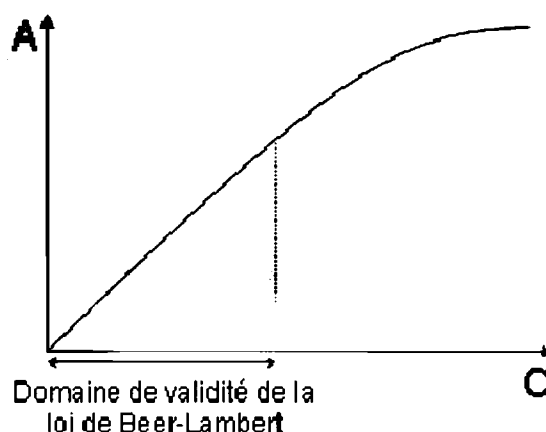


Figure 6 : Domaine de validité de la loi de Beer-Lambert

### 2.3. Additivité de la loi de Beer-Lambert

Cette loi est additive, ce qui implique que pour un mélange de deux composés 1 et 2 en solution dans un solvant, l'absorbance A mesurée dans une cuve d'épaisseur l sera identique à l'absorbance mesurée après passage à travers les deux cuves de même épaisseur, placées l'une après l'autre, contenant l'une le composé 1 et l'autre le composé 2 (pris aux mêmes concentrations que dans le mélange initial)<sup>5</sup> :

$$A = A_1 + A_2 = l (\epsilon.C_1 + \epsilon.C_2)$$

Le spectrophotomètre mono-faisceau dispose d'une source lumineuse, un monochromateur, une cuve et un détecteur. Comme nous pouvons le voir dans le schéma ci-dessous, la rotation du miroir qui se trouve entre le prisme et la fente permet de choisir la longueur d'onde de la lumière qui va traverser la cuve, après avoir traversé la fente.

---

<sup>5</sup> L'indice 1 est relatif au composé 1 et l'indice 2 au composé 2

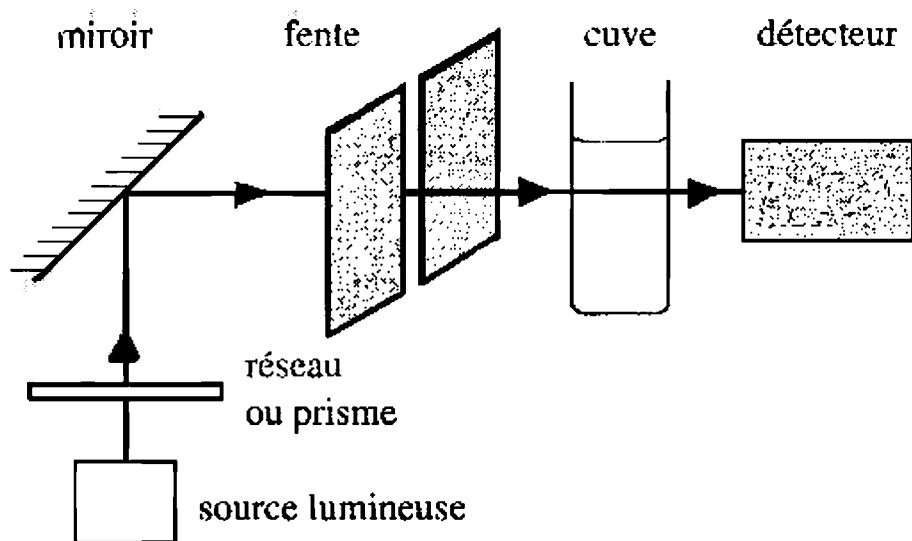


Figure 7 : Schéma du principe d'un spectrophotomètre mono-faisceau

La source lumineuse utilisée dans ce type d'appareil peut être constituée de plusieurs lampes :

- une lampe à décharge au deutérium pour le domaine UV : de 190 à 400 nm.
- une lampe à filament de tungstène pour le domaine visible : de 350 à 800 nm.
- une lampe à décharge au xénon utilisée dans le domaine UV et visible. Ce type de lampe est très énergétique et fonctionne sous forme de flash, juste au moment de faire une mesure.

Le monochromateur permet d'isoler le rayonnement de longueur d'onde définie sur lequel on fait la mesure. La cuve contient l'échantillon. La largeur de la cuve est définie (usuellement le trajet optique est de 1 cm). Elle doit être transparente au rayonnement d'étude. Par exemple, pour un rayonnement UV, la cuve doit être en quartz, le verre ou le plastique ne permettant pas à ce type de rayonnement de passer. Le détecteur peut être de différents types (photodiode, barette de diode...). Il permet d'analyser la lumière qui a été transmise par l'échantillon et de calculer l'absorbance de l'échantillon.

## 2.4. Dosages par spectrophotométrie

Un dosage est une manipulation qui a pour but de déterminer la quantité d'un produit dans un échantillon comme la réaction chimique du produit à doser avec un agent titrant ou courbe étalon. Selon les conditions, différentes méthodes peuvent être mises en œuvre pour réaliser un dosage : dosage colorimétrique, dosage potentiométrique, dosage pH-métrique, dosage conductimétrique, dosage par spectrophotométrie. La méthode du dosage par spectrophotométrie présente plusieurs avantages : (1) elle est d'un emploi très général, pour tout composé absorbant ou susceptible d'absorber en présence d'un réactif adéquat, (2) elle est d'une grande sensibilité, elle permet le dosage des traces, (3) elle est rapide puisque les mesures effectuées sont directes, (4) elle est non destructive et (5) elle permet le dosage d'un corps en présence d'autres corps absorbants grâce à l'utilisation de la référence.

Comme nous l'avons souligné auparavant, les absorbances de différents produits contenus dans une même solution sont additives. Cette propriété permet de déterminer l'absorbance d'un composé même s'il existe plusieurs composants dans un seul échantillon. Lorsque l'on

travaille avec un spectrophotomètre on prépare deux cuves. L'une contient le solvant, la substance à doser et les réactifs si nécessaire, appelé l'échantillon. L'autre, appelée référence (ou blanc), contient tous les composés présents dans l'échantillon à l'exception de la substance à doser. Le résultat donné par le spectrophotomètre est toujours issu d'un calcul : c'est l'absorbance de l'échantillon à laquelle a été soustraite l'absorbance de la référence.

$$A_{\text{finale}} = A_{\text{échantillon}} - A_{\text{référence}}$$

Parfois il n'est pas possible de faire une solution de référence qui contienne tous les produits sauf le produit à doser. Ceci ne pose pas de problème pour le dosage si les autres produits n'absorbent pas à la longueur d'onde de travail.

Pour effectuer le dosage d'un composé, on se place en général à la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorbance de ce composé  $\lambda_{(A_{\text{max}})}$ . On obtient ainsi la meilleure sensibilité possible pour la détection du composé comme nous pouvons le voir ci-dessous.

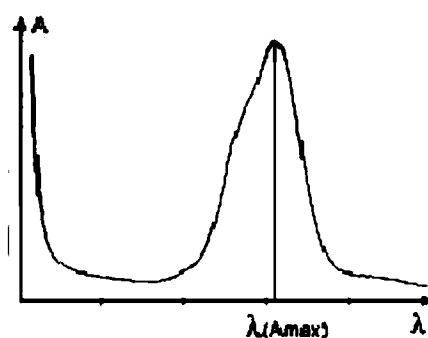


Figure 8 : Spectre d'un produit chimique entre 200 et 700 nm

Il peut arriver que l'on ne se place pas au  $\lambda_{(A_{\text{max}})}$  dans le cas où l'on voudrait mesurer l'absorbance d'un produit en présence de produits parasites. On se placera alors à la longueur d'onde qui correspond à la plus grande différence d'absorbance entre le produit d'étude et les produits parasites.

Il existe trois méthodes pour réaliser un dosage lorsque l'on travaille avec un spectrophotomètre: (1) dosage direct, (2) dosage par rapport à un étalon et (3) dosage par rapport à une courbe étalon. Nous expliquons les deux premières méthodes de manière courte et parlons de façon détaillée de la dernière méthode.

(1) *Dosage direct* : La façon la plus simple de réaliser un dosage par spectrophotométrie est de faire une mesure de l'absorbance de l'échantillon à une longueur d'onde  $\lambda_{(A_{\text{max}})}$ , avec une référence adéquate. Si le coefficient d'absorption molaire à cette longueur d'onde  $\epsilon_{(\lambda)}$  est connu et si on sait que l'on est dans le domaine d'application de la loi de Beer-Lambert, on peut déterminer la concentration d'un composé à partir de l'expression suivante :

$$C = A / (\epsilon_{(\lambda)} \cdot \ell)$$

(2) *Dosage par rapport à un étalon* : Cette méthode est plus sûre que la précédente puisqu'elle prend en compte le fait que le spectrophotomètre n'est peut-être pas complètement bien réglé. D'autre part elle ne nécessite pas de connaître au préalable la valeur du coefficient d'absorption molaire.

Le principe est de préparer une solution avec une concentration connue en produit que l'on cherche à doser. On effectue la mesure de l'absorbance de cette solution à une longueur d'onde  $\lambda$ . Si on est dans le domaine d'application de la loi de Beer-Lambert, on peut calculer le coefficient d'absorption molaire à partir de l'expression suivante :

$$\epsilon_{(\lambda)} = A / (\ell \cdot C)$$

Cette méthode se termine, comme la précédente, en prenant une mesure de l'absorbance de l'échantillon à la longueur d'onde choisie. Il est nécessaire de souligner que le fait de déterminer le coefficient d'absorption molaire à partir d'une seule mesure n'est pas idéal. Afin d'obtenir une valeur fiable il est conseillé de faire au moins 3 solutions et 3 mesures d'absorbance et de faire une moyenne pour déterminer la valeur du coefficient d'absorption molaire à utiliser.

(3) *Dosage par rapport à une courbe étalon* : Cette méthode est celle qui donne la plus grande précision. Le principe est de tracer une courbe de réponse  $A = f(C)$  appelée courbe « étalon ». Grâce à cette courbe il sera possible de déterminer la valeur du coefficient d'absorption molaire à partir de la courbe et déterminer si la loi de Beer-Lambert s'applique bien sur la gamme de concentrations choisie.

*Préparation de la gamme étalon* : La courbe étalon est obtenue expérimentalement à partir d'une gamme étalon sur laquelle on fait des mesures d'absorbance. Une gamme étalon est constituée de plusieurs solutions contenant le composé étudié à des concentrations différentes connues. Afin d'obtenir une bonne gamme étalon : (1) la gamme de concentration doit être suffisamment étendue pour qu'elle comprenne la concentration de l'échantillon à étudier, (2) les concentrations des solutions doivent être réparties sur la gamme de façon homogène et (3) le nombre de solutions doit être suffisant pour pouvoir tracer la courbe de tendance (3 points sont un minimum pour tracer une courbe de tendance linéaire).

Il y a deux façons de préparer une gamme étalon : (1) les solutions sont de concentrations voisines : dans ce cas, elles sont toutes préparées par dilution à partir d'une solution mère (solution initiale de concentration élevée) en choisissant des volumes différents de solution mère pour chaque dilution, (2) les solutions sont de concentrations très différentes et ces concentrations dépendent de la solution préparée précédemment : dans ce cas, les solutions sont préparées par dilutions en cascade : si la solution S1 est préparée à partir de S0, alors S2 est préparée à partir de S1, puis S3 à partir de S2...

*Réalisation et utilisation de la courbe étalon* : On réalise les mesures d'absorbance à une longueur d'onde donnée, sur chacune des solutions de la gamme étalon. Ensuite on place les points correspondant aux mesures d'absorbance sur un graphe en fonction de la concentration. La courbe obtenue à partir de différentes concentrations correspondant aux absorbances passe par l'origine. Ces points suivent, aux erreurs expérimentales près, la réponse du spectrophotomètre  $A = f(C)$  (courbe pointillée). A partir de ces points, on peut tracer la courbe de tendance : droite sur le dessin ci-dessous.

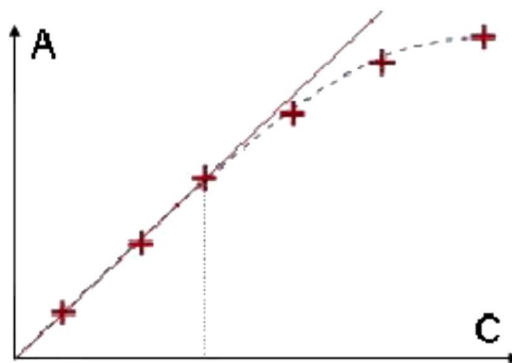


Figure 9 : Courbe étalon l'absorbance en fonction de la concentration

A partir de cette courbe, il est possible de déterminer le domaine de validité de la loi Beer-Lambert où les points expérimentaux concordent avec la courbe de tendance et déterminer le coefficient d'absorption molaire qui est la pente de la droite.

Grâce à cette courbe étalon, on détermine la concentration de cet échantillon avec la valeur du coefficient d'absorption molaire et on vérifie que la concentration de l'échantillon est bien comprise dans la zone de validité de la loi. Si ce n'est pas le cas, on dilue l'échantillon, et on fait la mesure sur cette dilution. Une fois que cette courbe est préparée, nous abaissons une perpendiculaire à partir du point de l'absorbance de la solution inconnue sur l'axe des concentrations pour lire la concentration recherchée ou nous passons par le calcul de  $\mathcal{E}$ .



## CHAPITRE 3. ANALYSE DES CONTENUS

Nous présentons, dans ce chapitre, l'analyse des contenus des concepts que nous avons choisis auparavant. Nous avons effectué une double analyse des programmes officiels et des manuels du lycée, qui nous donne accès à l'aspect officiel des concepts mis en jeu en tant qu'objet d'enseignement.

### 3.1. Analyse des programmes officiels

Pour notre analyse des programmes officiels, nous prenons comme référence les derniers programmes (en vigueur depuis 2000 pour la classe de Première et depuis 2001 pour la classe de Seconde et Terminale) étant donné que les élèves avec lesquels nous avons travaillé sont issus de ce programme.

#### 3.1.1. Connaissances de chimie

En relation avec les connaissances privilégiées dans notre étude, nous avons cherché dans les programmes officiels les notions suivantes : concentration, homogénéisation, longueur d'onde, absorbance, spectre d'absorbance, loi de Beer-Lambert, additivité d'absorbance, rinçage, dilution, utilisation du spectrophotomètre. Ce sont des concepts que nous avons choisis à partir de la carte conceptuelle utilisée et que ces dernières disposent de la relation entre eux telle qu'elle est décrite dans cette carte.

Nous pouvons noter tout d'abord que la Terminale est la seule classe du lycée qui aborde les notions liées au spectrophotomètre, à savoir l'absorbance, la loi de Beer-Lambert, le spectre d'absorbance, l'additivité des absorbances. Les notions d'absorbance et de longueur d'onde sont abordées aussi en physique en Terminale et en Seconde. Les autres notions (concentration, homogénéisation, longueur d'onde, rinçage, dilution) sont abordées dès le début du lycée, en Seconde.

Nous soulignons que la partie « la transformation d'un système est-elle toujours rapide ? » dans le programme officiel de Terminale et la partie « transformation de la matière » dans le programme officiel de Seconde disposent le rapport avec notre étude, notamment les concepts que nous nous intéressons ont abordé dans ces parties du programmes du lycée.

##### 3.1.1.1. Seconde

Nous commençons par le programme de la classe de Seconde (BO hors série N°2 du 30 août 2001). En classe de seconde la moitié du programme de chimie est consacrée à l'utilisation des solutions aqueuses ioniques. Les concepts de quantité de matière, de son unité, la mole et de la concentration molaire y sont introduits en vue d'une étude quantitative des réactions en général et des réactions en solution en particulier.

En seconde, la concentration molaire est abordée dans le chapitre consacré aux transformations de la matière. Les deux concepts, la quantité de matière et la mole, sont reliés explicitement avec le concept de concentration molaire par définition dans le programme. Dans le chapitre concerné, il est recommandé, pour les paramètres nécessaires à la description d'un système, d'effectuer le passage de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique en définissant l'unité de quantité de matière (la mole) et la concentration molaire en solution.

Dans la même classe, il est conseillé de présenter des expériences dans lesquelles les solutions résultent de la dissolution de solides ioniques, la réaction de dissociation des espèces ioniques étant écrite et il pourra être exigé de calculer les concentrations molaires des ions. La concentration intervient dans la stoechiométrie des réactions en solution. L'un des objectifs du programme officiel concernant la concentration molaire est de faire « *connaître l'expression de la concentration molaire d'une espèce moléculaire dissoute et savoir l'utiliser* ». Nous pouvons donc dire que la concentration molaire est omniprésente dans le domaine disciplinaire et qu'elle réunit plusieurs aspects qualitatifs et quantitatifs des solutions.

La notion de dilution est abordée dans le même chapitre que concentration molaire intitulé « *transformation de la matière* » du programme officiel de Seconde (Tableau 1). Pour la notion de dilution, il est recommandé par le programme officiel de faire réaliser par les élèves la dilution d'une solution en utilisant la verrerie classique (pipette graduée, poire à pipeter, burette, fiole jaugée) ainsi que d'effectuer des calculs basés sur la concentration molaire (C) sans citer l'expression  $C_1.V_1=C_2.V_2$ . Nous présentons dans le tableau ci-dessous (Tableau 1), des exemples d'activités proposés par le programme officiel avec le contenu et des compétences exigibles.

Exemples d'activités	Contenus	Compétences exigibles
<p>Comment peut-on mesurer une quantité de matière ?</p> <p>Prélèvement d'une même quantité de matière (en mol) pour différentes espèces chimiques.</p> <p>Opérations expérimentales de dissolution d'espèces moléculaires (sucres, diiode (en raison de sa couleur), alcool...) et opérations de dilution de solutions.</p> <p>Opérations expérimentales de dilution de solutions courantes (colorants, sulfate de cuivre...).</p> <p>Mise en œuvre ou élaboration d'un protocole de dissolution ou de dilution.</p> <p>Réalisation d'échelles de teintes et applications (par exemple avec le diode).</p>	<p>De l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique : la mole</p> <p>Unité de la quantité de matière : la mole.</p> <p>Constante d'Avogadro, <math>N_A</math></p> <p>Masse molaire "atomique" : <math>M</math> (<math>\text{g.mol}^{-1}</math>).</p> <p>Masse molaire moléculaire.</p> <p>Volume molaire <math>V_m</math> (<math>\text{L.mol}^{-1}</math>) à T et P.</p> <p>Concentration molaire des espèces moléculaires en solution.</p> <p>Notions de solvant, soluté, solution et solution aqueuse.</p> <p>Dissolution d'une espèce moléculaire.</p> <p>Concentration molaire d'une espèce dissoute en solution non saturée.</p> <p>Dilution d'une solution.</p>	<p>Calculer une masse molaire moléculaire à partir des masses molaires atomiques.</p> <p>Déterminer une quantité de matière (exprimée en mol) connaissant la masse d'un solide ou le volume d'un liquide ou d'un gaz.</p> <p><i>Prélever une quantité de matière d'une espèce chimique donnée en utilisant une balance, une éprouvette graduée ou une burette graduée.</i></p> <p>Savoir qu'une solution peut contenir des molécules ou des ions.</p> <p><i>Réaliser la dissolution d'une espèce moléculaire.</i></p> <p><i>Réaliser la dilution d'une solution.</i></p> <p><i>Utiliser une balance et la verrerie de base qui permet de préparer une solution de concentration donnée (pipette graduée ou jaugée, poire à pipeter, burette, fiole jaugée).</i></p> <p>Connaître l'expression de la concentration molaire d'une espèce moléculaire dissoute et savoir l'utiliser.</p>

Tableau 1: Extrait du programme officiel de Seconde

Pour les notions d'homogénéisation et de rinçage du matériel nous n'avons trouvé aucune information explicite dans le programme officiel de Seconde. Il se peut que ces deux notions soient abordées tout de même par l'enseignant dans la classe au moment où il aborde de façon pratique la notion de concentration molaire.

### 3.1.1.2. Première

Nous continuons notre analyse des programmes officiels par le programme de la classe de Première (BO hors série N°7 du 31 août 2000). En classe de première, les concepts auxquels nous nous intéressons ne sont pas abordés en tant qu'objet d'enseignement mais la plupart des concepts qui ont été abordés en seconde sont revus et approfondis dans ce niveau. Le principal objectif de la première partie du programme de Première S est « *de montrer comment la chimie permet d'accéder à la détermination de concentrations ou de quantités de matière d'espèces chimiques données (solides, liquides et gazeuses)* ». L'un des objectifs du programme officiel que nous avons pu trouver sur la technique de mesure est de « *montrer la nécessité de disposer de différentes techniques de mesure et sensibiliser au choix d'une technique en fonction d'un objectif* ». Pour la détermination des concentrations, la technique utilisée à ce niveau-là n'est pas la spectrophotométrie mais une méthode directe d'étalonnage par la conductimétrie. En classe de première, la détermination des concentrations est effectuée par une méthode directe d'étalonnage, sans intervention de réactions chimiques, par la méthode de la conductimétrie, en utilisant les solutions ioniques. En ce qui concerne la méthode par la courbe d'étalonnage, le programme officiel donne des instructions aux enseignants qui doivent parler des limites de cette méthode de dosage lorsqu'ils abordent cette méthode lors de l'utilisation du conductimètre : « *L'enseignant doit préciser que pour déterminer des quantités de matière en solution, la méthode d'étalonnage a ses limites; en l'occurrence la méthode d'étalonnage conductimétrique n'est pas applicable lorsque la solution est un mélange d'espèces ioniques de plusieurs solutés (l'eau de mer par exemple). Ce dernier point ne doit donner lieu à aucun développement expérimental ou théorique.* ».

### 3.1.1.3. Terminale

Nous terminons notre parcours par le programme de la classe de Terminale (BO hors série N°4 du 30 août 2001). Les notions d'absorbance, spectre d'absorbance, loi de Beer-Lambert, additivité des absorbances sont abordées dans la première partie (Tableau 1) intitulée « *la transformation d'un système est-elle toujours rapide?* » du programme officiel de Terminale. Les deux autres objectifs du programme officiel sur les concepts auxquels nous nous intéressons sont de « *définir la grandeur d'absorbance* » et de faire « *connaître le principe du spectrophotomètre* ». La grandeur absorbance ayant été définie, les élèves peuvent ensuite aborder la spectrophotométrie.

Dès la première partie du programme officiel il est recommandé d'utiliser la spectrophotométrie pour « *étudier la relation entre l'absorbance et la concentration d'une solution* ». Cette relation est appelée « *spectre d'absorption* » dans le programme. Comme nous le présentons dans le tableau ci-dessous (Tableau 2), le programme officiel recommande des exemples d'activités avec un contenu et des compétences exigibles.

Exemples d'activités	Contenus	Compétences exigibles
<p>...</p> <p>Observation du spectre d'absorption d'une espèce colorée en solution.</p> <p>Etude expérimentale de la relation entre la concentration effective d'une espèce colorée en solution et l'absorbance pour une longueur d'onde donnée, dans un domaine de concentration donnée.</p>	<p>- Une nouvelle technique d'analyse, la spectrophotométrie : L'absorbance <math>A</math>, grandeur mesurée par le spectrophotomètre.</p> <p>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.</p>	<p>Savoir utiliser, à une longueur d'onde donnée, la relation entre la concentration d'une espèce colorée en solution et l'absorbance.</p>

Tableau 2 : Extrait du programme officiel de Terminale S

En ce qui concerne l'utilisation du spectrophotomètre dans le programme officiel de Terminale S, nous soulignons que son utilisation concerne le suivi temporel d'une transformation afin de déterminer le temps de demi-réaction. Nous soulignons également que la différence entre une mesure d'absorbance (nombre) et un spectre d'absorbance (fonction) n'est pas abordée de manière explicite et cela complique la compréhension de l'utilisation du spectrophotomètre dans l'expérience. C'est-à-dire que la mesure d'absorbance concerne le nombre (une longueur d'onde) et le spectre d'absorbance est une courbe en fonction de la longueur d'onde en fonction. Dans le programme officiel on parle plutôt les deux comme suivant : « *Il s'agit simplement de montrer et d'utiliser le fait que l'absorbance  $A$ , grandeur mesurée par le spectrophotomètre, est proportionnelle à la concentration de l'espèce colorée dans des conditions précises, pour des solutions suffisamment diluées et pour une longueur d'onde donnée.* ». En ce qui concerne la solution de référence (la notion de blanc) et la cuve de référence du spectrophotomètre, nous n'avons pas trouvé l'information sur cette notion dans le programme officiel de Terminale S.

Comme nous pouvons le constater à partir du programme officiel, l'expression « loi de Beer-Lambert » n'est pas utilisée mais la loi est définie de la façon suivante : « *il y a une relation entre la concentration d'une espèce colorée en solution et l'absorbance* ». Quant à la notion d'additivité des absorbances, nous avons constaté qu'elle n'a pas de place explicitement dans ce programme, même si elle utilisée.

En conclusion, cette analyse des programmes officiels a relevé que

- les notions de concentration et de dilution sont présentes dès le début du lycée
- les notions d'homogénéisation, de rinçage, d'additivité des absorbances n'apparaissent pas explicitement dans les programmes officiels
- les notions d'absorbance et de spectre d'absorption sont présentes en Terminale et la relation entre la concentration d'une solution colorée et l'absorbance est appelée un spectre d'absorption
- la loi de Beer-Lambert n'est pas au programme en tant que telle  $A_{\lambda} = \epsilon_{\lambda} \cdot l \cdot C$

### 3.1.2. Compétences expérimentales

Nous avons constaté que les programmes officiels de Seconde, Première et Terminale donnent les mêmes compétences mises en jeu lors des TP. Parmi les compétences proposées, nous en avons trouvé 5 qui sont liées à notre étude.

(1) règles de sécurité ; pour le programme officiel de Seconde, nous avons constaté qu'on parle d'« *interpréter les informations de l'étiquette d'un flacon (y compris risques, sécurité, paramètres physiques)* » et pour la programme officiel de Première, « *respecter les consignes : protection des personnes et de l'environnement* » et « *savoir lire les phrase R et S* ». Nous pouvons donc dire que la notion de fiche de sécurité des produits chimiques est présente dans les programmes officiels du lycée puisqu'on présente les pictogrammes en Seconde et on présente des phrases R et S en Première.

(2) « *proposer une expérience susceptible de valider ou d'invalidier une hypothèse en répondant à un objectif précis* »,

(3) « *reconnaître et nommer le matériel de laboratoire* »,

(4) « *faire le schéma d'une expérience* »,

(5) « *analyser des résultats expérimentaux, les confronter à des résultats théoriques, déterminer le domaine de validité d'un modèle* ».

Pour les 4 dernières compétences, aucune information n'est donnée à l'enseignant sur les exemples activités et comment évaluer ces connaissances expérimentales.

En ce qui concerne l'évaluation des compétences expérimentales au bac, nous pouvons dire que même s'il n'y a pas d'instruction officielle concernant la notion du rinçage et la manière d'aborder cette notion dans l'enseignement au lycée, le rinçage est évalué lors des travaux pratiques expérimentaux au bac. Pour le concept de spectrophotomètre, nous pouvons dire que l'utilisation du spectrophotomètre est évaluée également dans les sujets proposés au bac. Le travail effectué par Bayram (2005) a montré que le rinçage de la pipette avec la solution à prélever est évalué dans 10 sujets sur 15 et le rinçage de la fiole jaugée dans 7 sujets sur 15. Il a montré également que l'utilisation du spectrophotomètre est évaluée au bac et fait partie 13% des sujets proposés au bac. Les capacités expérimentales évaluées au bac concernant l'utilisation du spectrophotomètre sont les suivantes : « *Utilisation correcte de l'appareil* », « *Manipulation des cuves: remplissage et préhension* », « *Organisation du démarrage de l'expérience* », « *Capacité à faire la lecture à l'instant demandé* ».

### 3.2. Analyse des manuels

Les manuels scolaires peuvent être considérés comme une transposition réalisée par les auteurs à partir de différents matériaux, dont les ouvrages universitaires de référence. Les manuels proposent une interprétation du programme, ils reprennent ses objectifs, ils présentent un contenu adapté à ces objectifs et optent pour une méthode d'apprentissage. Il s'agit d'un contenu scientifique conçu dans et pour un cadre d'enseignement.

Dans notre travail, l'analyse du manuel, porte sur les chapitres limités à l'étude des concepts auxquels nous nous intéressons. Nous analysons le manuel utilisé dans les classes qui ont participé à notre expérimentation (Edition HATIER). A travers l'analyse des manuels, nous cherchons à mettre en évidence d'abord le vocabulaire concernant les concepts mis en jeu dans le logiciel *Educ@ffix.net*, ensuite la façon dont les auteurs abordent ces concepts. Il est nécessaire de rappeler que l'analyse du manuel n'est pas directement liée à notre expérimentation avec le logiciel mais cette analyse nous aide afin de préparer notre questionnaire.

### 3.2.1. Seconde

Dans le manuel de Seconde (Edition HATIER), nous cherchons les notions suivantes : concentration molaire, rinçage, homogénéisation, longueur d'onde et fiche de sécurité de produit chimique. L'introduction de chaque chapitre commence par une page d'accueil dans laquelle les objectifs de programme officiel sont cités et le plan du cours est présenté.

L'organisation des chapitres de ce manuel nous permet de constater des parties « activité de découverte », « cours », « TP » et « exercices ». Il est nécessaire de dire que dès le premier chapitre du manuel nous rencontrons le classement des espèces chimiques avec des images des étiquettes en terme de danger. Après chaque partie « cours » et avant la partie « TP », nous rencontrons une page d'« *essentiel* » dans laquelle les auteurs résument ce qu'ils ont abordé dans la partie « cours » en employant des images illustratives.

Les auteurs commencent à introduire la notion de quantité de matière dans le chapitre intitulé « *la mole* » dans lequel ils abordent aussi les notions de masse molaire, volume molaire ainsi que le nombre d'entités chimiques. Suite à ce chapitre, nous rencontrons le chapitre intitulé « *concentration molaire* » auquel nous nous intéressons. Dans ce chapitre, la partie « cours » commence par une définition sur la notion de solution et de solvant. Avant de définir la notion de concentration molaire et de présenter sa formule, les auteurs introduisent la notion de solution homogène et la façon d'homogénéiser. Nous citons l'explication que nous avons trouvée dans ce chapitre sur la façon d'homogénéiser « *pour obtenir une solution homogène, il faut bien l'agiter au cours de la dissolution* ». Nous trouvons également l'explication de l'aspect microscopique des solutions avec des images explicatives. Après la définition de concentration molaire et la présentation de sa formule, nous rencontrons quelques exemples de la concentration des solutions des produits connus par les élèves tels que les sirops, vin, eau de mer, eau minérale.

Suite à cette information sur la notion de concentration molaire, les auteurs présentent la verrerie fréquemment utilisée au laboratoire pour la préparation de solutions (burette graduée, éprouvette graduée, fiole jaugée, bécher, pipette, agitateur en verre...). Dans le sous chapitre intitulé « *dilution d'une solution* », nous trouvons la définition suivante : « *lors d'une dilution, la concentration molaire du soluté diminue, mais sa quantité de matière ne change pas* ». La fabrication d'une échelle de teintes et son utilisation sont présentes dans ce manuel avec une image explicative.

Quant à la notion de la longueur d'onde, nous la rencontrons dans le chapitre intitulé « *un système dispersif : le prisme* » qui appartient à la partie physique de ce manuel. L'introduction de cette notion commence par l'expérience de Newton qui a montré que la lumière blanche est polychromatique et le prisme permet de séparer les différentes couleurs qui la composent. Dans ce cas, la définition que nous avons trouvée est la suivante : « *une lumière monochromatique est constituée d'une radiation. Cette radiation est caractérisée par un nombre appelé longueur d'onde et noté  $\lambda$ . La longueur d'onde s'exprime avec une unité de longueur (le mètre ou ses sous-multiples). Ce nombre est le même dans le vide ou dans l'air.* ».

Nous pouvons donc dire que les notions de concentration molaire, d'homogénéisation, de dilution, de longueur d'onde et de fiche de sécurité d'un produit chimique sont bien présentes dans le manuel de Seconde comme le programme officiel le recommande (sauf la notion d'homogénéisation qui n'a pas été recommandée dans ce niveau-là). Le vocabulaire utilisé sur la notion d'homogénéisation correspond au verbe « agiter ». La présentation de solutions aqueuses est toujours illustrée avec des images explicatives. Les auteurs donnent des exemples connus par les élèves sur la notion de concentration molaire pour que les élèves comprennent mieux cette notion et fassent le passage de la théorie à la réalité grâce à ces exemples.

### 3.2.2. Terminale

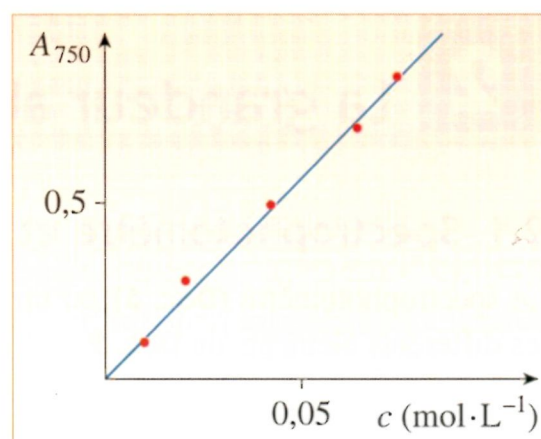
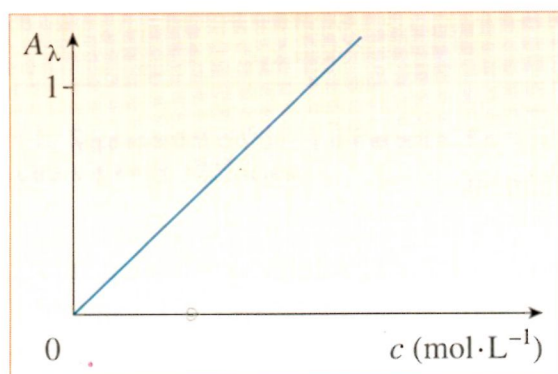
Dans le manuel de Terminale S (Edition HATIER) nous recherchons les notions suivantes : absorbance, loi de Beer-Lambert, additivité d'absorbance, spectre d'absorbance et longueur d'onde. Toutes ces notions sont présentes dans le chapitre intitulé « *spectrophotométrie et applications* » de ce manuel. Comme dans le manuel de Seconde, nous rencontrons une page d'accueil dans laquelle les objectifs du programme officiel sur les notions mises en jeu sont cités et le plan du cours est présenté.

Les auteurs commencent à introduire la notion d'absorbance dans la partie intitulée « *activité de questionnement* » en parlant de la notion de lumière à travers une activité permettant d'approcher la grandeur absorbance ( $A_\lambda$ ). Ils abordent également la notion du spectrophotomètre ainsi : « *le spectrophotomètre traduit cette absorbance en affichant une grandeur appelée absorbance, notée  $A_\lambda$ . Cette grandeur est sans unité.* ». Dans le même sous chapitre, les auteurs abordent la réalisation d'une courbe d'étalonnage ainsi que la préparation d'une solution à doser. Nous nous apercevons tout de suite qu'ils tentent de mettre en évidence implicitement la relation entre l'absorbance et la concentration d'une solution colorée.

Dans la partie « cours » sur la spectroscopie, les auteurs donnent le spectre de la lumière blanche et le spectre d'absorbance d'une solution colorée avant d'aborder la grandeur absorbance. Il est important de dire que le terme « *spectre d'absorbance* » n'apparaît pas dessous le graphique utilisé. Nous constatons également qu'ils montrent le « pic d'absorbance » où la radiation est absorbée par la solution colorée sur ce graphique.

Dans ce sous chapitre, ils abordent explicitement les notions de spectrophotomètre et d'absorbance comme ceci : « l'analyse d'une solution colorée réalisée avec un spectrophotomètre permet la mesure d'une grandeur appelée absorbance, notée  $A_\lambda$ .  $A_\lambda$  est sans unité. ». Ils parlent de la gamme d'un spectrophotomètre en disant « les spectrophotomètres usuels mesurent des absorbances comprises entre 0,01 et 3. ».

Quant à la loi de Beer-Lambert, les auteurs présentent la relation entre l'absorbance et la concentration d'une solution colorée par la formule «  $A_\lambda = k \cdot C$  » et ajoutent « *la courbe d'étalonnage est établie pour une longueur d'onde  $\lambda$  donnée. C'est une droite si  $A\lambda < 1$*  ». Ceci nous permet de dire que, d'après ce manuel, le domaine de validité de la linéarité de la loi de Beer-Lambert se situe quand les absorbances à la longueur d'onde donnée se trouvent entre 0 et 1 (voir figure ci-dessous à gauche).



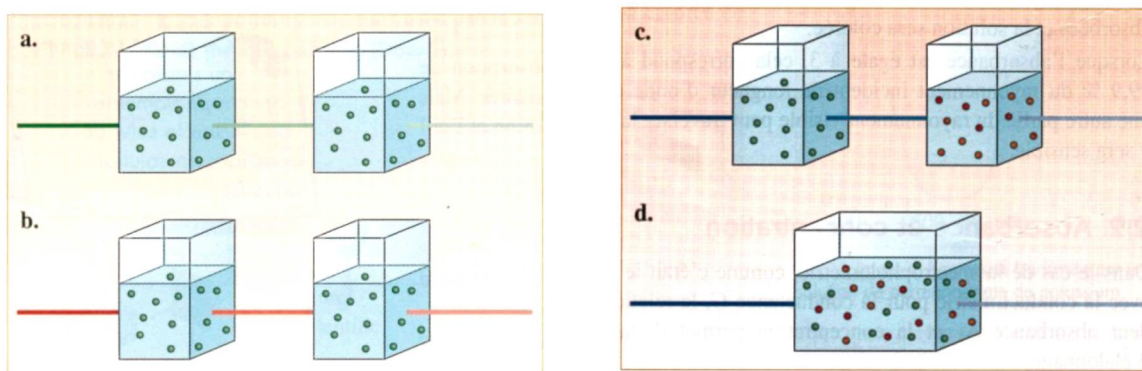
**Doc. 7.** Courbe d'étalonnage représentant l'absorbance en fonction de la concentration.

Figure 10 : Différentes présentations des courbes étalons dans le manuel



Nous trouvons également un exemple d'une courbe d'étalonnage (voir figure ci-dessus à droite) représentant l'absorbance en fonction de la concentration et l'explication suivante : « en spectrophotométrie, pour qu'une courbe d'étalonnage passe précisément par l'origine, il faut soustraire à chaque mesure de l'absorbance d'une solution, l'absorbance de la même cellule ne contenant que de l'eau distillée ».

Les auteurs abordent la notion d'additivité des absorbances en illustrant les différentes représentations schématiques d'un point de vue microscopique (figure ci-dessous). Cette relation simple permet aux élèves d'une part de comprendre le principe du réglage du zéro du spectrophotomètre et d'autre part de comparer spectrophotométrie et conductimétrie ce que les auteurs effectuent.



Doc. 8. a. et b. Représentation de la différence d'absorbance à deux longueurs d'onde distinctes.

Doc. 8. c. et d. Représentation de l'additivité des absorbances.

Figure 11 : Représentations schématiques de l'additivité des absorbances dans le manuel

Ils parlent de la notion du « blanc » comme ceci : « on utilise la règle d'additivité des absorbances quand on fait la différence entre l'absorbance d'une portion de solution et l'absorbance de la même cellule ne contenant que de l'eau distillée. La différence des absorbances est la contribution du seul soluté ».

Dans la page d'« essentiel », les auteurs utilisent différentes illustrations pour expliquer le principe de la spectroscopie et la mesure d'une absorbance à l'aide d'un spectrophotomètre.

A travers des exercices à la fois résolus et non-résolus dans ce manuel de Terminale S, nous constatons que la notion de longueur d'onde et l'intérêt de la notation  $A_\lambda$  sont aussi importants que la notion de courbe d'étalonnage. Dans la partie « exercices », il y a trois sortes de questions : (1) *contrôler ses connaissances*, (2) *appliquer ses connaissances* et (3) *aller plus loin*. Au total il y a 14 exercices parmi lesquels les auteurs demandent aux élèves soit de nommer la courbe d'étalonnage soit de la tracer d'après les résultats expérimentaux. Par contre ils ne demandent jamais aux élèves de choisir la longueur d'onde de mesure à la quelle les élèves vont mesurer l'absorbance de différentes solutions afin de tracer la courbe d'étalonnage. C'est-à-dire qu'ils ne proposent pas aux élèves un spectre d'absorbance sur lequel les élèves choisissent la longueur d'onde de mesure. C'est l'énoncé de l'exercice qui donne la longueur d'onde à laquelle on mesure l'absorbance.

Nous pouvons donc dire que l'utilisation d'un spectrophotomètre avec les connaissances théoriques indispensables est abordée dans le même chapitre de ce manuel. Nous n'avons trouvé aucune explication destinée aux élèves sur le choix de la longueur d'onde pour réaliser une étude dans ce manuel.

Notre analyse des manuels sur les concepts auxquels nous nous intéressons a relevé que



- Le verbe « agiter » correspond à la notion d'homogénéisation
- La notion de concentration est omniprésente dans le programme officiel pour la classe de Seconde
- Les images des étiquettes de produits chimiques avec symboles de sécurité sont utilisées assez fréquemment
- La formule de la loi de Beer-Lambert est présentée de la façon suivante :  $A_\lambda = k.C$  et non pas comme ceci  $A_\lambda = \epsilon_\lambda.l.C$
- Si l'absorbance est inférieure à 1, la courbe d'étalonnage est une droite
- Le choix de la longueur d'onde de mesure n'est pas abordé en tant que telle
- L'additivité des absorbances se limite à l'utilisation de l'eau comme blanc
- Le graphique d'absorbance en fonction de la longueur d'onde n'utilise pas la terminologie « spectre d'absorbance », mais « spectre d'absorption »

## CHAPITRE 4. Educ@ffix.net

Nous présenterons, dans le présent chapitre, le logiciel *Educ@ffix.net* de façon détaillée afin de montrer en quoi consiste le logiciel et comment il fonctionne. D'abord, nous allons décrire le type de travail implanté dans le logiciel et les choix faits par les concepteurs du logiciel à la fois au niveau matériel et au niveau de la présentation de la tâche proposée. Ensuite, nous présenterons le tuteur artificiel et sa façon d'agir lors de la construction du protocole expérimental dans le logiciel.

### 4.1. Qu'est-ce qu'*Educ@ffix.net* ?

Le logiciel *Educ@ffix.net* est un prototype réalisé à l'issu d'un projet financé par le ministère de la recherche (2000-2003), avec une collaboration entre l'entreprise CCE-Educaffix et le laboratoire LIDSET<sup>6</sup> de l'Université Joseph Fourier (UJF). De façon globale, ce projet a consisté à construire pour des apprenants de niveau Terminale scientifique ou de première année universitaire, une séance de TP de chimie qui puisse être effectuée en autonomie à partir d'un ordinateur connecté à Internet (d'Ham *et al.* 2004). La séance de TP de chimie dans le prototype *Educ@ffix.net* contient d'une part la construction d'un protocole expérimental par l'apprenant et d'autre part une manipulation réalisée par l'intermédiaire d'un robot manipulateur. L'apprenant construit le protocole de la manipulation grâce à un environnement informatique dédié. Le protocole est validé par un tuteur artificiel avant d'être exécuté par le robot, avec retour visuel en temps réel pour l'apprenant.

Dans le système *Educ@ffix.net*, l'expérience de chimie à réaliser est un dosage dont l'objectif est de déterminer la concentration d'une substance colorant dans un échantillon par spectrophotométrie.

### 4.2. Quel type de travail implanté dans *Educ@ffix.net* ?

Dans ce système l'apprenant construit un protocole expérimental en utilisant différents types d'opération pré-définie dans le logiciel afin de répondre à la question posée. L'objectif du travail de l'apprenant est de déterminer la concentration du colorant E124 dans un sirop de grenadine par la méthode spectrophotométrique. Une fois que le protocole expérimental élaboré par l'apprenant est terminé, le tuteur artificiel l'évalue selon les critères définis que nous expliquerons dans les paragraphes suivants. Selon le résultat de cette évaluation, la manipulation est réalisée par le robot et l'apprenant obtient des résultats expérimentaux. L'apprenant peut regarder la manipulation en même temps que le robot l'effectue. Enfin, l'apprenant interprète les données expérimentales et répond à la question posée. Nous schématisons dans la figure ci-dessous le déroulement du TP dans le système *Educ@ffix.net*.

---

<sup>6</sup> LIDSET : Laboratoire Interdisciplinaire de Didactique des Sciences Expérimentales et des Technologies

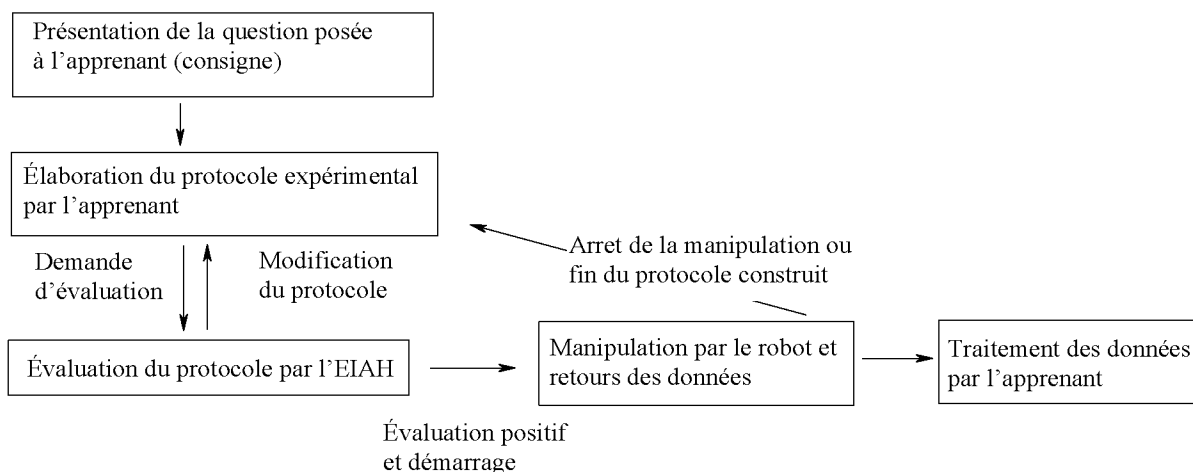


Figure 12 : Le déroulement du TP dans le système Educ@ffix.net

Comme nous pouvons le voir dans la figure ci-dessus, il peut exister des allers-retours entre la phase de construction de protocole expérimental et la phase de manipulation. En effet, selon les stratégies suivies par l'apprenant dans le TP auquel nous nous intéressons, il peut être nécessaire d'obtenir des résultats expérimentaux afin de spécifier entièrement le protocole expérimental. C'est dans les deux cas suivants qu'il est nécessaire d'avoir un retour expérimental : (1) obtenir le spectre du colorant pour déterminer à quelle longueur d'onde faire les mesures d'absorbances de la gamme étalon et (2) comparer la couleur du sirop de grenadine avec celle des solutions de la gamme étalon pour savoir quelle dilution appliquer avant la mesure.

### 4.3. Quelles sont les contraintes liées au système Educ@ffix.net ?

#### Accès limité au robot

Étant donné les contraintes techniques dues au robot et le fait que la manipulation de chimie choisie est assez longue, l'apprenant ne peut effectuer plusieurs manipulations dans une seule séance de TP. C'est la raison pour laquelle la manipulation robotisée est effectuée une fois que le protocole est validé par le tuteur artificiel dans le système Educ@ffix.net.

#### Matériel

En ce qui concerne le matériel disponible dans le système Educ@ffix.net, nous pouvons dire que le matériel est un peu différent de celui qui est utilisé dans l'enseignement classique de chimie. Le matériel utilisé dans ce système ressemble plutôt à celui qui est proposé par la microchimie ou utilisé dans des laboratoires d'analyse. À titre d'exemple dans le laboratoire d'enseignement classique, lors de la préparation des solutions filles les matériels utilisés par les élèves comprennent des pipettes de 5 ou 10 mL, des fioles jaugées de 100 ou 250 mL et des béchers de 100 ou 250 mL. Même si les élèves utilisent ces matériels pour préparer des solutions, les techniques d'analyses employées dans les travaux pratiques nécessitent majoritairement de faibles quantités de solution. Par exemple, la spectrophotométrie ne nécessite pas plus de 5 mL de solution.

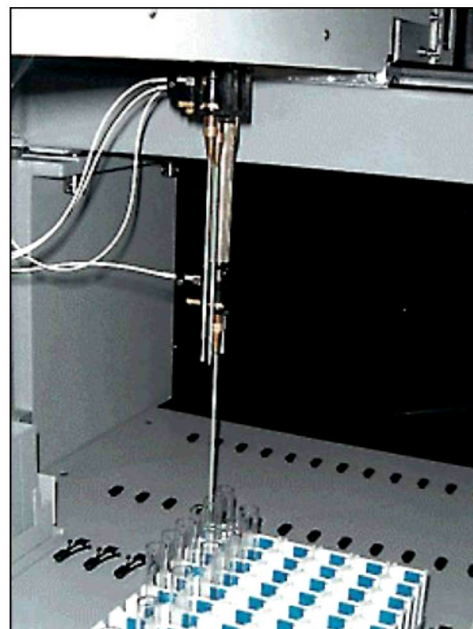
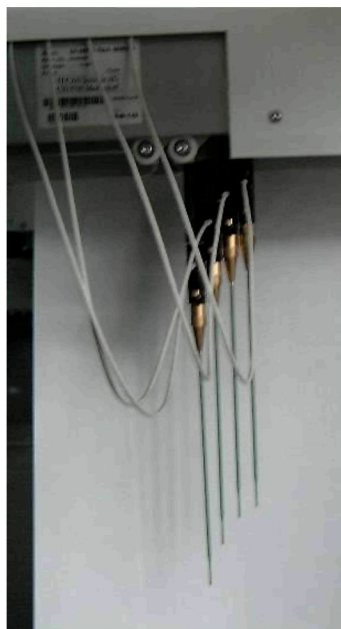
En ce qui concerne le fonctionnement du robot, nous soulignons que son fonctionnement est différent par rapport à la pratique expérimentale que les élèves l'apprennent dans la classe. Par exemple, pour la manière d'homogénéiser une solution diluée. Dans la classe, les élèves peuvent effectuer action d'homogénéisation en agitant la solution diluée. Dans le système Educ@ffix.net, c'est l'aiguille de prélèvement qui effectue l'homogénéisation car la contrainte ne permet pas d'agiter la solution diluée.

Dans le système *Educ@ffix.net*, la manipulation de solutions est réalisée par le robot diluteur (figure 13). Le robot se trouve dans un laboratoire dont il dispose d'accès à Internet. Ce robot est composé d'une table de manipulation au dessus de laquelle se déplace un bras articulé muni d'aiguilles (figure 13) servant à prélever et délivrer des liquides dans un tube de 5 mL.



*Figure 13 : Le spectrophotomètre et le robot diluteur dans le système Educ@ffix.net*

Quant au spectrophotomètre qui se situe sur la paillasse du robot, il est mono-faisceau et dispose d'une cuve en quartz optique de 1 cm comme la plupart des spectrophotomètres.



*Figure 14 : Les aiguilles du robot*

## 4.4. Comment construit-on le protocole expérimental dans *Educ@ffix.net* ?

Afin de mieux structurer le travail de l'apprenant qui consiste à concevoir un protocole expérimental cohérent par rapport au problème posé, les concepteurs ont proposé à l'apprenant cinq étapes pré-établies dans le cahier du laboratoire de TP. Ces étapes imposent à l'apprenant explicitement une stratégie pour la résolution du problème. Cette pré-structuration du cahier de laboratoire est importante pour deux raisons. La première est qu'elle rend le travail de l'élève moins difficile car un protocole expérimental complet est constitué d'environ 27 opérations et chaque opération étant elle-même caractérisée par 1 à 4 paramètres à choisir, le tout formant un espace très important. La deuxième raison c'est que cette pré-structuration a permis aux concepteurs d'implémenter plus facilement les retours du tuteur artificiel séparément pour chaque étape (d'Ham *et al.* 2004). Les cinq étapes correspondant aux grandes phases du protocole expérimental sont les suivantes :

Etape 1 : Produits sélectionnés
Etape 2 : Préparation des solutions de la gamme étalon
Etape 3 : Obtention des points de la courbe étalon
Etape 4 : Préparation des solutions à partir du sirop de grenadine
Etape 5 : Mesure(s) servant à obtenir la concentration en E124 du sirop de grenadine

Afin de pouvoir spécifier le protocole de manipulation dans le cahier du laboratoire, il est nécessaire que l'apprenant ait des outils à sa disposition. Pour cela, les concepteurs ont proposé à l'apprenant des opérations élémentaires pour qu'il puisse construire son protocole expérimental dans ce système. Ces opérations, appelées « actions », sont au nombre de huit pour ce TP, et sont caractérisées par des paramètres qui doivent être spécifiés par l'apprenant. Ces actions sont définies comme des procédures générales, indépendantes du matériel et pouvant être réemployées dans d'autres contextes de travail de laboratoire. L'apprenant 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. L'apprenant est totalement autonome par rapport à la sélection des actions et par rapport à l'ordre dans lequel il les place. Nous présentons ces actions dans le tableau ci-dessous.

Actions à choisir	Paramètres à spécifier
Sélectionner les produits	produit
Consulter une fiche de sécurité	produit
Préparer une solution par dilution	solution mère / V prélevé / solvant / V total
Enregistrer la ligne de base du spectrophotomètre	solution
Réaliser un spectre	$\lambda$ min / $\lambda$ max / solution
Mesurer une absorbance	$\lambda$ / solution
Rincer	matériel / solution de rinçage
Homogénéiser	solution

Tableau 3 : Actions à choisir et paramètres à spécifier pour construire un protocole dans *Educ@ffix.net*

Les deux premières actions consistent à choisir des produits chimiques et à prendre en compte le risque éventuel de ces produits (fiches de données de sécurité). Dans notre étude, elles sont liées à la première étape et ont un statut un peu différent des six actions suivantes. La préparation des solutions par dilution consiste à choisir la solution mère, le volume à prélever, le solvant et le volume total de la solution à préparer. L'utilisation d'un spectrophotomètre

mono-faisceau nécessite l'enregistrement d'une ligne de base (blanc), la réalisation d'un spectre et/ou la mesure d'une absorbance à une longueur d'onde choisie. Le rinçage du matériel et l'homogénéisation d'une solution diluée sont des opérations liées au matériel disponible et à la solution utilisée.

#### 4.5. Le tuteur artificiel dans *Educ@ffix.net*

Le tuteur artificiel effectue une série de tests sur les données spécifiées par l'apprenant au cours de son travail à deux niveaux différents.

Le premier niveau de rétroaction est composé par les « tests d'action ». Ils sont effectués lorsque l'apprenant spécifie et valide une action pour son cahier de laboratoire lors de l'élaboration du protocole. Ce niveau de rétroaction est donc imposé à l'étudiant, et l'action ne peut être validée que si les tests sont positifs. Ces tests sont internes à l'action dans le sens où ils concernent les paramètres d'une seule action. Les tests d'action sont basés sur deux critères : (1) les valeurs choisies pour les paramètres ont-elles une signification physique ? Par exemple, il n'est pas permis de diluer un volume de 3 mL d'une solution X avec un solvant Y pour obtenir un volume final qui serait supérieur à 3 mL. (2) les valeurs choisies pour les paramètres peuvent elles entraîner des conséquences dangereuses ? Par exemple, mettre dans un tube plus que sa contenance entraînerait un débordement et de potentiels problèmes de type court-circuit. Le retour des tests d'action est formulé sous forme de court message, apparu immédiatement sur l'écran, invitant l'apprenant à vérifier les paramètres de son action par rapport au problème détecté.

Le système vérifie la validité du protocole selon les deux critères suivants : (1) le protocole proposé permet-il de répondre au problème posé ? (2) le protocole aboutira-t-il à un résultat significatif ?

Le second niveau de rétroaction concerne les tests « inter-actions ». Ces tests sont effectués à la demande de l'apprenant quand il clique sur le bouton « *évaluer le protocole* ». Ces tests sont effectués étape par étape sur l'unique critère suivant : les actions spécifiées dans l'étape considérée sont-elles suffisantes pour permettre à l'apprenant d'obtenir des résultats expérimentaux pouvant être traités afin de répondre à la question initiale ? Ce critère est assez général, et il signifie qu'un protocole validé par le tuteur artificiel permettra à l'apprenant de trouver un résultat de concentration proche de la concentration réelle. Ce qui est important dans ce critère c'est que l'apprenant applique une méthodologie expérimentale correcte, sans chercher forcément à ce que son protocole soit identique à celui de l'expert.

L'apprenant a la possibilité d'évaluer son protocole expérimental quand il veut lors du travail de construction du protocole expérimental, quelque soit le nombre des actions ajoutées dans son cahier du laboratoire. Au moment où l'apprenant clique sur le bouton « *évaluer* », le contrôle du protocole expérimental par le tuteur commence. Ce contrôle se fait du point de vue des actions et des paramètres sélectionnés dans le cahier du laboratoire. Il y a quatre types d'erreurs que l'apprenant peut commettre au cours de son travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*:

- Si l'apprenant ne réalise pas les actions minimum pour pouvoir atteindre l'objectif, le message d'erreur correspond à l'objectif non réalisé
- Si l'apprenant ne maîtrise pas les actions de base des manipulations comme rinçage ou homogénéisation, le message d'erreur correspond aux actions de base
- Si l'apprenant ne maîtrise pas la mise en œuvre des méthodes nécessaires comme gamme étalon ou spectrophotométrie, le message d'erreur correspond à la mise en œuvre de méthode
- Si l'apprenant ne prend pas en compte les problèmes contingents de la manipulation, le message correspond au problème pratique.

Les résultats de l'évaluation sont fournis à l'apprenant sous la forme de texte et schéma. Il s'agit d'une aide comprenant trois niveaux différents (voir figure 15). Les trois niveaux de rétroaction du tuteur sont présentés sur un exemple dans la figure ci-dessous : 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.

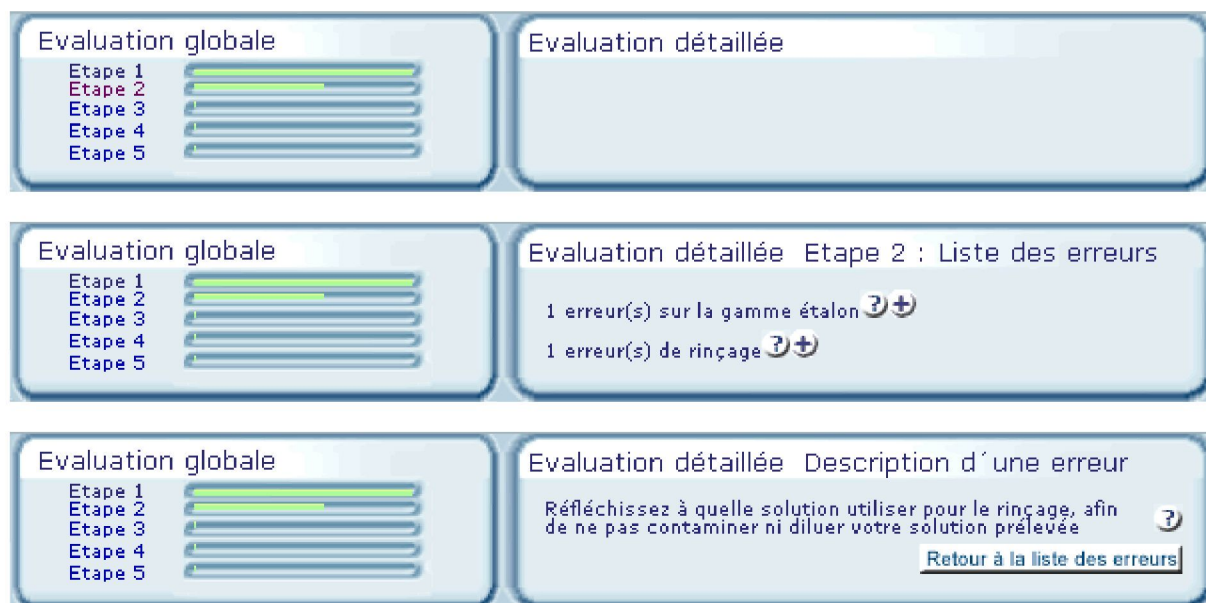


Figure 15 : Trois niveaux de rétroaction donnés par le tuteur artificiel

Dans la première série de fenêtre, le tuteur montre seulement un taux d'avancement général pour chacune des étapes prédéfinies. Dans un deuxième niveau (fenêtres du milieu), le tuteur indique également le nombre et le type d'erreurs commises. Par exemple, dans l'étape 2, il y a deux erreurs, l'une liée à la gamme étalon et l'autre liée au rinçage. Dans un troisième niveau (fenêtre du bas), si l'apprenant clique sur l'image point d'interrogation (?) pour un type d'erreur, il aura plus d'information sur l'erreur commise. Par exemple, pour une erreur de type rinçage, le tuteur artificiel renverra le message suivant : « Réfléchissez à quelle solution utiliser pour le rinçage, afin de ne pas contaminer ni diluer votre solution prélevée ». Depuis le deuxième niveau, le tuteur propose également à l'apprenant un lien direct vers la page de cours appropriée correspondant au type d'erreur commise. Il est nécessaire de souligner que le tuteur artificiel ne propose pas une correction du protocole mais pointe les problèmes à corriger par l'apprenant.

#### 4.6. Interface du logiciel *Educ@ffix.net*

L'interface du logiciel *Educ@ffix.net* comprend trois parties différentes. La première partie qui se situe à gauche de l'interface comprend trois onglets « actions », « cours » et « paillasse » (figure 16). La deuxième partie est le cahier du laboratoire de l'apprenant dans lequel les actions qu'il a choisies pour construire le protocole expérimental s'inscrivent automatiquement. Dessous le cahier du laboratoire, se trouvent des boutons permettant de déplacer ou modifier des actions ajoutées. La troisième partie de l'interface qui se situe sous le cahier du laboratoire de l'apprenant concerne l'évaluation du protocole expérimental et apparaît lorsque l'apprenant a appuyé sur le bouton « évaluer le protocole ». Les fenêtres de l'évaluation présentées auparavant s'ajoutent sous les boutons de modification et d'évaluation du protocole. Nous présentons ci-dessous l'interface du logiciel *Educ@ffix.net* afin de donner une vision globale.



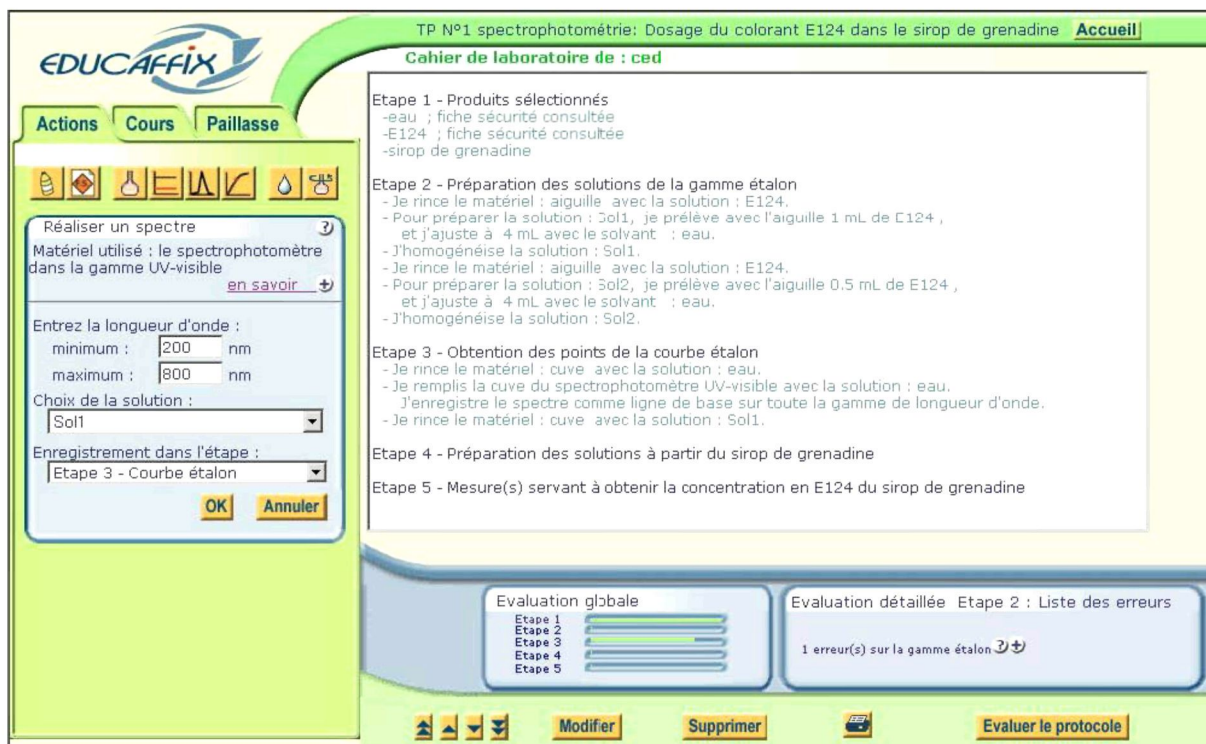


Figure 16 : Interface du logiciel Educ@ffix.net pour construire le protocole expérimental

Dans la première partie de l'interface du logiciel *Educ@ffix.net*, dans le premier onglet, l'apprenant dispose de huit actions manipulatoires pré-sélectionnées. Dans cet onglet, 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'apprenant doit définir le volume et la nature de la solution mère, ainsi que le volume total de la nouvelle solution et la nature du solvant utilisé (voir les exemples donnés dans la figure 17).



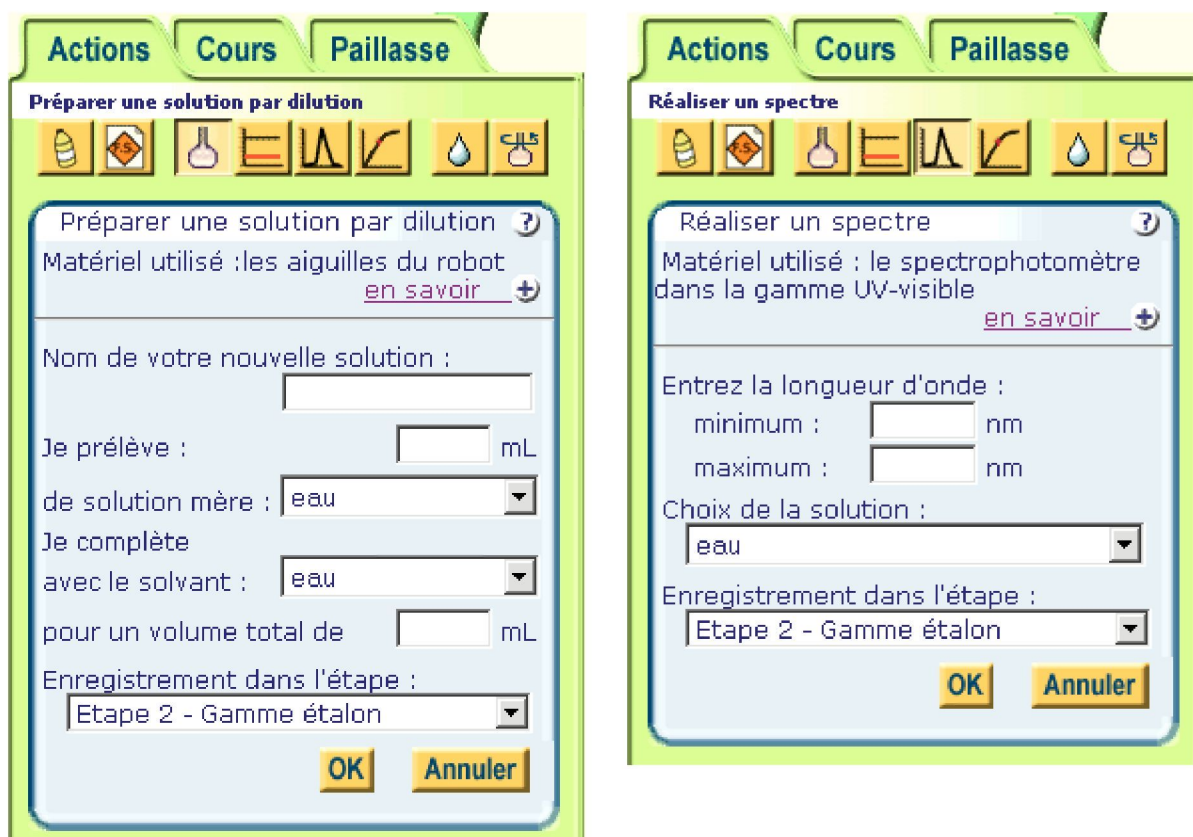


Figure 17 : Boîtes de dialogue utilisées pour définir les actions « Préparer une solution par dilution » et « Réaliser un spectre ».

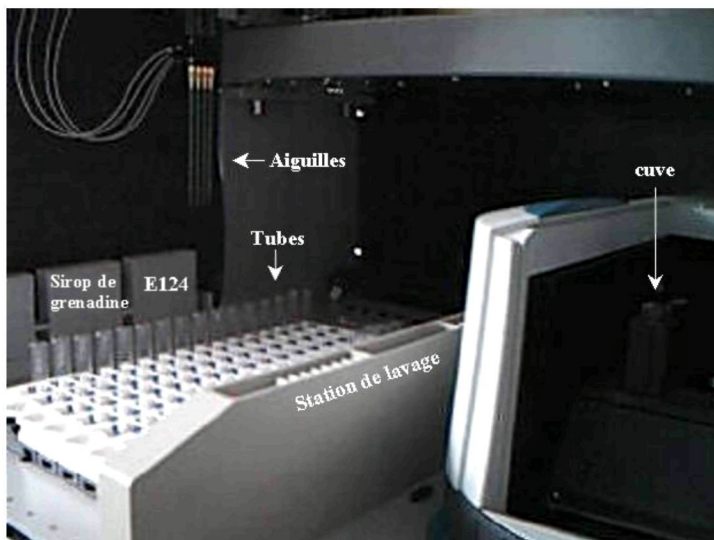
Dans le deuxième onglet, le logiciel *Educ@ffix.net* propose à l'apprenant des explications sur les principales notions qui sont mises en jeu lors du travail de la construction du protocole expérimental dans la partie appelée « cours ». Dans cet onglet l'apprenant sélectionne la partie cours à laquelle il veut accéder. Cette partie cours contient à la fois des explications sur les aspects théoriques des notions telles que la loi de Beer-Lambert, le spectrophotomètre et sur les aspects pratiques des opérations indispensables dans le laboratoire telles que rinçage, homogénéisation. Nous présentons, dans le tableau ci-dessous, la partie cours telle qu'elle est divisée dans le logiciel.

Aspects théoriques	Aspects pratiques
sirop de grenadine	produits chimiques
principes physiques de la spectrophotométrie	préparer une solution par dilution
spectrophotomètre UV visible	rincer
spectrophotomètre : loi de Beer-Lambert	homogénéiser
dosage par spectrophotométrie	le laboratoire Educaffix

Tableau 4 : Plan du cours accessible dans *Educ@ffix.net*

L'apprenant peut accéder à ces parties à partir de l'onglet « cours » quand il a besoin de plus d'informations. Il peut y accéder aussi à partir de la fenêtre dans laquelle les résultats de l'évaluation de son cahier du laboratoire s'affichent en bas de l'interface. Les explications proposées dans la partie cours sont présentées en annexe.

Dans le dernier onglet (appelé paillasse), l'apprenant peut regarder la manipulation effectuée par le robot dans une fenêtre comme le montre la figure ci-dessous (figure 18). Lors de la manipulation, l'apprenant peut zoomer sur les matériels ou sur l'opération qui est en train de se dérouler grâce aux deux caméras installées aux différents angles. Nous donnons ci-dessous une image de la paillasse que l'apprenant reçoit avant de commencer la manipulation.



*Figure 18 : La fenêtre dans l'onglet paillasse du logiciel*



DEUXIEME PARTIE.  
PROLEMATIQUE, METHODOLOGIE,  
ANALYSE A PRIORI



# CHAPITRE 5. PROBLEMATIQUE : QUESTIONS, HYPOTHESES, CADRE THEORIQUE

Nous présentons dans ce chapitre la problématique de notre recherche. Après une brève description du contexte dans lequel se situe notre travail, nous présenterons d'abord les questions que nous nous sommes posées sur la capacité qu'a un élève de Terminale Scientifique à concevoir un protocole expérimental lorsqu'il utilise *Educ@ffix.net* et sur les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole avec ce logiciel (cf. partie 5.2.), puis des hypothèses que nous avons formulées suite à ce questionnement. Ensuite nous aborderons la place des activités expérimentales dans l'enseignement des sciences expérimentales, notamment en chimie (cf. partie 5.3.). Enfin, nous précisons la place occupée par notre recherche dans l'enseignement des sciences expérimentales, à savoir la notion de la construction de protocole expérimentale dans la démarche expérimentale (cf. partie 5.4. et 5.5.). Nous terminerons en discutant de la place de l'environnement informatique dans les activités expérimentales notamment en chimie (cf. partie 5.6.), la notion du contrat didactique (cf. Partie 5.7.) ainsi que celle de conceptions (cf. partie 5.8.).

## 5.1. Contexte dans lequel se situe ce travail

L'activité expérimentale dans le cadre de l'enseignement des sciences expérimentales est un support indiscutable pour l'apprentissage. Cette activité évite aux connaissances apprises dans le cours par les élèves d'apprendre par cœur sans comprendre. Les travaux pratiques sont importants dans l'enseignement des sciences expérimentales car certains objectifs d'apprentissage spécifiques peuvent être mis en œuvre dans ce type d'activité. Par exemple l'utilisation d'un spectrophotomètre afin de mesurer l'absorbance d'une solution colorée nécessite de connaître à la fois la théorie des concepts qui sont mis en jeu (longueur d'onde, absorbance, blanc, additivité d'absorbance) et l'utilisation de l'appareil au niveau gestuel. Cela veut dire que l'utilisation de cet appareil fait partie de l'objectif d'apprentissage que ce soit explicite ou implicite lors de l'apprentissage.

Le contenu des TP est strictement lié à l'objectif d'apprentissage que les concepteurs de ceux-ci assignent. Diverses études ont montré qu'il y a de nombreux objectifs d'apprentissage pour les TP (Kerr 1963, Tiberghien *et al.* 2001) et il y a trop d'objectifs associés pour une seule séance du TP (Séré 2002). La manière d'aborder des concepts dans les TP, notamment en chimie, nous a montré qu'il y a différents types de TP dans l'enseignement de la chimie (Domin 1999). La catégorisation des TP permet de voir la relation entre l'objectif d'apprentissage assigné au TP et la façon d'aborder le concept étudié.

Les travaux pratiques, ayant une problématique ouverte par rapport au modèle traditionnel dans le système éducatif français, suivent de façon générale la démarche expérimentale qui comprend différentes étapes telles qu'observer un phénomène, émettre une hypothèse, réaliser une expérimentation, interpréter des résultats. Ce qui nous intéresse dans cette démarche expérimentale c'est la conception du protocole expérimental par l'élève, avant de réaliser l'expérimentation. La conception d'un protocole expérimental dans une activité d'apprentissage correspond à une étape de réflexion qui peut aider à mobiliser l'ensemble des connaissances acquises. Ce type de travail n'est pas toujours attirant pour les élèves car d'une part l'élaboration du protocole expérimental est difficile selon eux et ils n'ont pas l'habitude de l'effectuer (Laugier & Dumon 2003) et d'autre part le protocole expérimental est fourni de façon générale par l'enseignant.

L'utilisation de la technologie pour ce type d'activité peut attirer l'attention des élèves et peut être un travail intéressant pour eux dans le cadre de l'enseignement. Les environnements informatiques pour l'apprentissage humain (EIAH) ont été utilisés dans les différents domaines y compris celui de l'enseignement de la chimie. Avec les progrès de la technologie, il est désormais possible d'effectuer des expériences à distances dans des laboratoires distants. L'utilisation d'un EIAH peut aider à structurer la tâche de conception du protocole qui permettrait de faciliter la tâche des élèves.

## 5.2. Particularité de notre recherche

Le cadre de notre recherche est la construction d'un protocole expérimental avec l'EIAH *Educ@ffix.net*. Notre objectif de recherche s'articule autour de deux questions de recherche. La première concerne l'évaluation de la capacité d'élèves de Terminale Scientifique à concevoir un protocole expérimental cohérent par rapport au problème posé en chimie lors qu'ils utilisent *Educ@ffix.net*. Il s'agit de repérer la nature des difficultés rencontrées, de manière à distinguer celles qui relèvent de la discipline elle-même de celles qui relèvent du contexte.

La deuxième concerne les apprentissages liés à la tâche de conception de protocole avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Il s'agit de repérer chez les élèves l'état des connaissances théoriques et procédurales telles que nous les avons définies et de montrer la relation réalisée entre des connaissances théoriques et la tâche proposée.

### Première question de recherche

Les questions que nous nous sommes posées dans notre étude commencent par la question suivante :

**Q1 :** Est-ce que les élèves de Terminale S sont capables de construire un protocole expérimental par rapport au problème posé en chimie à l'aide d'un EIAH ? Comment les élèves construisent-ils un protocole expérimental par rapport au problème posé ?

Cette première question sur la capacité des élèves de Terminale S à concevoir un protocole expérimental avec l'EIAH nous a conduit aux trois sous questions suivantes dans cette première partie de notre problématique :

**Q1.1.** Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ?

**Q1.2.** Quelles sont les stratégies suivies par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ?

**Q1.3.** Quelle utilisation du tuteur est faite par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ?

Les questions que nous nous sommes posées dans notre travail nous ont conduit à formuler diverses hypothèses concernant la capacité des élèves de Terminale S. Nous pensons que les élèves rencontreront divers types de difficultés lors de la construction du protocole expérimental avec l'EIAH dédié. Ces difficultés seront liées aux raisonnements des élèves, à l'enseignement qu'ils ont suivi et au changement du contexte par rapport à la classe.

La première hypothèse que nous faisons concerne des difficultés liées aux raisonnements des élèves. Nous soulignons que ces raisonnements proposés sont la construction du chercheur et ce sont des candidates conceptions.

**H1** : Les raisonnements des élèves proposés ci-dessous entraînent des difficultés lors de la construction du protocole expérimental.

- l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique
- dans une solution, la concentration en particule du soluté est identique en toute partie du volume
- le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est infini
- la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance
- l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution
- la solution de référence est constituée de la solution mère

Nous faisons une deuxième hypothèse qui concerne des difficultés liées à l'enseignement suivi par les élèves.

**H2** : L'enseignement que les élèves ont suivi entraîne des difficultés lors de la construction du protocole expérimental.

La troisième hypothèse concerne des difficultés liées au changement du contexte par rapport à la situation de la classe.

**H3** : La situation proposée dans Educ@ffix.net diffère de la situation habituelle de la classe, de par la méthode et le matériel utilisé. Ce changement de contexte pour la séance de construction du protocole expérimental entraîne des difficultés pour les élèves.

Les deux dernières hypothèses concernent les stratégies que les élèves suivent au cours de la construction du protocole expérimental et le rôle du tuteur attribué par les élèves lors de la construction du protocole expérimental dans l'EIAH Educ@ffix.net.

**H4** : Les stratégies les plus employées par les élèves sont les moins coûteuses en terme de réflexion et celles vues dans leurs enseignements.

**H5** : Chaque fois que l'apprenant ajoute une action dans son cahier du laboratoire, l'apprenant sollicite le tuteur pour évaluer son action

## Deuxième question de recherche

Quant à la deuxième partie de notre problématique, nous nous sommes posés la question suivante :

**Q2.** Quels sont les apprentissages au cours de la construction du protocole expérimental avec l'EIAH ?



Cette question nous a conduit à trois sous-questions sur l'apprentissage au cours de la construction du protocole expérimental. Les deux questions (Q2.1 et Q2.2) visent à connaître l'état des connaissances des élèves avant l'expérimentation et à savoir si le travail avec le logiciel a permis de faire évoluer les connaissances concernées après le travail avec le logiciel étudié. La dernière question (Q2.3) concerne la manière dont les élèves font la relation entre une connaissance procédurale et la connaissance théorique associée lors de la construction du protocole expérimental.

**Q2.1.** Quelles sont les connaissances théoriques des élèves sur les notions en jeu et leurs évolutions ?

**Q2.2.** Quelles sont les connaissances procédurales des élèves sur les notions en jeu et leurs évolutions ?

**Q2.3.** Comment les élèves font la relation entre une connaissance procédurale et la connaissance théorique associée lors de la construction du protocole expérimental avec l'EIAH dédié ?

En ce qui concerne les apprentissages liées à la tâche de construction du protocole expérimental, nous faisons les hypothèses suivantes.

**H6 :** Le travail de construction du protocole expérimental pour les élèves possédant des connaissances théoriques sur les notions en jeu leur permet de construire des connaissances procédurales.

Quant à la manière de construire une connaissance procédurale, nous faisons l'hypothèse que

**H7 :** La construction des connaissances procédurales s'appuie sur des connaissances théoriques et permet la mise en relation de ces dernières avec la tâche proposée.

Etant donné que nous avons posé nos questions de recherche et fait nos hypothèses, nous aborderons de façon détaillée les notions liées à nos questions de recherche dans les parties suivantes : les travaux pratiques, la démarche expérimentale, la construction du protocole expérimentale, l'EIAH, le contrat didactique et les conceptions des élèves.

Afin de répondre à nos questions de recherche et aux hypothèses formulées nous parlerons dans le chapitre suivant de la méthodologie que nous avons mise en place.

### **5.3. Qu'est-ce qu'une activité expérimentale ?**

Nous commençons d'abord par la notion d'« expérience ». Celle-ci est une notion polysémique car elle désigne à la fois l'expérience dans le domaine des sciences expérimentales et l'expérience entendue au sens de l'expérience pratique. L'expérience signifie en latin *experiri* correspondant d'une part au verbe « éprouver » et d'autre part à celui d'« essayer ». Dans le premier cas, cette notion a permis à la science de progresser et a donné lieu aux développements de celle-ci dans les domaines des sciences dures comme la physique, la chimie, la biologie. Dans le deuxième cas, le terme d'expérience concerne l'expérience du sujet dans le domaine social, culturel et éducatif.

Quant au terme « expérimental », il avait deux sens au sein de l'école à la fin du XIXe siècle. Il s'agissait d'une part d'un enseignement scientifique dont les contenus correspondent à des faits éprouvés par des expériences, nommé les sciences expérimentales. D'autre part, c'était un procédé pédagogique qui voulait que les élèves découvrent eux-mêmes des vérités qu'on voulait leur enseigner. Cette indifférenciation ayant disparue aujourd'hui engendrait une confusion dans la nature des enseignements parce que l'utilisation de ce terme correspondait plutôt à la valorisation des expériences scolaires des élèves (Lebeaume 2002).

Constatons l'importance d'une expérience dans le cadre de l'enseignement des sciences expérimentales comme l'explique le programme officiel du lycée (B.O. n°2, 2001).

*« L'expérimentation est une démarche essentielle des sciences. Elle consiste à imaginer, à inventer des situations reproductibles permettant d'établir la réalité d'un phénomène ou d'en mesurer les paramètres. Cette démarche qui appartient à toutes les sciences envahit aujourd'hui, du fait de l'ordinateur, les mathématiques. Il faut enseigner à l'élève cette démarche, en acceptant les tâtonnements, les erreurs, les approximations. »*

Woolnough (1983) souligne que l'utilisation du laboratoire dans le cadre de l'enseignement doit permettre aux élèves de développer des habiletés expérimentales et d'apprendre comment travaille un scientifique. Mais les laboratoires ont été représentés comme des expériences inventées où les élèves agissent réciproquement avec des matériels pour observer des phénomènes (Hofstein 1988). En effet, dans le travail au laboratoire on exige que les élèves fassent appel à leurs connaissances, théoriques et/ou procédurales et les appliquent dans celui-ci. Il est important de fournir aux apprenants l'accès aux activités expérimentales parce qu'ils y construisent des connaissances scientifiques et cela aide à la compréhension des processus de la science (Scanlon [2]).

Une des raisons pour lesquelles les élèves trouvent la chimie difficile est qu'ils font des observations au niveau macroscopique dans le laboratoire tandis que les enseignants attendent que les élèves interprètent des données au niveau microscopique (Gabel 1999). Gabel distingue en se référant au travail de Johnstone (1991) trois niveaux pour comprendre les différentes façons de représentations dans le domaine de la chimie : l'approche macroscopique, microscopique et symbolique. Le fait d'aider les élèves à mettre en relation ces trois niveaux de représentation peut permettre aux élèves de comprendre mieux les concepts chimiques. Une possibilité pour le faire passe par le travail du laboratoire (Gabel 1999).

Dans le domaine des sciences expérimentales, nous utilisons un terme unique comprenant l'expérience scientifique réalisée à la fois par les enseignants et les apprenants, celui de travaux pratiques (TP). En effet, les TP constituent la base de la formation expérimentale des étudiants de physique, chimie et sciences de la vie et de la terre. Les apports des activités expérimentales qui permettent aux élèves d'accéder à un bon niveau de conceptualisation, s'effectuent souvent par les allers-retours entre la réalité et sa modélisation notamment en sciences expérimentales (Giuseppin 1996). Ce type d'activités expérimentales est conçu de façon générale par l'enseignant notamment au niveau de l'enseignement secondaire. Les activités expérimentales effectuées dans le cadre de l'enseignement des sciences expérimentales jouent un rôle important pour la construction des connaissances par la mise en relation de la réalité expérimentale et du monde des théories et modèles qu'elles favorisent (Bécu-Robinault 1997).

De façon majoritaire, l'activité expérimentale scientifique s'appuie sur des savoirs conceptuels (Séré *et al.* 2001). L'activité qui implique les élèves dans un enseignement expérimental permet une approche qualitative qui est indispensable pour donner du sens au concept étudié. Le travail expérimental est essentiel pour l'apprentissage des sciences expérimentales car c'est la seule situation où peuvent être mis en œuvre certains objectifs d'apprentissage spécifiques. Plusieurs enquêtes menées dans les années 90 ont montré que les

travaux pratiques ne semblent pas apporter toute satisfaction autant aux enseignants qu'aux étudiants au niveau universitaire (Vallée *et al.* 1990, Trincaz & Millet 1990, Bornarel 1991). Les enquêtes et analyses effectuées sur les travaux pratiques en chimie au niveau universitaire ont montré que les objectifs d'apprentissage sont de manière fréquente mal définis et qu'il y a un mélange de façon implicite d'objectifs de savoir, de savoir-faire, d'acquisition d'autonomie chez les étudiants et de formation à la démarche expérimentale dans les TP (Pernot 1990).

Le travail réalisé par Furio-Mas *et al.* (1994), ayant le but de faire résoudre des problèmes ouverts par les élèves en les plaçant non seulement dans les processus de résolution des problèmes mais également dans les processus d'apprentissage constructivistes des sciences, notamment en physique et chimie, a montré qu'il est indispensable de prendre en compte les objectifs suivants pour que le processus de résolution du problème dans la classe soit adaptable à la méthodologie scientifique : (1) augmentation de la créativité et l'intérêt des élèves lors de la résolution du problème en physique et chimie, (2) utilisation des situations problématiques ouvertes le plus possible et (3) traiter l'(es) exercice(s) permettant la pensée divergente.

### **5.3.1. Quels sont les objectifs d'apprentissage dans les travaux pratiques ?**

La première difficulté liée aux TP concerne le nombre d'objectifs associés à ces travaux car il y a trop d'objectifs pour une seule séance de TP (Séré 2002). La littérature que nous avons parcourue nous montre qu'il existe différents objectifs d'apprentissages assignés aux TP. Dans la plupart des pays européens, les TP de chimie sont conçus pour apprendre des procédures standard de laboratoire, bien que récemment se sont développés des TP avec les objectifs définis de manière explicite impliquant les étudiants dans un processus de changement conceptuel (Le Maréchal 1999).

Selon Buckley et Kempa (1971) les travaux pratiques doivent encourager des élèves afin d'acquérir des compétences manipulatoires, des compétences concernant la manière d'observer, la capacité d'interpréter des données expérimentales et la capacité de planifier une expérience.

Diverses études ont permis de voir les différents objectifs d'apprentissage que les enseignants peuvent associer aux TP (Kerr 1963, Tiberghien *et al.* 2001) et que les chercheurs catégorisent (Séré 2002). Le travail effectué par Kerr (1963) avec les enseignants anglais et gallois a permis de catégoriser dix objectifs associés aux travaux pratiques. Nous en citons ci-dessous quelques-uns afin de montrer en quoi consistent les travaux pratiques selon eux : (1) les travaux pratiques devraient encourager les élèves à des observations précises, (2) les TP devraient vérifier des faits et des principes déjà appris, (3) ils devraient favoriser la pensée scientifique de manière simple et méthodologique, (4) ils devraient permettre de développer des habiletés expérimentales, (5) ils devraient donner la formation dans la résolution de problème.

Larcher (2003) considère que les TP ne sont pas un lieu d'apprentissages techniques. Ils donnent accès à un réel, sur lequel élaborer des représentations, en s'appuyant et en enrichissant la « matrice cognitive ». Lynch et Ndyetabura (1983) ont demandé à plus de deux cents enseignants de sciences expérimentales et quatre cents lycéens de choisir quatre objectifs parmi une liste comprenant dix objectifs concernant les travaux pratiques. Selon les résultats, l'objectif le plus cité concerne la compréhension de la théorie et l'objectif le moins cité concerne l'évaluation des acquis en terme de connaissance chez les élèves. Comme les résultats de l'enquête réalisée avec les enseignants européens le montrent (Welzel *et al.* 1998), les deux buts principaux attribués aux TP sont d'apprendre des théories scientifiques à partir du monde des phénomènes et d'employer des connaissances théoriques dans les TP. Nous pouvons donc dire que la théorie d'un concept qui est mis en jeu est importante comme objectif dans les TP et l'évaluation des connaissances n'est pas prioritaire dans les TP. Un travail récemment effectué en France (Richoux *et al.* 2004) a montré que si les élèves sont

placés dans des conditions d'enseignement expérimental adaptées, ils montrent une capacité à réfléchir et argumenter.

Néanmoins d'autres études soulignent l'importance d'objectifs d'apprentissage, autres que l'acquisition de connaissances théoriques. Une enquête réalisée en France avec des enseignants de physique-chimie menant au baccalauréat scientifique (Séré *et al.* 1997) a montré que les deux premiers objectifs les plus assignés aux travaux pratiques concernent d'une part des connaissances du matériel scientifique et des savoir-faire associés à la manipulation et d'autre part la pratique d'une démarche scientifique et démarche expérimentale. Selon les résultats de cette enquête, presque la moitié des enseignants partage l'idée suivante : les TP sont un complément de l'enseignement théorique.

Une enquête réalisée au sein des enseignants européens (Séré *et al.* 2001) a montré l'importance des objectifs assignés par les enseignants aux TP. Ces objectifs sont les suivants : (A) relier la théorie à la pratique, (B) acquérir des habilités expérimentales, (C) acquérir une démarche scientifique, (D) améliorer sa motivation, son développement personnel, son intégration social et (E) évaluer les élèves. D'après les résultats de cette enquête, la France est le seul pays qui place l'objectif (C) au premier rang par rapport aux autres pays (le Danemark, la Grande-Bretagne, l'Allemagne, la Grèce et l'Italie). L'évaluation des élèves (objectif E) est placée en dernier pour tous les pays.

Une enquête réalisée auprès des enseignants de Terminale S (Fanguet *et al.* 2004) a montré que trois quart des enseignants trouvent que la durée qu'ils consacrent aux objectifs de TP tels que l'acquisition des compétences expérimentales et la compréhension des phénomènes est suffisante. Par contre la durée pour la réalisation de calculs, de mise en œuvre et d'exploitation des données est insuffisante selon la moitié des enseignants.

Tiberghien et ses collaborateurs (2001) proposent une classification dans laquelle les objectifs sont répartis en deux catégories. La première catégorie « content » correspond à un apprentissage de théories, modèles, relations et concepts. La catégorie « process » correspond à des savoirs procéduraux et comprend à la fois des objectifs ayant une composante gestuelle, comme apprendre à utiliser un appareil de laboratoire et d'autres qui sont plutôt d'ordre méthodologique, comme apprendre à planifier une investigation pour répondre à une question scientifique. Nous présentons dans le tableau ci-dessous cette classification de Tiberghien *et al.* (2001).

Content	identifier des objets et phénomènes et se familiariser avec eux
	apprendre un fait
	apprendre un concept
	apprendre une relation
	apprendre une théorie / un modèle
Process	apprendre à utiliser le matériel de laboratoire
	apprendre à exécuter une procédure standard
	apprendre à planifier un travail investigation pour répondre à une question scientifique
	apprendre à traiter des données
	apprendre à utiliser des données pour tirer une conclusion
	apprendre à communiquer les résultats du TP

Tableau 5 : Classification des objectifs d'apprentissage dans les TP (Tiberghien *et al.* 2001)

Les travaux de Tiberghien *et al.* (2001) portent sur l'analyse de documents de TP dans six pays européens, dans le cadre du projet européen « Labwork in Science Education » (LSE). Les résultats montrent qu'identifier des objets et phénomènes, ainsi qu'apprendre des concepts sont deux objectifs d'ordre conceptuel fréquemment rencontrés dans les TP de chimie. Néanmoins, l'objectif le plus représenté dans les TP de chimie correspond à « apprendre à

exécuter une procédure standard ». L'utilisation du matériel est aussi un objectif important, tandis qu'apprendre à planifier le travail d'investigation est l'objectif le moins représenté dans les TP. Ces résultats ne sont donc pas conformes aux intentions des enseignants, qui d'après les études citées précédemment, plaçaient la démarche expérimentale comme un objectif prioritaire.

Séré (2002) a proposé une catégorisation des objectifs des TP en trois catégories : (1) conceptuel, (2) épistémologique et (3) procédural. Soulignons que cette réflexion de Séré fait suite au projet LSE.

Le premier type d'objectif assigné aux TP est basé sur de nombreuses études concernant l'acquisition des connaissances conceptuelles (théoriques) établies dans les TP. Les différents rôles assignés aux connaissances théoriques pendant le TP ne doivent pas être considérés comme similaires : vérifier, établir, découvrir et utiliser ces dernières. Dans ce type de TP visé, l'objectif conceptuel, la théorie est utilisée afin d'aider la compréhension de la pratique et de relier la théorie à la pratique dans le travail du laboratoire. Les connaissances théoriques sont omniprésentes à la fois dans les objectifs assignés aux TP et dans les TP car la plupart des TP analysés dans LSE utilise les connaissances théoriques dans chaque étape de l'expérimentation.

Le deuxième type d'objectif assigné aux TP concerne le fait qu'en travaillant avec un appareil et des objets, les élèves acquièrent une compréhension intuitive de l'utilisation de la théorie dans la réalité, du développement de connaissances théoriques, du choix de données expérimentales, des rôles respectifs de mesure et d'observation dans les TP. Comme Séré (2002) le souligne, le TP peut être considéré comme une occasion de placer la philosophie des sciences dans son contexte approprié. Ce type de TP concerne de façon majoritaire l'« image de la science »<sup>7</sup> chez les élèves et les enseignants car il s'agit d'une relation entre la théorie et des données expérimentales. En effet, les élèves raisonnent d'après les résultats qu'ils ont obtenus dans l'expérimentation et emploient la théorie pour la relier avec les données expérimentales.

Le dernier type d'objectif assigné aux TP (procédural) concerne des méthodes d'investigations, des procédures et des habiletés expérimentales mises en œuvre dans des expériences. Ces objectifs sont exigés autant de la part des enseignants que de la part des concepteurs des TP comme le plus important objectif dans les TP. Dans le cadre scolaire, ces méthodes ne peuvent pas être « redécouvertes » par des élèves. La question principale est centrée sur la conscience de l'élève, les processus appris par l'élève et comment sa conscience sur le processus l'aide afin de décider, envisager, concevoir et comprendre des expériences tout seul. Dans ce type de TP qui vise principalement un objectif procédural, les élèves construisent la procédure d'expérimentation de façon autonome et ils emploient leurs connaissances procédurales comme des outils permettant d'obtenir une autonomie chez eux.

### 5.3.2. Quel type de TP ?

Comme nous venons de le souligner, les travaux pratiques peuvent être abordés de multiples façons. Ces différentes approches sont bien décrites dans la littérature de didactique des sciences expérimentales (Domin 1999, Tiberghien *et al.* 2001, Séré 2002). Suivant l'approche, les objectifs d'apprentissage visés par un TP peuvent être très différents. Les grandes catégories de TP proposées par les chercheurs permettent de travailler plus facilement sur certains objectifs dans les TP.

---

<sup>7</sup> Nous avons traduit la phrase suivante : images of science

### 5.3.2.1. Quel type de TP dans l'enseignement de la chimie ?

Domin (1999) a catégorisé le type de travail effectué par les élèves dans l'enseignement de la chimie au sein du laboratoire par rapport à la manière d'aborder le concept étudié. Selon lui, l'histoire de l'éducation de la chimie montre qu'il existe quatre types de modèle utilisés dans le travail de laboratoire en chimie et nous les présentons dans le tableau ci-dessous tel qu'il les a décrits. Nous soulignons que nous avons essayé de garder les mêmes mots utilisés par Domin afin de ne pas orienter les lecteurs dans un autre sens que nous pourrions attribuer. A titre exemple, les mots « expositoire », « indéterminé », « prédéterminé ».

Modèle	Description		
	Résultat	Approche	Procédure
Expositoire	Prédéterminé	Déductive	Donnée par l'enseignant
Exploratoire	Indéterminé	Inductive	Produite par l'élève
Découverte	Prédéterminé	Inductive	Donnée par l'enseignant
Basé sur la résolution de problème	Prédéterminé	Déductive	Produite par l'élève

Tableau 6 : Description des modèles employés au laboratoire dans l'enseignement de la chimie (Domin, 1999)

Pour les résultats de n'importe quelle activité effectuée au laboratoire, il existe deux possibilités : les résultats prédéterminés où on peut avoir des idées sur les résultats à obtenir ou ceux indéterminés où on ne peut pas savoir quels résultats à obtenir à la fin de l'expérience. Dans les modèles « expositoire », « découverte » et « basé sur la résolution de problème » les résultats sont prédéterminés. Les résultats sont connus seulement par l'enseignant dans les modèles « découverte » et « basé sur la résolution de problème ». Par contre les résultats sont connus par les élèves et les enseignants dans le modèle « expositoire ».

Les activités « expositives » et « basées sur la résolution de problème » suivent typiquement une approche déductive dans laquelle les étudiants appliquent un principe général afin de comprendre un phénomène spécifique. Les activités de « découverte » et « exploratoires » sont inductives, dans lesquelles en observant des exemples particuliers les étudiants prévoient le principe général.

Quant à la procédure suivie dans ces types d'activité au laboratoire, il existe deux types de méthode d'exécution : la procédure conçue par les élèves ou celle fournie par une source extérieure (l'enseignant, le fascicule de laboratoire). Les méthodes « exploratoires » et « basées sur la résolution de problème » exigent des élèves de développer leur propre procédé. Dans la plupart des activités de « découverte » et « expositives » le procédé est donné aux élèves.

**Le modèle « expositoire » (expository) :** Le modèle « expositoire » est le plus populaire, nommé traditionnel, mais le plus fortement critiqué des modèles de l'enseignement de laboratoire. Dans ce type de modèle, l'enseignant définit le contexte à étudier, rapporte la recherche aux travaux précédents sur le concept à étudier et dirige les actions des élèves. Les élèves suivent les instructions de l'enseignant ou lisent les instructions dans le manuel. Le procédé que les élèves suivent est bien formulé et ils peuvent éprouver les résultats prédéterminés qui sont déjà connus des élèves et de l'enseignant. Les résultats obtenus sont employés seulement pour la comparaison avec le résultat prévu. La caractéristique la plus connue de ce modèle d'enseignement au laboratoire est sa nature de « recette de cuisine » qui souligne des procédures spécifiques pour pouvoir rassembler des données. Pratiquement aucune attention n'est donnée à la planification de la tâche demandée ou à l'interprétation des résultats chez l'élève. Malgré la critique faite sur ce modèle, il permet aux élèves d'apprendre des techniques au niveau gestuel et des habilités expérimentales dans le laboratoire.

**Le modèle « exploratoire » (inquiry) :** Les activités « exploratoires » sont inductives, ont des résultats indéterminés et exigent des élèves de produire leur propre procédé. Ces activités demandent aux élèves de formuler le problème, relier la recherche avec les travaux précédents, énoncer le but de la recherche, prévoir le résultat, identifier le procédé et effectuer la recherche. Ce type de modèle est conçu pour aider l'apprenant à construire le processus de la pensée scientifique et s'il est fait correctement, donne aux élèves l'occasion de s'engager dans ce processus du travail scientifique. Le Conseil de Recherche National American<sup>8</sup> (1996<sup>9</sup>) définit ce modèle comme : un ensemble de processus en corrélation par lesquels les scientifiques et les élèves posent des questions sur la nature du monde et étudient des phénomènes ; de cette manière, les élèves acquièrent les connaissances et développent une compréhension riche de concepts, de principes, de modèles et de théories.

**Le modèle « découverte » (discovery) :** Dans ce type d'activité, aucun manuel de laboratoire n'est utilisé et l'enseignant guide les élèves avec des conseils minimaux. L'élève est placé dans le rôle du découvreur. L'approche dans ce modèle, comme dans l'« exploratoire », est inductive. En étudiant un exemple spécifique d'un phénomène, les élèves peuvent développer une compréhension générale du principe fondamental ainsi qu'une conclusion sur le concept étudié. La différence entre les deux modèles (« exploratoire » et « découverte ») se situe au niveau des résultats et de la procédure suivie. Dans le modèle « exploratoire », les résultats sont inconnus par les élèves et l'enseignant. Par contre, dans le modèle « découverte » l'enseignant guide les étudiants vers des résultats attendus. L'inconvénient de ce modèle est qu'il prend beaucoup plus de temps que celui d'« expositoire ».

Il est nécessaire de souligner que quand les élèves travaillent dans un groupe avec lequel ils interagissent, il n'est pas toujours possible d'attendre qu'ils découvrent tous en même temps le principe simple du travail car dès qu'un élève découvrira l'intérêt principal du travail le reste du groupe aura cette information et la plupart d'élèves se trouve dans un autre modèle comme celui d'« expositoire ».

Comme Hodson (1996) l'a affirmé, l'apprenant ne peut pas découvrir quelque chose à laquelle il n'a pas été préparé en terme de connaissance pour cette dernière. Il ajoute également que l'apprenant ne sait pas où regarder, comment regarder ou comment le reconnaître quand il l'a trouvé. C'est la raison pour laquelle la préparation pour l'observation est une étape importante dans ce modèle.

**Le modèle « basé sur la résolution de problème » (problem-based) :** Dans ce modèle, l'enseignant adopte un rôle plus actif en posant des questions aux élèves, en fournissant les matériaux nécessaires et en orientant les élèves de manière minutieuse vers la solution résolue par rapport à la question posée. Les élèves doivent préparer leurs propres procédures pour résoudre le problème et soumettre un compte-rendu de l'expérimentation de manière écrite décrivant le procédé, les résultats obtenus et les conclusions tirées. En faisant cela, l'élève doit redéfinir le problème posé avec ses propres mots et diviser la procédure afin de trouver l'information qui manque. Ce type de modèle d'enseignement au laboratoire exige des élèves de penser à ce qu'ils font et à pourquoi ils le font. Comme les modèles « découverte » et « exploratoire », ce modèle prend beaucoup de temps par rapport au modèle « expositoire » et demande aux enseignants aussi qu'aux élèves d'avoir un rôle important lors de la résolution du problème. Les élèves doivent avoir appris le principe du concept et l'intérêt des techniques expérimentales avant d'effectuer l'expérience.

Après une catégorisation des TP dans le domaine de l'enseignement de la chimie, il nous paraît nécessaire de différencier les TP actuels dans le système éducatif français.

---

<sup>8</sup> The National Research Council

<sup>9</sup> National Science Education Standards; Report of the National Research Council, 1996; National Academy Press: Washington, DC, 1996.

### 5.3.2.2. Quel type de TP dans le système éducatif français ?

Quant au système éducatif français, nous rencontrons deux types de TP qui sont largement répandus et que nous décrivons ci-dessous.

Les TP d'application sont les TP les plus classiquement présents, ressemblant au modèle « expositoire » que nous venons d'aborder, que ce soit dans l'enseignement secondaire, mais surtout dans l'enseignement supérieur. Les apprentissages visés dans ce genre de TP sont principalement de deux types : (1) apprendre à identifier un objet ou un phénomène (faire le lien entre la théorie et le monde des objets) et (2) apprendre à utiliser un instrument de laboratoire. Ces TP sont parfois appelés, de façon un peu péjorative, « TP cookbook » notamment dans la littérature anglo-saxonne, car le travail de l'élève est principalement de mettre en œuvre au laboratoire un protocole ressemblant à « une recette de cuisine » qui lui a été fourni par l'enseignant. L'élève suit les instructions sans avoir réfléchi et n'ajoute pas une action non-prévue (Gangoli & Gurusurthy 1995). Ce type de TP se compose de façon générale en trois parties suivantes : un rappel théorique, une description du matériel et des consignes d'exécution.

L'apprentissage est donc principalement centré sur les objets du laboratoire et la gestuelle qui préside à leur utilisation. L'élève n'a pas de recherche documentaire et bibliographique à effectuer tant en ce qui concerne la théorie que l'expérience car tous ces éléments sont fournis dans le texte du photocopié de TP. Parfois même le montage des appareils est déjà fait, il n'y a plus qu'à mettre en marche et à effectuer les mesures. De ce fait, le temps passé en laboratoire semble être optimisé.

Les résultats de l'enquête réalisée par Welzel *et al.* (1998) avec les enseignants à la fois au niveau universitaire et secondaire ont montré que (1) les expérimentations démonstratives sont utilisées par les enseignants afin de montrer la relation entre la théorie et la pratique, (2) les expérimentations qui sont guidées de manière minutieuse en terme de protocole à suivre sont nécessaires pour les élèves car ces dernières permettent de développer des habiletés expérimentales chez les élèves.

Les résultats d'une enquête réalisée avec les enseignants de Terminale S montrent que selon eux « *les TP doivent être des découvertes et on n'évalue que les compétences expérimentales* » (Fanguet *et al.* 2004).

Une étude réalisée par Richoux (2002) a montré que les tâches qui sont confiées aux élèves en TP notamment en physique sont fortement centrées sur les appareils et les mesures. La place donnée pour la construction des liens entre les objets qu'ils manipulent, les événements qu'ils observent et les théories et modèles qu'ils doivent acquérir apparaît limitée (Richoux *et al.* 2005).

Un deuxième type de TP, émerge dans les enseignements du lycée et de l'université. Il s'agit des TP à problématique ouverte (Darley 1996). Ces TP prennent le contre-pied des TP d'application, puisque la phase de préparation du TP devient le temps le plus important. Le type de travail demandé à l'élève s'inspire du travail du chercheur et suit une démarche expérimentale. En résumé, devant un fait inattendu ou, tout du moins inexplicé, l'élève définit une problématique, puis formule des hypothèses qu'il essaiera de valider ou d'invalider à l'aide d'expérimentations adéquates ; à partir des résultats obtenus, les hypothèses pourront être discutées et un avis scientifique sera rendu par rapport au questionnement de départ. Les objectifs d'apprentissages mis en œuvre dans ce type de TP, sont beaucoup plus vastes, puisque l'intégralité d'une démarche expérimentale est suivie. Cependant, le niveau des contenus développés dans ce type de TP est inférieur au niveau des contenus pouvant être développés en TP d'application : les élèves ne peuvent pas réinventer à chaque TP, des concepts scientifiques qui ont souvent pris beaucoup de temps à être établis par les chercheurs.

Selon les résultats de l'enquête réalisée avec les enseignants européens (Séré *et al.* 2001), la conception et la mise en place des expériences prennent beaucoup de temps dans les TP et ces



dernières sont les raisons majeures qui découragent les enseignants de réaliser des TP « ouverts » dans l'enseignement.

Le travail effectué par Schneeberger et Rodriguez (1999) qui ont analysé les démarches mises en œuvre par les élèves de Première S dans une investigation scientifique portant sur la fermentation alcoolique a montré que les élèves rencontrent des difficultés liées à la multiplicité des savoirs en jeu pour mener une investigation : ressource hors champ disciplinaire (en mathématique, en physique) et compétence technique de laboratoire, compétence méthodologique (anticipation, rôle du cahier du laboratoire, etc.).

Le travail effectué par Beney (1995), ayant le but de caractériser et d'analyser des activités intellectuelles des étudiants en TP, a montré que l'utilisation de la théorie dans les TP n'est pas aussi facile que les enseignants pensent car lors de la résolution du problème posé les étudiants ne mobilisent pas toujours la théorie supposée acquise pour mener à bien les TP.

Pour Coquidé (2003) « *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 au niveau gestuel, mais ne permettent pas de développer des compétences qui ont trait au travail du chercheur (imagination, créativité, raisonnement...) (Darley et Marzin 1998).

Nous constatons deux catégories de travaux qui s'intéressent aux apprentissages en travaux pratiques. Le premier type de travaux est lié à la mise en place de situations adéquates pour faire apprendre aux apprenants des connaissances spécifiques liées à l'activité expérimentale (Millar 1996). L'autre catégorie concerne le mécanisme cognitif des apprenants lorsqu'ils effectuent l'expérimentation dans les TP (Séré & Beney 1997). Ces travaux ont montré que les étudiants font appel aux connaissances qu'ils possèdent auparavant afin d'expliquer ce qu'il faut faire.

Ces travaux et résultats nous amènent à réfléchir d'abord sur la notion de démarche expérimentale et puis sur la place d'un protocole expérimental dans la démarche expérimentale notamment dans le cadre d'un TP, quel que soit son niveau universitaire ou secondaire.

## 5.4. Démarche expérimentale

Avant d'aborder la notion de démarche expérimentale, il nous apparaît nécessaire de différencier les termes et les notions qui sont proches de la démarche expérimentale : la méthode expérimentale et la démarche scientifique. La démarche expérimentale et la méthode expérimentale ont-elles les mêmes significations dans une démarche scientifique ?

Comme nous l'avons souligné dans la question ci-dessus, la démarche scientifique englobe la démarche expérimentale ainsi que la méthode expérimentale. Pour la notion de la démarche scientifique, Darley (1994) la définit comme un ensemble composé de deux parties distinctes et essentielles pour la résolution d'un problème : la méthode scientifique et l'approche scientifique. Il suppose que « *la méthode pourrait être l'une des composantes de la démarche que l'on choisit ou que l'on construit en fonction des objectifs que l'on s'est assignés* » (p.22). De plus, il distingue dans la méthode scientifique deux sous ensembles : d'une part une méthode rationnelle (fondée sur le raisonnement) et d'autre part une méthode expérimentale (procédure visant à tester par des observations ou des expériences, les hypothèses et/ou les modèles préalablement énoncés lors de l'analyse du problème). Enfin, l'approche scientifique « *va déterminer la manière d'aborder le problème à résoudre, la façon d'envisager les solutions et de vérifier leur pertinence* » (p.22).

De façon globale, la méthode expérimentale correspond à un itinéraire rationnel bien défini, à savoir un plan détaillé réglant d'avance une suite d'opérations à accomplir et signalant certains comportements à éviter. Pour la méthode expérimentale, nous nous référons à

Bernard (1865, p.26) et selon lui cette méthode se trouve dans les faits : « *la méthode expérimentale, considérée en elle-même, n'est rien d'autre qu'un raisonnement à l'aide duquel nous soumettons nos idées à l'expérience des faits* ». Il explique également que « *la méthode expérimentale ne donnera donc pas des idées neuves et fécondes à ceux qui n'en ont pas ; elle servira seulement à diriger les idées chez ceux qui en ont et à les développer afin d'en retirer les meilleurs résultats possible* » (p.67).

Darley (1994) souligne que la démarche expérimentale est une sous catégorie de la démarche scientifique. La démarche scientifique consiste à proposer des modèles pour expliquer et s'appropriier le monde du réel (celui qui nous entoure) ou le monde rationnel (les maths). Sachant que la démarche doit être explicite et reproductible pour convaincre la communauté scientifique avec les arguments suffisamment concordants. Si les arguments de la démarche scientifique qui est une démarche essentiellement rationnelle sont d'ordre rationnel, comme il souligne, nous sommes toujours dans la démarche scientifique au sens large. Si ces arguments reposent sur des résultats d'expérimentations ou d'observations nous sommes alors dans la démarche expérimentale. La démarche expérimentale suit la méthodologie suivante : (1) proposer des réponses à un problème qui nous est posé (formulation des hypothèses), (2) tester par expérimentation les hypothèses ayant des conséquences, (3) mettre au point le protocole expérimental, (4) recueillir et mettre en œuvre les résultats expérimentaux et (5) conclure.

Quant à l'expérimentation, elle ne fait qu'une étape au cours de la démarche expérimentale dans la quelle elle sera effectuée. Elle trouve sa place entre l(es) hypothèse(s) faite(s) et les résultats à analyser. L'expérimentation bien conçue et appropriée correspond également à la vérification des hypothèses. Il est nécessaire de souligner que la manipulation ramène l'activité de l'apprenant à une dimension d'exécution.

Finalement, en sciences expérimentales nous parlons de façon générale de la démarche expérimentale en sachant que cette dernière s'inscrit dans la démarche scientifique.

Selon Guillon (1995) qui a travaillé sur la démarche scientifique dans les travaux pratiques au niveau universitaire, la confrontation de la démarche théorique avec les résultats expérimentaux est une phase centrale et incontournable de toute démarche scientifique, c'est ce que Darley (1994) désigne par test des hypothèses. Sans cette confrontation une théorie ne peut être validée et Guillon place cette confrontation au centre de l'apprentissage des étudiants. De plus, la démarche scientifique qu'il propose est composée au minimum de deux démarches (théorique et expérimental) ou au maximum de quatre (démarche de simulation et démarche mathématique), l'ensemble étant la « démarche du physicien ». Le travail effectué par Bornarel (1991), dans le but de faire apprendre la démarche scientifique aux étudiants de l'université (DEUG), a souligné l'importance de la problématique de la science expérimentale qui est la base de la formation du physicien et que cette problématique doit être aussi la base de l'enseignement de la physique.

Il y a environ trente ans, une expression a été inventée (OHERIC) pour dénoncer les idées simples sur les activités proposant une démarche expérimentale (Giordan 1978). Même si cette notation a été utilisée de façon abusive dans les sciences expérimentale ce sont des étapes « habituelles » lors de la résolution de problème posé dans ce domaine. La démarche expérimentale est très souvent défigurée dans la classe et elle est proposée au travers d'un schéma simplifié comportant les six étapes suivantes : On observe **O**, on émet une hypothèse **H**, on fait une expérience **E**, on raisonne **R**, on interprète **I**, on conclut **C**. Il est nécessaire de souligner que c'est Claude Bernard qui a transformé la démarche scientifique en une simple méthodologie fonctionnelle (Bernard 1865) et que c'est Giordan qui a rassemblé différentes étapes de la méthode expérimentale telle qu'elle est pratiquée dans l'enseignement secondaire dans la formule OHERIC. Dans ce trajet, la démarche expérimentale suit le cheminement suivant :

**Observation** : mobilisation des connaissances antérieures

**Hypothèse** : organisation de ces connaissances, imaginer un système explicatif et le résultat probable en fonction de l'hypothèse formulée.

**Expérimentation** : imaginer une expérience qui va vérifier que cette hypothèse était valable et que le résultat est celui escompté.

**Résultat** : utilisation d'une métrologie fine pour mesurer les résultats.

**Interprétation des résultats.**

**Conclusion** : vérification ou non de la réalité de l'hypothèse.

L'expérience type OHERIC qui est plutôt une recherche est en fait une reconstruction *a posteriori*. Quand le chercheur trouve une réponse à ses interrogations, après avoir commis d(es) erreur(s) dans des fausses pistes, après avoir fait évoluer ces hypothèses, voire avoir changé ces hypothèses, il organise sa publication pour faciliter de présentation et évite d'expliquer ce qu'il a suivi des fausses pistes. C'est la raison pour laquelle nous pouvons comprendre pourquoi les élèves ont des difficultés à expérimenter car ils suivent en quelque sorte le même chemin que le chercheur suit dans son laboratoire.

Une autre critique faite sur le signe OHERIC est que toute recherche ne commence pas par une observation et il n'y a pas de place pour le « problème » dans ce signe (de Vecchi & Carmona-Magnaldi 2002).

La démarche expérimentale est toujours une tentative de réponse à une question parce que l'élève, comme le chercheur, est face à un phénomène intéressant qui l'étonne. Il constate un décalage entre la réalité qu'il perçoit et l'idée dont il dispose. Lors du passage de l'hypothèse à l'expérimentation il est nécessaire d'avoir un protocole expérimental précis au cours duquel le chercheur, comme l'élève, réfléchit à ce qu'il va effectuer comme opération dans son travail. Dans ce protocole, le chercheur décrit le matériel et les produits utilisés, il spécifie une à une les étapes de sa démarche et la technique appropriée.

En se basant sur les précédents travaux sur la démarche expérimentale nous proposons le schéma ci-dessous qui résume les étapes principales de cette démarche. Nous précisons la place du protocole expérimental ainsi que son activité de construction dans cette démarche.

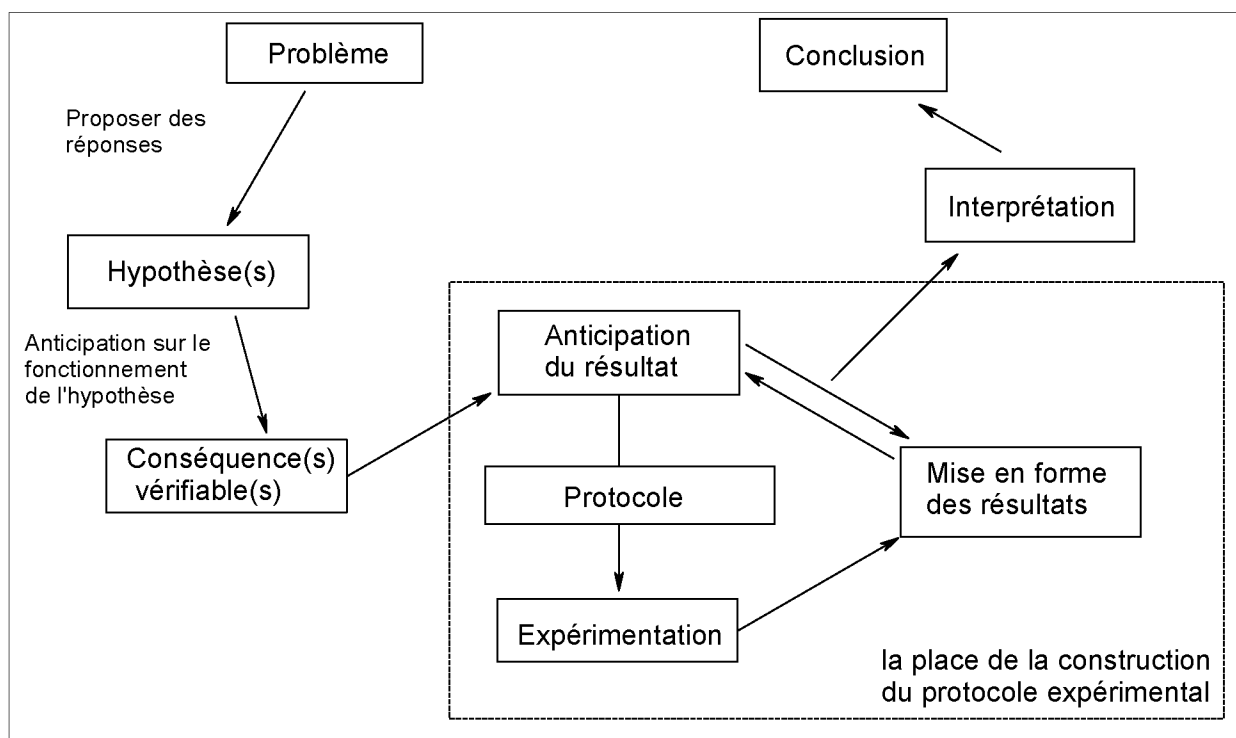


Figure 19 : Les étapes principales de la démarche expérimentale dans le cadre de la construction de savoir

La mise en œuvre de la démarche scientifique comme l'un des objectifs assignés aux TP par les enseignants de l'université nous permet de dire que la démarche expérimentale est présente dans les TP que ce soit implicite ou explicite mais cette démarche ne dispose pas toujours toutes les étapes citées ci-dessus (Bornarel 1991, cité par Guillon 1995).

La prise en main du matériel est aussi importante dans les TP en science expérimentale car la moitié du temps total est consacré à la partie manipulation dans les TP (Darley 1994). La réalisation d'une expérimentation par l'apprenant lui-même est un facteur essentiel dans l'apprentissage et la compréhension de la chimie. Les apprenants, le plus souvent au niveau universitaire, apprennent à analyser et critiquer l'efficacité d'un protocole expérimental et à gérer sa sécurité quand il s'agit des produits chimiques susceptibles d'être dangereux. Lors de cet apprentissage, un cahier du laboratoire peut être considéré comme un outil de réflexion sur les conditions d'expérimentation et de recueil de mesures.

Dans le cas où le protocole expérimental est donné aux élèves par les enseignants l'élève devient un simple exécutant de la tâche à accomplir. Mais nous soulignons que ça dépend de l'objectif assigné au travail de l'élève et la réflexion qui accompagne le travail demandé. Plusieurs auteurs insistent sur l'importance d'une activité visant à l'élaboration d'un protocole expérimental en chimie pour la construction de connaissances chez les apprenants (Arce & Betancourt 1997, Séré 2002, Rollnick *et al.* 2001) et ce type de travail étant une partie de la démarche expérimentale.

## 5.5. La construction d'un protocole expérimental

Nous trouvons plusieurs définitions sur la notion de protocole expérimental. L'une d'elles a été mise en évidence dans un atelier réalisé avec la participation d'enseignants de différents niveaux (collège, lycée, université, IUFM) (Richoux 2003). Selon les enseignants : « un protocole est la description précise des conditions et du déroulement d'une expérience qui permet d'aboutir à des résultats exploitables ». Si la notion de protocole apparaît comme une

activité centrale dans le travail du chercheur, il s'avère que cette notion peut également constituer un support pertinent pour la classe.

Selon la définition de l'IUFM de Bretagne, le protocole expérimental est un ensemble de règles et d'opérations à respecter pour que l'expérience soit exploitable. De manière pratique, comme cette définition le souligne, il faut faire varier un seul paramètre (facteur, variable) pour en étudier l'effet.

Quant à la notion de construction de protocole, d'autres termes pourraient être employés à la place de construction avec le même sens : élaborer, concevoir, proposer<sup>#</sup>, mise au point de protocole<sup>#</sup>. La notion de construction de protocole expérimental dans notre étude correspond au fait de décider des opérations à effectuer en termes d'actions, puis de spécifier les paramètres nécessaires permettant de répondre au problème posé dans un TP.

En SVT (science de la vie et de la terre) on demande aux élèves de concevoir un protocole expérimental dès la sixième. Cette capacité est parfois évaluée au baccalauréat mais le plus souvent il s'agit de réaliser la procédure qui est fournie par l'enseignant. En physique chimie, on demande aux élèves de concevoir une partie d'un protocole expérimental mais pas du début à la fin de l'expérience. Dans le programme de Première S, la mise au point de protocole est clairement affichée comme un des objectifs à atteindre pour le travail de TP. En TPE (travaux personnel encadrés) la mise au point de protocole est souvent nécessaire puisque les élèves conduisent l'ensemble de la démarche expérimentale.

### **Pourquoi la construction d'un protocole expérimental est-elle importante ?**

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 (Orlandi 1991), l'activité des élèves étant limitée à leur mise en œuvre. De façon générale dans les TP, les élèves reçoivent le texte du protocole expérimental comme un guide pratique pour la conduite de la manipulation. Ce protocole contient d'une part la description des produits et des matériels et d'autre part un mode opératoire. Le travail de Thibault *et al.* (1997) a montré qu'au cours de l'expérimentation tous les sujets qui effectuent l'activité expérimentale, même les enseignants, lisent et suivent de manière correcte le mode opératoire du TP mais ils le font pas à pas sans anticipation. D'autres travaux ont montré que lorsque les élèves suivent une procédure pendant une séance de TP (cf. recette de cuisine), il existe « une atomisation des actions » chez les élèves lorsqu'ils réalisent une recette de cuisine, ce qui signifie que les consignes données aux élèves ne sont pas exécutées en une seule fois (Vermersche 1991, citée par Séré et Beney 1997). En effet, ces consignes sont d'abord décomposées en action élémentaires correspondant à des sous-buts de la question posée et puis exécutées immédiatement séparément. Ce type de comportement traduit la difficulté de faire correspondre directement des actions aux savoirs conceptuels en jeu. Il en résulte une difficulté à planifier les actions.

D'après Giuseppin (1996) la conception d'un protocole expérimental est une phase de réflexion qui permet de mobiliser des connaissances acquises à la fois théoriques et pratiques à un moment donné. En effet, la phase d'élaboration du protocole expérimental semble particulièrement importante à une appropriation des articulations entre diverses étapes des démarches scientifiques car il s'agit d'une situation favorable pour que l'apprenant relie le problème à résoudre avec l'expérience ainsi que les résultats attendus (Girault *et al.* 2005).

Le fait de faire décrire ce que l'élève fait dans le laboratoire lors de la résolution d'un problème est un facteur qui augmente la motivation des élèves afin d'anticiper la tâche demandée et a un effet positif sur la performance des élèves dans le laboratoire comme plusieurs travaux le soulignent (Rollnick *et al.* 1997, Meester & Maskill 1995, Johnstone

---

<sup>#</sup> comme le programme officiel du lycée l'utilise (B.O. hors série n° 7 du 31 août 2000)

1997). Le travail de construction d'un protocole expérimental en chimie peut être une tâche attirante pour les élèves si les objectifs pédagogiques sont différents par rapport à la forme de recette de cuisine (cookbook) (Le Maréchal 1999).

Plusieurs travaux ont montré que le travail de construction d'un protocole expérimental par les élèves est un travail important d'un point de vue de la compréhension des concepts chimiques et de l'autonomie des élèves de dans le cadre de l'enseignement (Arce & Betancourt 1997, Séré 2002), voire ce type d'activité peut contribuer à l'apprentissage (Hmelo *et al.* 2000).

Arce et Betancourt (1997) ayant travaillé avec des étudiants universitaires ont montré que la phase de construction d'un protocole expérimentale par les étudiants en chimie leur a permis de mieux comprendre les concepts chimiques mis en jeu et que la responsabilité donnée aux étudiants par ce type d'activité les encourage afin de réussir.

Séré (2002) souligne que les étudiants persistent dans l'attente d'apprentissage conceptuels dans les TP car ils ne sont pas habitués faire des TP mettant en jeu l'acquisition de connaissance procédurale. Elle explique également que « en faisant » seulement n'est pas efficace pour l'acquisition des connaissances procédurales et il est difficile de « refaire quelque chose » s'il a été effectué une seule fois sans travail approfondi. Il est impossible d'apprendre des procédures séparément, il exige un contexte approprié (N'Tombela, 1999, cité par Séré 2002) et le travail de construction du protocole expérimentale peut être un moyen pour le faire.

Hmelo *et al.* (2000) ont montré que les activités de conception de protocoles expérimentaux, qui permettent la compréhension du fonctionnement des systèmes complexes telle que la respiration, peuvent être un moyen afin d'aider des élèves à acquérir la compréhension profonde dans des domaines si complexes.

Le travail effectué par Garratt et Tomlinson (2001) avec des étudiants universitaires suivant l'enseignement de la chimie a montré que la planification d'une expérience de la part des étudiants permet d'éclairer le but de l'activité expérimentale avant d'effectuer la manipulation au laboratoire. Selon eux, la phase d'élaboration du protocole expérimental est la dernière phase pendant laquelle le scientifique réfléchit avant de faire une expérience.

Lorsque les élèves construisent le protocole expérimental permettant de répondre au problème posé, cela permet d'évaluer directement les problèmes éventuels liés aux connaissances théoriques et procédurales (Roth *et al.* 1997). En effet, une évaluation basée sur le compte-rendu d'un TP ne permet pas toujours de mettre en évidence les problèmes liés aux connaissances théoriques et procédurales.

### **Difficultés associées à la conception de protocole expérimental**

Laugier et Dumon (2003) ont observé et analysé le comportement d'élèves de Seconde face à la résolution d'un problème expérimental lorsque ces derniers ne possèdent pas le protocole expérimental et doivent le préparer. Ce travail a montré que quand il s'agit d'élaborer le protocole expérimental du début à la fin, la tâche demandée devient très vite très difficile pour les élèves. Cette difficulté est liée d'une part aux techniques de laboratoire parce qu'ils n'utilisent pas de manière adéquate le matériel disponible et d'autre part aux connaissances qu'ils ne mobilisent pas correctement, même si ces dernières ont déjà été vues. Par conséquent, les connaissances que possèdent les élèves de Seconde déterminent leur réussite à la tâche de conception de protocole. Par contre, ils montrent qu'il existe des cas où le tâtonnement avec le matériel disponible comme essai et erreur permet aux élèves d'élaborer le protocole expérimental.

L'un des résultats importants du travail de Laugier et Dumon (2003) est que même dans un problème posé qui ne met en jeu que le registre empirique, les élèves rencontrent des difficultés non seulement liées au manque de connaissances pratiques mais également liées à la non maîtrise de connaissances théoriques supposées acquises. Nous pouvons donc dire que la conception de protocoles expérimentaux n'est pas un travail facile pour les élèves et qu'elle permet de voir, si c'est le cas, la difficulté de la maîtrise de connaissances acquises dans un champ d'application.

En ce qui concerne l'activité cognitive de l'élève lors de l'enseignement qui vise à apprendre des concepts chimiques, il n'existe pas un seul modèle qui décrit de manière explicite l'activité cognitive de l'élève qui apprend et étudie des concepts chimiques dans des TP (Le Maréchal (1999).

Nous soulignons que la situation mise en place avec l'environnement *Educ@ffix.net* conduit les élèves à construire un protocole expérimental pour réaliser un dosage. Dans ce système, 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. Nous pensons que l'utilisation d'un EIAH pourra aider les élèves dans la difficile tâche de conception d'un protocole.

## **5.6. L'utilisation d'EIAH dans l'enseignement expérimental en chimie**

Nous présentons dans cette partie, à travers une brève histoire sur les systèmes informatiques dédiés à l'apprentissage dans le cadre de l'enseignement, l'évolution des différents sigles EAO, EIAO, EIAH, les caractéristiques des EIAH ainsi que l'utilisation d'EIAH dans l'enseignement expérimentale en chimie.

Comme les programmes officiels des classes de Seconde (BO hors série N°2 du 31 août 2001) et de Première (BO hors série N°7 du 31 août 2000) l'expliquent, la chimie comme la physique fournissent naturellement l'occasion d'acquérir certaines compétences dans l'utilisation des technologies d'information et de communication (TIC), dont certaines sont liées à la discipline et d'autres sont d'une valeur plus générale. Nous donnons quelques exemples de compétences liées aux TIC que les programmes officiels exigent chez les élèves au cours du cycle du secondaire : « *utiliser l'ordinateur pour acquérir des données expérimentales* », « *utiliser l'ordinateur pour confronter des résultats expérimentaux à des valeurs théoriques* », « *savoir ce qu'est une simulation et la distinguer clairement de résultats expérimentaux* » et « *être capable d'effectuer une recherche documentaire et critique sur un cédérom et sur Internet (en ligne et hors ligne)* ». Nous pouvons donc dire que l'utilisation des TIC est recommandée par le programme dès le début du lycée. L'utilisation d'un logiciel dans le cadre d'un TP n'est pas un comportement inhabituel pour les élèves de Terminale mais l'utilisation de ce dernier est souvent restreinte dans les TP actuels. A savoir, les élèves utilisent des logiciels et l'outil informatique de façon générale pour acquérir des données expérimentales, présenter graphiquement des résultats expérimentaux et effectuer une recherche documentaire à la fois sur un cédérom et sur internet.

### **5.6.1. Qu'est-ce qu'un EIAH ?**

Au cours des trente cinq années, les outils informatiques ont considérablement évolués, de même que leur utilisation dans l'apprentissage.

Le terme EAO (Enseignement Assisté par Ordinateur) a été employé jusqu'aux années 70. L'EAO est la combinaison de l'enseignement et des outils informatiques. Dans cette

approche, l'ordinateur a été utilisé comme un outil pour l'enseignement et ni les connaissances initiales de l'utilisateur ni son comportement n'ont été pris en compte d'où les limites de ces systèmes. Les progrès des sciences cognitives et de l'Intelligence Artificielle (IA) ont permis de concevoir des systèmes mieux adaptés à l'utilisateur, en se basant sur la modélisation du raisonnement de l'utilisateur plus interactifs, plus efficaces. Cette approche est apparue sous l'appellation EIAO (Enseignement Intelligemment Assisté par Ordinateur), traduction de « Intelligent Computer Aided Instruction » dans les années 70 aux Etats-Unis et au début des années 80 en France. Dans ces systèmes, il ne s'agit pas de rétroactions de l'ordinateur de type stimulus-réponse définies à l'avance. Les approches sont centrées sur le transfert de connaissances et l'apprenant construit son apprentissage en interagissant avec un environnement (Bruillard & Vivet 1994). En 1990, grâce aux progrès de l'informatique interactive et des techniques multimédias, cette appellation a été changée et est devenue Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur (EIAO) qui correspond en langue anglaise « Interactive Learning Environments ». En effet, il s'agit de confronter l'apprenant à un environnement dont le niveau de connaissances est supérieur à celui de l'apprenant et dans lequel l'apprenant remet en cause ses connaissances face à un problème et interagit avec le système.

À la fin des années 90, le terme EIAH a été accepté dans les différents domaines de recherches sous la forme actuelle : Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain. Nous nous référons à Tchounikine (2002) et selon lui, lorsque l'on parle d'« un EIAH » cela désigne un système. Si on parle de « l'EIAH » cela signifie le champ de recherche.

*« Le terme l'EIAH présente l'intérêt de mettre au cœur de la problématique l'objet premier des travaux (contribuer à un apprentissage humain) et l'axe qui différencie des travaux des recherches en éducation (la conceptions d'artefacts informatique conçu pour favoriser un apprentissage humain)... nous proposons donc de l'utiliser littéralement, comme un terme générique permettant de désigner tout environnement informatique conçu pour favoriser un apprentissage.*

(p.234)

Quant à la définition d'un EIAH, nous prenons en compte dans notre étude celle donnée par Balacheff et ses collaborateurs (Balacheff et al. 1997) ; « Un EIAH est un environnement informatique dont la finalité est de susciter ou d'accompagner un apprentissage et il embarque donc une intention didactique ».

Un EIAH au sens large est un environnement qui intègre des agents humains (élève ou enseignant) et artificiel (informatique) et leur offre des conditions d'interactions, localement ou au travers de réseaux informatiques, ainsi que des accès à des ressources formatives (humaines et/ou médiatisées) locales ou distribuées (Balacheff et al. 1997).

L'EIAH est un domaine de recherche pluridisciplinaire qui réunit la pédagogie, la didactique, la psychologie cognitive, les sciences de l'éducation et l'informatique, tant lors de la conception des logiciels que lors de l'utilisation dans le cadre de l'enseignement. Il existe aussi des disciplines qui sont indirectement concernées comme l'ergonomie et les sciences de l'information et de la communication.

Dans un EIAH, la machine peut avoir différents rôles: (1) un outil de présentation de l'information (un hypermédia ou une plateforme Web spécialisée), (2) un outil de traitement de connaissances (un système à base de connaissances résolvant les exercices avec l'élève ou un module pilotant l'interaction) et (3) un outil de communication entre l'homme et la machine ou entre les hommes à travers les machines (Tchounikine 2002).

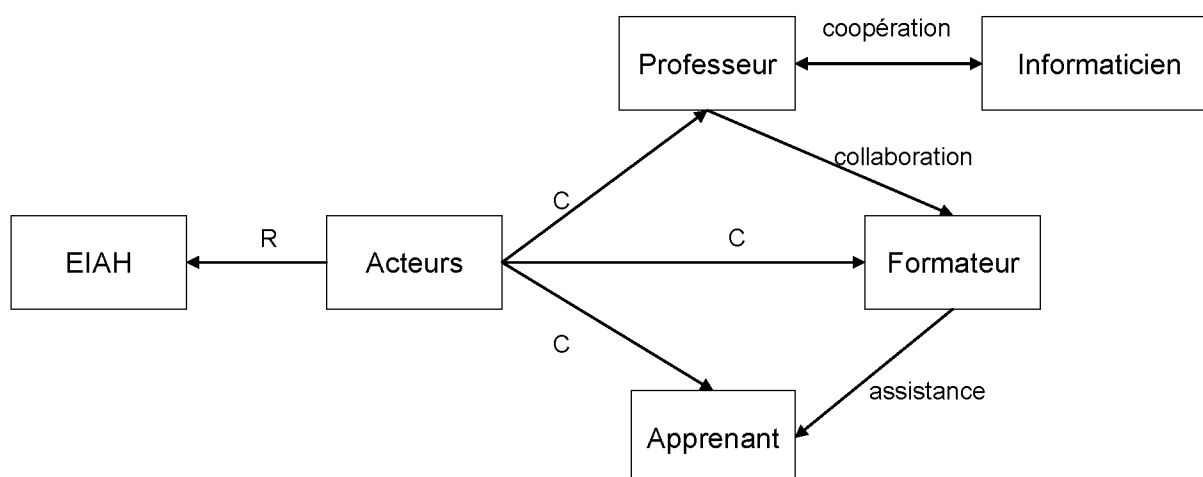
Dans le cadre de l'utilisation de l'informatique pour l'apprentissage, comme Bruillard et Vivet (1994) le soulignent, nous distinguons trois pôles principaux (Quéré 1989, Grandbastien 1991) correspondant à trois champs de recherche :



1. le développement d'outil et de techniques qui est plutôt un travail d'informaticien,
2. la mise en œuvre grandeur nature des outils développés dans les processus d'enseignement et d'apprentissage, travail en sciences humaines (sciences de l'éducation, psychologie cognitive, sociologie, ingénierie didactique,...)
3. à la frontière des deux premières champs se situent les recherches liées à la didactique, i.e. la pris en compte des connaissances à enseigner dans une discipline particulière. Dans cette perspective, les contenus d'enseignement étant fixés, on cherche des moyens pour en favoriser l'apprentissage.

(p.280)

Quand on parle de la notion d'EIAH, on s'aperçoit qu'il y a quatre type d'acteurs qui réunissent et interagissent entre eux dans ce dernier. Les acteurs d'un EIAH se composent de formateur, d'informaticien, de professeur et d'apprenant. Dans un EIAH, la place d'un informaticien peut se trouver auprès du professeur pour qu'ils coopèrent lors de la conception d'un EIAH. La relation qui relie le professeur avec le formateur est une collaboration. Le formateur est un tuteur humain et est une assistance de l'apprenant lors de l'apprentissage. Nous présentons dans le schéma ci-dessous la relation entre différents acteurs telle qu'elle est présentée à l'école d'été EIAH en 2003.



C : de composition (il est composé de) et R : de régulation (est régi par)

Selon Papert (Jaillet 2003), un bon enseignement et un EIAH proposent des activités qui ne sont pas ennuyeuses en voulant être faciles et transparentes, mais qui offrent à l'apprenant un défi motivant. Selon Guin (1991), il est indispensable de préciser lors de la conception des environnements informatiques les choix de modélisation pour chacun des domaines suivants : champ conceptuel, interaction didactique, explication.

D'un point de vue d'informaticien travaillant dans le domaine d'EIAH, la conception des logiciels EIAO doit s'appuyer sur l'analyse des situations (Bruillard & Vivet 1994). L'apprentissage dans les environnements informatisés qui exigent de manière active la construction de(s) connaissance(s) est observé plus efficacement quand certains aspects liés à la structure ou au contenu du domaine sont présentés explicitement aux apprenants (de Jong & van Joolingen 1998, Njoo & de Jong 1993). Cela nécessite la prise en compte des difficultés rencontrées par les élèves dans un contenu concerné. Le diagnostic des difficultés des élèves lorsque ces derniers utilisent un environnement informatique pour la résolution de problèmes, notamment en chimie, est un aspect important pour la conception des environnements d'apprentissage car il permet d'adapter le guidage et les aides pédagogiques de manière plus pertinente (Schwob & Blondel 1996).

La conception d'un logiciel éducatif nécessite la collaboration entre plusieurs domaines telles que l'informatique, la didactique, la psychologie cognitive, les sciences éducatives (Schwob & Blondel 1996).

Pour la conception des EIAH, Bruillard et Vivet (1994) résument les cinq règles méthodologiques suivantes (cité par Bruillard *et al.* 2000, p.115) :

*Règle n°1 : partir d'un problème d'enseignement et, si possible, d'une analyse didactique.*

*Règle n°2 : travailler au sein d'une équipe composée d'informaticiens, de didacticiens et d'enseignants, dès les premières phases de conception du projet.*

*Règle n°3 : utiliser le modèle de situation d'interaction et construire des maquettes pour aider à établir les spécifications du système à construire.*

*Règle n°4 : évaluer ces maquettes le plus tôt possible auprès des deux catégories d'utilisateurs : enseignants et étudiants ou élèves.*

*Règle n°5 : centrer la conception sur les interactions apprenant-système (ou sur les interactions médiées par le système des apprenants entre eux) et les spécifier en fonction des objectifs d'apprentissage pour l'apprenant et en fonction de la situation d'apprentissage.*

## **5.6.2. Différents types d'EIAH**

L'idée de l'utilisation de l'ordinateur comme un outil pédagogique n'est pas nouvelle dans l'enseignement de la chimie (Hood 1994). Il y a beaucoup d'avantages que l'on peut apporter en utilisant l'ordinateur dans l'enseignement de la chimie mais l'implémentation n'est pas un simple processus et peut poser des difficultés (Gladwin *et al.* 1990).

Selon les résultats d'une enquête réalisée avec des enseignants de Terminale S (Fanguet *et al.* 2004), trois quart des enseignants veulent utiliser les TICE (Technologies de l'Information et de la Communication dans l'Enseignement) et l'EXAO (Expérimentation assistée par l'ordinateur) dans les TP et la seule raison de ne pas les utiliser est liée directement à la disponibilité de matériel dans le laboratoire.

Quand on parle des environnements informatiques, il est nécessaire de souligner qu'il existe différents types d'EIAH (Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain) pour l'apprentissage des sciences expérimentales. Les EIAH utilisés en travaux pratiques comprennent des animations, des simulations, des données expérimentales préenregistrées et des laboratoires accessibles à distance. Trgalová (2003) propose une catégorisation sur la base de deux critères : la nature des données expérimentales et le degré de contrôle des variables par l'utilisateur. Nous présentons dans le tableau ci-dessous la classification proposée par Trgalová (2003) pour des systèmes d'enseignement à distance.

		Nature des données	Contrôle
Accès aux sciences		Réelle	Aucun
Animations		Simulée	Aucun
Simulations		Simulée	Total ou partiel
Télé expérience	Téledétection	Réelle	Aucun
	Simple téléopération	Réelle	Partiel
	Laboratoire distant	Réelle	Total

Tableau 7 : Catégorisation des systèmes pour l'enseignement expérimental à distance (Trgalová, 2003)

Ce que l'on entend par « accès aux sciences » correspond à celui qui offre aux étudiants l'accès à des expérimentations menées par des chercheurs. Les étudiants peuvent interpréter des données expérimentales obtenues réellement, formuler des hypothèses et tirer des conclusions en discutant entre eux ou avec des chercheurs.

L'animation et la simulation sont basées sur des données simulées, aucune expérimentation réelle ne se déroule, mais des données correspondant à des expériences imaginaires sont transmises aux apprenants. Dans le cas de la simulation, l'apprenant peut faire varier les valeurs de certains paramètres et observer le résultat. Ces types de logiciels sont utilisés pour appréhender un phénomène par la découverte, à savoir, l'apprenant doit découvrir les lois d'un domaine en réalisant des expériences virtuelles basées sur une modélisation de ce domaine (de Jong & van Joolingen, 1998). L'utilisation du laboratoire virtuel dans le cadre de l'enseignement fait partie de la catégorie de simulation où le contrôle des variables dépend de ce que les concepteurs ont implanté. Pour les animations, elles ne permettent pas à l'utilisateur un tel contrôle et présentent uniquement une animation dynamique d'une loi ou d'un phénomène.

Différents systèmes peuvent conduire à des données en temps réel, mais avec des degrés de contrôle de l'utilisateur très différents (Trgalová, 2003) : aucun contrôle dans les dispositifs de téledétection (capteurs connectés au réseau), un contrôle partiel dans les dispositifs de téléopération (l'utilisateur envoie une demande au serveur pour qu'elle soit prise en compte par l'équipement), jusqu'à un contrôle total dans les laboratoires distants (l'utilisateur dirige l'expérimentation à distance et reçoit des réponses en temps réel). Cependant les apprenants sont souvent autorisés à contrôler uniquement les paramètres d'une expérimentation préétablie. Senese *et al.* 2000 décrivent l'exemple d'une télé-expérience en chimie.

Plusieurs travaux effectués dans le domaine de la didactique de la chimie ont montré l'impact des EIAH sur l'apprentissage. L'intérêt pédagogique des animations est lié au fait que les étudiants retiennent mieux ce qu'ils entendent et voient comme Hansen (1999) le montre. Il y a une amélioration de la compréhension des concepts chimiques chez les élèves ayant utilisés des EIAH notamment ceux qui contiennent de la simulation dans l'apprentissage expérimental de la chimie (Yalçinalp *et al.* 1995, Morgil *et al.* 2004). Yalçinalp *et al.* (1995) ont montré que l'utilisation d'un EIAH (type « simulation ») conçu en prenant en compte les résultats des travaux didactiques sur la notion de mole améliore la compréhension de cette notion chez les élèves et les candidats enseignants. Morgil *et al.* (2004) ont montré que l'utilisation de l'EIAH dans l'enseignement de l'environnement (type « accès aux sciences) permet aux étudiants d'augmenter le niveau de compréhension à propos de la pollution et de la protection de l'environnement chez eux.

De nombreux travaux décrivent l'utilisation de laboratoire virtuel en chimie. L'utilisation de l'ordinateur comme un laboratoire virtuel a permis à la fois aux enseignants et aux chercheurs de constater les apports pour l'enseignement de la chimie (Martinez-Jiménez *et al.* 2003, Morozov *et al.* 2004). Le travail effectué par Martinez-Jiménez *et al.* (2003), a pour but de mettre en évidence l'amélioration des performances des étudiants utilisant le logiciel VCL

(Virtual Chemistry Laboratory) comme un support supplémentaire pour la méthode classique dans l'enseignement de la chimie. Ils ont montré que (1) l'utilisation de VCL comme un support permet aux étudiants d'améliorer leurs connaissances sur les matériels disponibles au laboratoire et (2) l'utilisation de VCL avec l'expérimentation réelle permet aux étudiants de comprendre la procédure d'expérimentation et les compétences nécessaires pour la résolution d'un problème de la séparation des mélanges.

L'expérience réalisée de façon virtuelle par les élèves peut leur permettre mieux comprendre les techniques de laboratoire et les procédures avant de les effectuer au laboratoire. Elle peut permettre également de se préparer mieux pour une expérimentation réelle dans un laboratoire de chimie (Dalgarno *et al.* 2003). Cette expérimentation virtuelle en chimie permet aux élèves de se familiariser avec les matériels disponibles, les techniques du laboratoire et les procédures (Morozov *et al.* 2004).

Dans des laboratoires virtuels, nous trouvons parfois des agents virtuels, appelés agents pédagogiques, qui suivent l'activité de l'apprenant tout au long de leur travail. Cet agent animé, nommé « chimiste », aide les apprenants dans le cas où ils rencontrent des problèmes et n'arrivent pas à les résoudre eux-mêmes (Morozov *et al.* 2004).

Le travail de Verdejo *et al.* (2003) consiste à articuler 3 niveaux d'actions (pré-lab, lab et post-lab) dans une résolution d'un problème chimique notamment dans le domaine de la chimie organique. Le but de leur travail est d'aider les apprenants dans un enseignement comprenant des tâches complexes notamment dans des expérimentations effectuées au laboratoire. Dans ce contexte les étudiants et enseignants travaillent avec un EIAH qui permet de préparer les TP à la fois individuel et en collaboration. Le but de la phase du « pré-laboratoire » est de fournir aux étudiants le contexte et la motivation dans l'ordre de la théorie à l'expérimentation pour la phase de laboratoire car ils ont constaté que les étudiants ne travaillent pas sur l'expérimentation à réaliser avant de venir au laboratoire, même s'ils disposent de tous les documents nécessaires. Dans le cas d'un protocole fourni, ils soulignent également que les résultats obtenus sur l'articulation entre les connaissances théoriques que les élèves possèdent et les manipulations qu'ils réalisent dans un laboratoire ne sont pas satisfaisants en terme d'apprentissage. Lors de la phase du pré-lab, les étudiants travaillent à la maison sur la résolution du problème posé afin d'obtenir une compréhension concernant des concepts mis en jeu. Ils peuvent obtenir plus d'informations sur les notions à la fois théoriques et procédurales, collaborer avec l'enseignant et utiliser la simulation pour les sous-tâches dans cette phase.

Le projet PEARL (Practical Experimentation by Accessible Remote Learning) correspond à des expériences réalisées par des robots à distances dans différents domaines d'éducation tels que biologie, physique au niveau universitaire. Dans le cadre de ce projet, Cooper *et al.* (2002) ont montré que le retard entre l'action et la réalisation d'action dans le laboratoire peut désorienter et décevoir des étudiants lors de leur travail.

Faire apprendre des concepts chimiques à travers l'ordinateur à distance en utilisant le laboratoire distant est possible et ce type de travail permet d'améliorer les performances des étudiants en terme de réussite de la tâche demandée par rapport au travail classique dans le laboratoire (Boschmann 2003).

Quant à la place de l'EIAH *Educ@ffix.net* par rapport à la classification proposée par Trgalová (2003), nous pouvons dire que *Educ@ffix.net* se situe au niveau de télé expérience car il s'agit d'un système dans lequel le robot effectue l'expérimentation, la nature des données est réelle et le contrôle que l'utilisateur dispose est partiel.

### **5.6.3. Quand et comment peut-on évaluer un EIAH ?**

Dillon et Gabbard (1998) ont indiqué qu'il existe des très bons outils, très bien promus par leurs concepteurs voire étayés d'un point de vue didactique, mais ces bons outils se révélaient

inutilisables. Même des outils qui sont faciles à utiliser ne parvenaient pas à entrer dans les pratiques scolaires ou de formation professionnelle. C'est la raison pour laquelle l'évaluation d'un EIAH est importante.

Un EIAH doit d'abord être évalué pour sa partie logicielle, avant d'évaluer sa dimension apprentissage (Tchounikine 2002). Comme Tricot et ses collaborateurs (2003) soulignent un bon EIAH est non seulement utile à l'apprentissage visé, mais encore utilisable et acceptable.

Quand on parle d'un EIAH il est nécessaire de souligner qu'il existe trois types d'évaluation : celle du produit, celle de l'apprentissage et celle des performances des élèves (Bruillard & Vivet 1994). Cependant, ces différentes évaluations sont liées entre elles et difficiles à considérer individuellement. Selon Nanard et Nanard (1998), il y a trois moments d'évaluation pour les EIAH. La première évaluation se passe en cours de conception, la deuxième est en fin de conception et la dernière évaluation est a posteriori. Une évaluation en cours de conception par l'équipe de concepteurs permet de corriger des problèmes qu'il sera très coûteux voir impossible de corriger en fin de conception. L'évaluation en fin de conception recouvre l'évaluation des maquettes et la version test. L'évaluation a posteriori est réalisée une fois que l'outil est non seulement conçu mais réalisé.

L'évaluation de l'utilisation d'un outil informatique est réalisée par deux types de méthodes (Tricot & Lafontaine 2002). La première est l'application de critères d'utilisabilité ou de critères ergonomiques qui permettent de diagnostiquer en quoi l'utilisation peut être améliorée par une modification de l'outil. La deuxième est l'analyse des protocoles interactions qui permet d'interpréter le comportement de l'utilisateur. D'après Senach (1990), l'évaluation d'un EIAH peut être réalisée par inspection ou de façon empirique (cité par Tricot *et al.* 2003).

*« L'évaluation par inspection est réalisée par un « expert » qui applique de façon plus ou moins explicite des critères d'évaluation. Par exemple, un didacticien des mathématiques va réaliser l'évaluation d'un Tuteur Intelligent pour l'enseignement des mathématiques au CP. Cette évaluation peut aussi être réalisée par un non-spécialiste à l'aide de grilles d'évaluation. Ce type d'évaluation permet de repérer rapidement des erreurs grossières et de diagnostiquer « pourquoi » tel ou tel aspect de l'EIAH ne va pas.*

*L'évaluation empirique consiste à interpréter les performances des usagers, à qui l'on prescrit une tâche, et plus généralement à interpréter leurs comportements, attitudes, opinions. Cette évaluation permet de voir moins rapidement l'ensemble des erreurs mineures et majeures, et de diagnostiquer ce qui ne va pas dans l'EIAH, sans nécessairement en expliquer les raisons. »*

(p.18)

En ce qui concerne l'évaluation des EIAH de façon empirique, le principe général repose sur la comparaison de performances des utilisateurs lors de la résolution de problèmes avant et après l'utilisation d'un EIAH avec ou sans l'utilisation, ou sur les deux situations (Fastrez 2002).

Dans la littérature EIAH, nous trouvons le terme de « *trois dimensions de l'évaluation des EIAH* » qui comprend utilité, utilisabilité et acceptabilité. Tricot et ses collaborateurs (2003) expliquent ces termes dans leur article de la façon suivante :

*Utilité : il s'agit d'évaluer s'il y a bien adéquation entre l'objectif d'apprentissage défini par l'enseignant ou le concepteur et l'atteinte de cet objectif. C'est-à-dire que l'utilité concerne l'efficacité pédagogique. Cette catégorie de critères répond à la question suivante : l'EIAH permet-il aux personnes visées d'apprendre ce qu'elles*

*sont censées apprendre ? L'évaluation de l'utilité prend en compte la mise en œuvre des processus cognitifs impliqués dans l'activité d'apprentissage.*

*Utilisabilité : l'utilisabilité concerne la possibilité d'utiliser un EIAH, sa maniabilité au niveau de l'interface (sa cohérence, sa lisibilité, la façon dont il représente les actions possibles, etc.) de sa navigation (la cohérence, la simplicité, l'exhaustivité des déplacements possibles, etc.) et sa cohérence avec l'objectif et le scénario didactique. Cette catégorie de critères répond à la question suivante : l'EIAH est-il aisé à prendre en main, à utiliser, à réutiliser, sans perdre de temps et sans faire d'erreur de manipulation ?*

*Acceptabilité : l'acceptabilité d'un EIAH est une valeur de la représentation mentale (attitudes, opinion, etc. plus au moins positives) à propos d'un EIAH, de son utilité et de son utilisabilité. C'est-à-dire l'acceptabilité concerne la décision d'utiliser l'EIAH. L'acceptabilité peut être variable avec des facteurs divers, comme la culture, les valeurs des utilisateurs, leurs affects, leurs motivations, l'organisation sociale et les pratiques dans lesquelles s'insère plus ou moins l'EIAH. Cette catégorie de critères répond à la question suivante : l'EIAH est-il compatible avec les valeurs, la culture, l'organisation dans la quelles on veut l'insérer ?*

(p.394)

Il est nécessaire de souligner que cette approche trois dimensionnels pour l'évaluation des EIAH n'a pas encore de preuve empirique qui justifie que cette approche fonctionne et aide les concepteurs lors de la conception des EIAH.

Il existe d'autres moyens d'évaluer des apprentissages dans un EIAH : des catégories de tâches sont utilisées par Rouet et Passerault (1999, cité par Tricot et Lafontaine 2002) mais nous ne nous intéressons pas à ce type d'évaluation dans notre travail :

*« Les tâches de reconnaissance : il s'agit de demander à l'apprenant si un élément (un mot, une phrase, une image, etc.) était présent ou pas dans le matériel présenté lors de la phase d'apprentissage.*

*Les tâches de rappel du contenu : on demande à l'apprenant de dire, d'écrire, de dessiner, ..., ce qu'il a retenu du matériel présenté.*

*Les tâches de rappel de la structure : on demande à l'apprenant non pas de rappeler le contenu, mais l'organisation de celui-ci. »*

(p.47)

La manière d'évaluer l'EIAH *Educ@ffix.net* dans notre travail consiste à savoir si le prototype *Educ@ffix.net* permet aux apprenants d'effectuer la tâche demandée par rapport aux objectifs définis. En effet nous nous intéressons, dans un premier temps, à l'*utilité* de cet EIAH en terme d'objectif d'apprentissage et dans un deuxième temps à l'*utilisabilité* de cet EIAH en terme d'interface du logiciel. Nous ne nous intéressons pas à une évaluation qui comprend une comparaison de l'EIAH étudié avec un autre ou bien dans une situation d'apprentissage sans EIAH.

## 5.7. Contrat didactique

Nous abordons, dans la présente partie, le concept de « *contrat didactique* » afin d'expliquer comment nous définissons ce concept lorsque nous le mettons en œuvre dans notre travail. La place occupée par cette notion au cours de l'apprentissage est aussi importante pour les chercheurs que pour les enseignants parce que certaines difficultés rencontrées par les élèves lors de l'apprentissage peuvent être liées à cette notion. Dans notre étude, ce concept nous permettra de relier des difficultés rencontrées par les élèves au cours de la construction du protocole expérimental avec la façon dont les enseignants abordent les concepts mis en jeu dans l'enseignement.

A court terme, le contrat didactique représente les droits et devoirs implicites des élèves et de l'enseignant à propos du savoir enseigné, à savoir le contrat didactique est un modèle construit par le chercheur. Il sert à décrire et à expliquer ce qui partage et limite les responsabilités de chacun, élèves et enseignant, vis-à-vis d'un savoir enseigné (Brousseau 1986). Le contrat didactique se manifeste de façon générale par la rupture du celui-ci et cette rupture produit une (des) erreur(s) de la part des élèves lors d'une séance d'apprentissage. C'est la raison pour laquelle un travail de recherche effectué en didactique ne peut pas négliger cette notion si cette rupture produit erreur(s), bloque l'avancement du travail d'élèves ainsi que déstabilise des connaissances d'élèves.

Dans une situation didactique, une forme de contrat s'installe de façon essentiellement implicite entre élèves et enseignant en relation avec le savoir en jeu. Ce contrat fixe les rôles et les activités attendues de chaque partie, qui correspondent à ce dont chacun a la charge au sein de l'institution, et sera responsable devant l'autre. L'élève sait bien que les activités proposées visent un but d'enseignement, même s'il ne sait pas exactement lequel. Brousseau (1986) met l'accent sur l'impossibilité pour l'enseignant d'explicitier ce but, faute de quoi l'activité intellectuelle demandée s'effondrerait et les réponses données seraient produites en contournant l'apprentissage visé. Brousseau l'explique de la façon suivante :

*« Dans toutes les situations didactiques, le professeur tente de faire savoir à l'élève ce qu'il veut qu'il fasse. Théoriquement, le passage de l'information et de la consigne du professeur à la réponse attendue, devrait exiger de la part de l'élève la mise en œuvre de la connaissance visée, qu'elle soit en cours d'apprentissage ou déjà connue. »*

(p.51)

Pour Brousseau (1986) le contrat didactique est un ensemble de règles qui partage et limite les responsabilités de l'enseignant et de l'élève relativement à un savoir donné. Il se nourrit de ce que le maître reproduit, consciemment ou non, de façon répétitive dans sa pratique d'enseignant, qui est spécifique des connaissances enseignées, et de ce que l'élève interprète de ce comportement. On peut apercevoir ce contrat à travers l'observation des comportements de l'enseignant et des élèves sur le savoir en jeu dans une relation didactique.

Nous nous référons à la définition que Brousseau (1980) a introduite sur la notion de contrat didactique de la façon suivante :

*« Au cours d'une séance ayant pour objet l'enseignement à un élève d'une connaissance déterminée, l'élève interprète la situation qui lui est présentée, les questions qui lui sont posées, les informations qui lui sont fournies, les contraintes qui lui sont imposées, en fonction de ce que le maître reproduit, consciemment ou non, de façon répétitive dans sa pratique de l'enseignement. Nous nous intéressons plus particulièrement à ce qui, dans ces habitudes, est spécifique des connaissances enseignées : nous appelons « contrat didactique ». »*

(p.127)

Il est nécessaire de souligner que le contrat didactique est lié aux notions mises en jeu lors de l'apprentissage, comme Brousseau (1986) le précise :

*« ce qui nous intéresse ici c'est le contrat didactique, c'est-à-dire la part de ce contrat qui est spécifique du contenu... Le contrat didactique n'est pas un contrat pédagogique générale. Il dépend étroitement des connaissances en jeu. »*

(p.50)

Brousseau (1998, p.60) explique le rôle du contrat didactique comme ceci : *« le contrat didactique est la règle du jeu et la stratégie de la situation didactique. C'est le moyen qu'a le maître de la mettre en scène. »*

La place du contrat didactique est importante lors de l'apprentissage même s'il est généralement implicite, comme Johsua et Dupin (2003) l'ont expliqué :

*« L'existence du contrat didactique permet que la structure didactique fonctionne d'une manière relativement équilibrée. Par des mécanismes plus implicites qu'explicites, un « contrat » se tisse entre le professeur et les élèves en relation avec un savoir. Ce contrat fixe les rôles, places et fonctions de chaque partie. Il fixe les activités attendues du professeur comme des élèves, les places respectives de chacun au regard du savoir traité, et même les conditions générales dans lesquelles ces rapports au savoir évolueront au cours d'un enseignement. Les termes du contrat demeurent largement implicites. Cela ne signifie pas qu'ils ne sont pas connus. »*

(p.9)

En effet, nous pouvons dire que le contrat didactique n'est pas un vrai contrat qu'on peut signer parce qu'il n'est pas explicite et c'est une forme de définition d'une situation didactique. Comme Astolfi et ses collaborateurs (Astolfi et *al.* 1997) l'ont constaté, nous pouvons résumer les caractéristiques du contrat didactique de la façon suivante :

*« 1. Le contrat didactique est un système d'obligations réciproques, largement implicite, qui détermine ce que chaque partenaire didactique - l'enseignant et l'enseigné - a la responsabilité de gérer, et dont il sera d'une manière ou d'une autre, responsable devant l'autre.*

*2. Le contrat didactique est toujours déjà-là, il préexiste à la situation didactique et la surdétermine. L'enseignant y est contraint tout autant que l'élève, pour ce qui le concerne.*

*3. Le contrat didactique définit le métier de l'élève, autant que le métier du maître, aucun des deux ne pouvant se substituer l'un à l'autre, sans faire effondrer la tâche d'apprentissage.*

*4. Le contrat didactique ne se manifeste qu'à l'occasion de ses ruptures. Il est évolutif au cours de l'activité. »*

(p.60)

Il est nécessaire de parler de la notion de « milieu » parce que cette notion occupe une place importante lors qu'il s'agit d'un contrat, notamment lors de l'interaction entre l'apprenant et l'enseignant avec le savoir en jeu. Dans notre situation qui est nouvelle par rapport au TP classique dans la classe, le milieu comprend l'outil informatique, le logiciel et le tuteur artificiel. Le logiciel *Educ@ffix.net* contient un tuteur artificiel qui envoie des messages d'erreur à l'apprenant selon des actions effectuées dans son cahier du laboratoire suite à sa



demande. Dans ce cas précis, le tuteur artificiel fait partie du milieu comme le logiciel lui-même.

L'utilisation d'un nouvel outil, notamment informatique, au cours d'un apprentissage peut provoquer une rupture du contrat didactique. Dans notre étude, le fait d'utiliser un logiciel comme outil unique pour un TP fait une rupture du contrat didactique chez les élèves avec lesquels nous travaillons car ils n'ont pas l'habitude d'effectuer un TP basé uniquement sur un support informatique. Ceci ne signifie pas que les élèves n'utilisent pas d'ordinateur dans les TP mais l'utilisation de ces derniers est limitée aux objectifs suivants (cf. B.O. hors série N°2 du 31 août 2001 et N°7 du 31 août 2000, « *utiliser l'ordinateur pour acquérir des données expérimentales* », « *être capable d'effectuer une recherche documentaire et critique sur un cédérom et sur Internet (en ligne et hors ligne)* »).

Finalement, la notion du contrat didactique telle qu'elle est définie par les didacticiens nous permet de relier les difficultés rencontrées chez les élèves avec l'enseignement que les élèves ont suivi ainsi que la manière dont les enseignants ont abordé les concepts en jeu lors de l'apprentissage dans la classe.

## 5.8. Conceptions

Nous abordons, dans cette partie, le concept de « *conception* » à travers des travaux effectués dans le domaine des sciences expérimentales. Les « *conceptions* » occupent une place importante dans notre étude parce que cette notion nous permet de mettre en évidence des difficultés rencontrées par les élèves en terme de connaissance produisant des erreurs lors de la construction d'un protocole expérimental en chimie. Dans les paragraphes suivants, nous distinguons d'abord le concept de « *conception* » avec celui de « *représentation* » en s'appuyant sur les définitions données par les didacticiens, puis nous donnons la définition de « *conception* » que nous avons prise en compte dans notre étude et enfin soulignons le terme « *erreur* » et sa place au cours de l'apprentissage.

Les élèves n'arrivent pas en classe vierge de toute connaissance. Au contraire ils ont une expérience vécue du monde qui les entoure et arrivent à l'école avec déjà des idées, des notions et des façons de raisonner, ce que l'on appelle des « *représentations* » ou des « *conceptions* ». Certains faits les surprennent parce qu'ils ne s'intègrent pas dans leur système explicatif. Les « *conceptions* » construites par les élèves pour organiser le monde qui les entoure sont souvent différentes des conceptions scientifiques. Elles sont tenaces et résistent aux efforts d'enseignement, persistent fréquemment après l'apprentissage, voire les mêmes « *conceptions* » peuvent persister jusqu'à l'université.

L'élève, l'apprenant, construit un système de « *représentations* » qui intègre à la fois leurs savoirs et leurs « *conceptions* » antérieures. Les conceptions leurs permettent d'expliquer le monde qui les entoure de façon scientifique ou non scientifique. Elles fonctionnent de façons cohérentes et suffisent souvent dans la vie quotidienne. Ces « *idées préalables* », ce « *déjà-là* », ces « *raisonnements spontanés* » (Bachelard 1938) ont longtemps été, en didactique, appelés indifféremment « *représentations* » ou « *conceptions* ».

La notion de « *déjà-là* » a pris la place de celle de « *prérequis* » et elle se présente de façon globale, en tant que « *variable d'entrée* » (Jonnaert 1993). Cette notion signifie l'ensemble des connaissances et des représentations de l'individu. Pour Astolfi (1997, p.147), le « *déjà-là* » sert de « *système d'explication efficace et fonctionnel pour l'apprenant* » même si le « *déjà-là* » peut être faux scientifiquement. Ce sont les travaux réalisés sur les difficultés des élèves qui ont amené à la notion de « *conceptions* » dans le domaine de la didactique des sciences dans les années 70, comme Tiberghien [1] souligne :

*« ces travaux avaient comme but d'améliorer l'enseignement et que ces premiers travaux avaient pour but de mieux connaître dans un premier temps les connaissances*

*préalables des élèves, dans un deuxième temps les difficultés des élèves dans l'apprentissage et finalement les acquis des élèves après enseignement. »*

En ce qui concerne l'utilisation des termes dans ce domaine, nous constatons divers termes employés comme Tiberghien explique

*« les termes utilisés dans la première décennie (80-90) étaient les suivants : représentations, conceptions, misconceptions, alternative framework (utilisé seulement en anglais), raisonnement spontané, modèle spontané. Dans ces termes nous remarquons qu'il n'y a pas d'approche théorique largement partagée. »*

(ibid.)

Le terme « *représentations* » était déjà utilisé au 19<sup>ème</sup> siècle (Durkheim 1878, cité par Clément, 1994 p.16), mais dans une connotation sociale. Jean Migne (1970) a été l'un des premiers à introduire le terme de « *représentations* » dans le cadre de la didactique. Il donne la définition suivante :

*« Une représentation peut être considérée comme un modèle personnel d'organisation des connaissances par rapport à un problème particulier. On ne peut parler de la représentation comme d'une notion en soi. La représentation étant toujours représentation de quelque chose, on ne peut l'étudier que dans un contexte défini, par exemple celui de notions élémentaires de physique. »*

(Cité par Astolfi et al. 1997, p.147)

A partir des années 70, le terme de « *conceptions* » apparaît peu à peu dans les articles de didactique et jusqu'en 1987, les termes « *conceptions* » et « *représentations* » étaient indifféremment utilisés. Ce sont Giordan, de Vecchi et Martinand (Giordan et de Vecchi 1987, Giordan et Martinand 1988) qui ont été les premiers à proposer aux didacticiens des sciences expérimentales l'utilisation du terme de « *conception* » à la place de « *représentation* ». Comme Chappaz (1993) l'a constaté, Develay (1993) dans son article n'emploie que le terme « *représentation* », Giordan (1993) n'emploie que le terme « *conception* », de Vecchi, Dupin et Joshua, emploient presque indifféremment l'un et l'autre avec une légère préférence pour « *conception* ». Ces didacticiens (Giordan et de Vecchi, 1987) justifient leur choix comme suit :

*« au terme de représentation, nous préférons, pour des raisons de clarté, celui de conception ou de construct. Le premier met l'accent sur le fait qu'il s'agit, à un premier niveau, d'un ensemble d'idées coordonnées et d'images cohérentes, explicatives, utilisées par les apprenants pour raisonner face à des situations-problèmes, mais surtout il met en évidence l'idée que cet ensemble traduit une structure mentale sous-jacente responsable de ces manifestations contextuelles. Quant au second, il met en valeur l'idée, essentielle à nos yeux, d'élément moteur entrant dans la construction d'un savoir, et permettant même les transformations nécessaires. »*

(p.79)

Les didacticiens eux-mêmes ne donnent pas la même signification aux termes « *représentation* » et « *conception* ». La définition donnée par Develay (1993, p.9) pour le terme « *représentation* » est la suivante : « *la représentation inscrit le sujet qui l'exprime dans son rapport d'objectivité au monde.* »

Le terme de « *conception* » n'a pas non plus la même signification pour tous les didacticiens. Pour Astolfi et Develay (1989), il s'agit d'un « *déjà-là conceptuel* » tandis que pour Giordan

et Martinand (1988), il s'agit du « *cadre de référence* », des « *idées préalables qu'a un apprenant sur un objet d'études* ».

Les connaissances, pour être qualifiées de « scientifiques », doivent être reconnues comme telles par la communauté scientifique. Giordan (1998) distingue les conceptions des novices de celles des experts, c'est-à-dire de celles qui sont acceptées, tout en précisant que dans certains cas pratiques, ce sont les premières qui sont les plus performantes.

Dupin et Joshua (1993) considèrent les conceptions comme un reflet de la réalité extérieure chez les élèves.

*« Les conceptions des élèves jouent un rôle de grille de lecture de la réalité extérieure. Bien souvent, elles permettent une action efficace sur la réalité, même si elles sont fausses pour l'expert. Cette efficacité est sans doute une des raisons majeures de la résistance de ces conceptions naïves face à l'enseignement. »*

(p.52)

Giordan et de Vecchi (1987) modélisent les composants d'une « *conception* » ou « *construct* » sous la forme suivante :  $\text{conception} = f(\text{P.C.O.R.S.})$ , où P, C, O, R et S désignent respectivement le problème, le cadre de référence, les opérations mentales, le réseau sémantique et les signifiants.

*« Le problème est l'ensemble des questions plus ou moins explicites qui induisent ou provoquent la mise en œuvre de la conception (c'est en quelque sorte le moteur de l'activité intellectuelle). »*

*« Le cadre de référence est l'ensemble des connaissances périphériques activées par le sujet pour formuler sa conception (ce sont les autres représentations sur lesquelles l'apprenant s'appuie pour produire ses conceptions). »*

*« Les opérations mentales consistent en un ensemble d'opérations intellectuelles ou transformations que l'apprenant maîtrise et qui lui permettent de mettre en relation les éléments du cadre de référence et ainsi de produire et d'utiliser la conception (ce sont les invariants opératoires). »*

*« Le réseau sémantique est une organisation mise en place à partir du cadre de référence et des opérations mentales. Il permet de donner une cohérence sémantique à l'ensemble et par là produit le sens de la conception (le sens du construct apparaît à partir des liens « logiques » établis entre les différentes conceptions principales et périphériques). »*

*« Les signifiants consistent en un ensemble de signes, traces et symboles nécessaires à la production et à l'explication de la conception. »*

(p.87)

Peu à peu, ces définitions ont évolué et se sont affinées pour aboutir à une définition généralement reçue, comme Giordan et ses collaborateurs (1994) l'ont annoncé :

*« c'est un univers construit de significations, mettant en jeu des savoirs accumulés et plus ou moins structurés, proches ou éloignés des connaissances scientifiques qui leur servent de références »*

(p.10)

Nous constatons des points communs entre les différentes définitions sur le terme « *conception* ». Comme Giordan et de Vecchi (1987) ont expliqué

*« une conception correspond à une structure sous-jacente »*

*« une conception est un modèle explicatif »*

*« les conceptions ont une genèse à la fois individuelle et social ».*

(p.79, 82, 85)

La première définition donnée pour la « *conception* » est « *l'écart entre la pensée de l'apprenant et la pensée scientifique* » (Nakhleh 1992, p.191). Cette définition est principalement rencontrée dans les études anglo-saxonnes. Comme Özmen (2004) l'a constaté,

*« Students' conceptions that are different from those accepted by scientific community are variously labeled in the science education literature as misconceptions. »*

(p.148)

Les conceptions sont alors dénommées « *misconceptions* » dans la version anglaise, très utilisées par exemple par Novak (Novak 1984, 1988, Novak & Gowin 1984). Ce sont des écarts par rapport aux connaissances scientifiques de référence. Nous citons quelques articles dans lesquels les auteurs utilisent le terme « *misconceptions* » dans la didactique de la chimie (Abimbola 1988, Gonzalez 1997, Griffiths 1994, Griffiths *et al.* 1988, Schmidt 1997, Treagust 1988).

En se référant à Confrey (1986, cité par Balacheff 1995), nous constatons que « *une misconception ne peut exister que parce qu'elle a un domaine de validité. Il reste à trouver lequel.* »

Robardet et Guillaud (1997) ont expliqué le terme « *conception* » dans leur livre de la façon suivante :

*« Une conception renvoie à des processus mentaux mis en œuvre par celui qui agit, qui raisonne, qui apprend... ces processus ne sont bien sûr pas directement observables. On ne peut que constater leurs manifestations au niveau des procédures mises en œuvre par l'apprenant. Le chercheur, dans le but de donner du sens aux erreurs d'un élève, doit donc faire des inférences sur son fonctionnement mental. Il ne s'agit pas de dire qu'un élève a telle conception mais de faire l'hypothèse que « l'élève fonctionne comme si... ». En d'autres termes : on peut dire que les conceptions ne sont pas une propriété des individus mais une construction du chercheur pour modéliser le fonctionnement cognitif de l'élève en vue d'interpréter les procédures observées dans les situations d'apprentissage ».*

(p.158)

Guillaud (2001) définit le terme « *conception* » de la façon suivante : « *les conceptions sont des interprétations construites par le chercheur, concernant les connaissances productrices d'erreurs ou non, mises en œuvre par les élèves placés dans une situation donnée.* »

Tiberghien résume la définition du terme « *conception* » de la façon suivante :

*« une conception est un ensemble hypothétique de propositions, savoir-faire, procédures, habiletés manuelles que le chercheur attribue à l'élève dans le but de*

*rendre compte de ses conduites dans un ensemble de situations données. » et « cette définition est fondée sur une hypothèse sous-jacente : le fonctionnement de l'élève est cohérent si l'on se place de son point de vue. »*

(ibid.)

Finalement, les connaissances qui sont différentes des savoirs scientifiques peuvent être considérées soit comme des erreurs, soit comme d'autres connaissances qui peuvent être pertinentes dans des contextes différents. Il est important de souligner que la « *conception* » est valable dans une situation à un moment donné et est une interprétation construite par le chercheur. Ceci nous permet de dire que si les conditions de la situation changent par rapport à la situation où l'on a fait émerger la « *conception* », nous risquons de ne pas rencontrer la même « *conception* ». Dans notre étude, nous avons pris en compte la notion de « *conception* » telle que Robardet et Guillaud l'ont définie, notamment celle qui est proposée par Guillaud (2001).

### **Erreur**

Nous abordons le terme d'« erreur » parce que nous nous intéressons aux conceptions qui produisent des raisonnements erronés. Brousseau (1983) explique ce terme a une place importante dans l'apprentissage.

*« L'erreur n'est pas seulement l'effet de l'ignorance, de l'incertitude, du hasard que l'on croit dans les théories empiristes ou béhavioristes de l'apprentissage, mais l'effet d'une connaissance antérieure, qui avait son intérêt, ses succès, mais qui, maintenant, se révèle fausse, ou simplement inadaptée. »*

(p.171)

L'erreur commise par l'élève lors de l'apprentissage peut être un indicateur de la façon de penser, comme Astolfi (1995 p.101) le souligne dans son livre « *les erreurs sont des révélateurs des modes de pensée sous-jacents.* ». De Vecchi et Carmona-Magnaldi (2002) mettent en évidence la place de l'erreurs et soulignent que l'erreur constitue la partie émergée de l'iceberg et beaucoup d'erreurs sont indicatrices d'obstacles sous-jacents. Les erreurs commises par les élèves lors de la résolution de problème sont importantes en terme d'apprentissage parce qu'elles peuvent être un obstacle qui est fréquemment rencontré par d'autres élèves dans la même situation. Astolfi (2003) ajoute à ce propos que

*« les erreurs commises ne sont plus des fautes condamnables ni des bogues regrettables : elles deviennent les symptômes intéressants d'obstacles auxquels la pensée des élèves est affrontée. »*

(p.15)

En effet, ce n'est pas l'erreur qui est importante pour la recherche dans le domaine où nous travaillons, c'est plutôt la cause de l'erreur qui est déterminante en terme d'obstacle parce que ceci est l'origine de l'erreur.

Robardet et Guillaud (1997) relie les erreurs commises par les élèves au cours de l'apprentissage avec la notion de « *conception* » de la façon suivante :

*« Les apprenants interprètent les situations qu'on leur présente en fonction des « connaissances » dont ils disposent. Les recherches en didactique ont maintenant parfaitement montré que ces réponses n'étaient pas données par hasard. Ce ne sont pas, en effet, les erreurs accidentelles qui nous intéressent ici, mais les erreurs récurrentes qui jusque-là était attribuées, soit à un dysfonctionnement, soit à des*

*lacunes de connaissances et donc connotées très négativement. Les recherches consistent à montrer qu'elles se regroupent autour de conception ».*

(p.155)

De Vécchi et Carmona-Magnaldi (1996) ont comparé le terme « *erreur* » avec celui d'« *obstacle* » pour les distinguer de la façon suivante :

*« une erreur apparaît dans un exercice, dans une formulation orale... on peut la rectifier. Le mot obstacle vient de obstare : se tenir devant. Dans la vie quotidienne, un obstacle on le contourne ; en classe il va falloir le renverser, le franchir, le dépasser. »*

(p.54)

### **Quelques conceptions des élèves**

Actuellement, une bibliographie des travaux sur les conceptions des élèves et des enseignants dans le domaine des sciences expérimentales est disponible (Pfundt, Duit 1994). nous avons effectué une large recherche dans la littérature autour des conception en chimie. cela nous a permis de voir le raisonnement des élèves lors de la résolution d'un problème posé en chimie mais ces conceptions ne concernent pas les concepts mis en jeu dans notre étude.

Beaucoup de travaux sont centrés sur les concepts de

réaction chimique : Les élèves conçoivent la réaction chimique comme une simple addition plutôt que comme un processus d'interaction (Ben-Zvi *et al.* 1987) et considèrent que le terme « *substance* » et « *matière* » sont des synonymes et tout est substance (Roletto, Piacenza 1994). Pour eux, la réaction chimique est synonyme de l'existence de deux corps au départ (Stravridou 1990).

gaz : les élèves ne reconnaissent pas les forces pressantes d'une quantité d'aire localisée sa pression est inférieure à la pressions atmosphériques. Selon eux, cette quantité d'aire n'a pas de pression (Séré, 1986)

formule chimique : les élèves pensent que les coefficients sont utilisés pour équilibrer seulement la réaction chimique (Yarroch 1985, Ben-Zvi *et al.* 1987) et le coefficient n'indique que le numéro de premier élément chimique dans la formule ; par exemple  $2\text{NaCl}$  contient 2 sodium ions et 1 chlore ions (Smith & Metz 1996).

dissolution : les élèves pensent que les particules solutés entrent aux espaces vides dans des molécules d'eau (Sequiera & Leite 1990) et ils connaissent rarement le rôle de la nature polaire des molécules d'eau lors de la dissolution (Butts & Smith 1987).

évaporation : les élèves attribuent les propriétés macroscopiques de l'eau à un ensemble de micro-éléments (micro-gouttes) et ils font l'analogie, dans leurs représentations schématiques, avec une balle qui rebondit sur les parois du gymnase ou contre une autre balle (Canal *et al.* 1992).

pression : la pression est souvent comprise comme « *compression* » ou « *tassement* » au niveau du collège (Séré 1985, Chomat *et al.* 1990) comme au niveau universitaire (Rozier 1988).

En conclusion, à travers des recherches menées en didactique de la chimie nous n'avons pas pu trouver une conception liée directement aux concepts mis en jeu dans notre étude. A notre connaissance, les concepts chimiques avec lesquels nous travaillons n'ont pas fait l'objet de recherches didactiques approfondies.



## CHAPITRE 6. METHODOLOGIE

Nous présentons, dans le présent chapitre, la méthodologie de recherche que nous avons choisie. Elle est divisée en quatre parties : (1) organisation de l'expérimentation, (2) enquête auprès des élèves, (3) expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net* et (4) enquête auprès des enseignants.

Nous avons choisi d'utiliser plusieurs types de recueil de données dans notre étude afin de pouvoir recueillir à travers la production des élèves des données variées et les plus riches possibles. Ceci permettra de répondre à nos questions de recherche. Nous en parlerons d'avantage de manière approfondie dans les parties suivantes.

Pour le recueil de données, plusieurs méthodes sont possibles, certaines sont plus faciles que d'autres, et toutes sont complémentaires. L'utilisation de plusieurs méthodes complémentaires rend l'analyse et l'interprétation des données plus pertinentes ; c'est ce que nous avons tenté d'effectuer, tels que l'utilisation du questionnaire, l'observation « *in situ* », l'enregistrement des dialogues, la réalisation d'entretiens et l'utilisation des outils de traces logicielles. Selon les contraintes que le chercheur rencontre durant son travail, ce dernier se trouve obligé d'opter pour une méthode plutôt qu'une autre. Dans notre étude, la première contrainte que nous avons constatée est que nous ne pouvions pas laisser travailler l'élève tout seul avec le logiciel *Educ@ffix.net*. En effet, les élèves travaillant en groupe devant un logiciel peuvent s'exprimer plus facilement qu'en solitaire ce qui nous donne des indicateurs sur ce qu'ils pensent et ce qu'ils font.

Les trois méthodes essentielles pour le recueil de données sont les questionnaires écrits (y compris des brouillons et le compte-rendu de TP), les entretiens individuels et les observations directes de classe. Nous pouvons y ajouter les productions des élèves dans le cadre de la classe : dialogues d'élèves, conversation au sein de petits groupes d'élèves. Nous avons fait le choix, parmi toutes ces possibilités d'utiliser un questionnaire, d'enregistrer la conversation au sein de binômes et de réaliser des entretiens individuels avec les enseignants. Ces méthodes choisies nous ont semblé être les plus adaptées dans notre cas.

### 6.1. Organisation de l'expérimentation

Pour connaître l'état des connaissances des élèves sur les concepts définis dans la carte conceptuelle, nous avons fait le choix de soumettre un questionnaire aux élèves. Pour construire ce questionnaire, nous avons effectué au préalable une analyse des programmes officiels et du contenu des manuels utilisés dans les classes avec lesquelles nous travaillons sur les concepts mis en jeu. Cela nous a permis de savoir comment ces concepts sont abordés dans les documents à la disposition des enseignants (et élèves). Nous avons également travaillé avec les enseignants pour savoir si la formulation des questions préparées était compréhensible par leurs élèves.

Pour mettre en évidence les difficultés rencontrées par les élèves et la construction des connaissances procédurales lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net*, nous avons décidé d'enregistrer la conversation au sein des binômes, d'utiliser des traces logicielles, de récupérer des brouillons et d'observer les élèves.

Pour savoir comment l'enseignant a enseigné au préalable les concepts mis en jeu, nous avons effectué des entretiens avec les enseignants avec lesquels nous avons travaillé.

Notre expérimentation a été organisée en quatre temps.





### 6.1.1. Les différentes phases de l'expérimentation

Tout d'abord, la première phase, un pré-test sous forme de questionnaire papier, a été réalisé 5 semaines avant que les élèves travaillent avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Ce pré-test a pour fonction de connaître l'état des connaissances des élèves avant l'expérimentation.

La deuxième phase correspond à l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Elle a été réalisée après le pré-test. Le but de cette expérimentation est de faire travailler les élèves avec un logiciel permettant de construire un protocole expérimental dans une situation qui leur est inhabituelle, à savoir avec un logiciel tout au long du travail. Cette expérimentation avec le logiciel occupe la plus grande partie de nos questions de recherche comme nous l'avons abordé dans la partie problématique.

Ensuite, la troisième phase, un post-test correspondant à un questionnaire version papier, a été distribué 4 semaines après l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Dans le but de conserver le même délai entre les séances de l'expérimentation, nous avons prévu de passer le questionnaire 5 semaines après l'utilisation d'*Educ@ffix.net* mais le calendrier scolaire ne nous a pas permis d'effectuer le post-test dans le temps prévu. Dans ce post-test les mêmes connaissances qu'au pré-test ont été évaluées. Il a pour but de mettre en évidence l'évolution des connaissances des élèves après l'utilisation du logiciel.

Nous avons eu la confirmation de la part des enseignants que les élèves n'ont reçu aucun enseignement entre le pré-test et le post-test concernant les concepts mis en jeu lors de l'expérimentation. Cet enseignement ayant eu lieu 12 semaines auparavant.

La dernière phase correspond à un entretien effectué avec les enseignants. Elle a été réalisée 4 semaines après le post-test. Cet entretien a eu pour but de connaître précisément l'enseignement suivi et notamment d'aider à expliquer les difficultés rencontrées par les élèves lors de l'expérimentation.

### 6.1.2. Le choix des méthodes de recueil de données

Le choix d'utiliser le questionnaire correspond à la nécessité de tester l'état des connaissances des élèves sur les concepts mis en jeu avant l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net* et de mettre en évidence l'évolution de ces connaissances après l'utilisation du logiciel. Après avoir préparé notre questionnaire, nous avons demandé aux enseignants de nous confirmer si la formulation des questions convenait au niveau de leurs élèves.

Le choix d'enregistrer la conversation des binômes correspond à la nécessité de savoir d'une part comment les élèves procèdent au cours de la résolution du problème posé au TP avec le logiciel et d'autre part comment ils construisent les connaissances procédurales que nous

avons définies. Cet enregistrement audio et/ou vidéo nous permet d'obtenir des informations concernant la façon de réfléchir des élèves à propos des actions effectuées dans le logiciel *Educ@ffix.net*. C'est la verbalisation des dialogues des élèves au sein du binôme qui nous permet d'éventuellement identifier comment ils construisent des connaissances procédurales.

Le choix d'utiliser des traces logicielles correspond à la nécessité de connaître le cheminement suivi par les élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net*. Dans un premier temps, cela nous permet de vérifier si les élèves réussissent la tâche demandée. Dans un deuxième temps, il nous permet de connaître l'ordre des actions effectuées par les élèves.

Le choix d'analyser les brouillons des élèves peut donner des informations sur le détail de calculs de concentrations des solutions pendant l'utilisation du logiciel.

Le choix d'observer les élèves correspond à la nécessité de connaître les questions posées et les retours expérimentaux utilisés par les élèves durant l'expérimentation en les mettant en relation avec les enregistrements audio.

Quant au choix de réaliser des entretiens avec les enseignants, il correspond à la nécessité de savoir d'une part si les difficultés rencontrées par les élèves sont liées à l'enseignement qu'ils ont suivi et d'autre part ce que les enseignants ont enseigné aux élèves sur les concepts mis en jeu dans notre expérimentation.

## **6.2. Enquête auprès des élèves**

### **6.2.1. Nature de l'échantillon**

Notre questionnaire a été réalisé auprès d'élèves de Terminale scientifique (56 élèves au total au pré-test, 49 au post-test, âgés de 17-18 ans, réparties en deux classes) des lycées d'Echirolles (Isère) et de Villefranche-sur-Saône (Rhône).

### **6.2.2. Caractéristique du pré-test et post-test**

Un même questionnaire a été soumis aux élèves, avant et après expérimentation avec le logiciel *Edu@ffix.net* dans les deux classes. Nous avons utilisé le même questionnaire dans les deux classes pour nous assurer que les variations dans les réponses des élèves ne soient pas le fait de différences de formulation des questions. Il est nécessaire de dire que nous avons enlevé au post-test deux questions du pré-test (QT5c et QP2b) et ajouté deux questions supplémentaires (QT4c et QP6b). Les questions enlevées, qui étaient les deuxièmes questions pour un même concept, ont un taux de réussite de plus de 90% au pré-test et nous avons donc pensé qu'il n'était pas utile de poser les mêmes questions au post-test.

Notre questionnaire comporte des questions ouvertes et des questions à choix multiple (QCM). Concernant les questions ouvertes, la personne qui répond à une question ouverte formule sa réponse avec ses mots. Ce type de questions nécessite de catégoriser les réponses parce que de multiples réponses peuvent être acceptables. L'information obtenue suite à des questions ouvertes apparaît assez fragile car pour ces informations, les effets associés à l'enquêteur sont plus grands. Comme De Singly (1992) l'a constaté : « *la qualité des informations recueillies dépend alors d'avantage de l'enquêteur qui élimine éventuellement des indications précieuses et résume souvent la réponse* ». Nous avons posé des questions ouvertes dans notre questionnaire car nous espérons avoir des réponses plus riches d'informations sur le concept concerné.

Un QCM est une question où le sujet doit opérer une sélection parmi plusieurs solutions proposées, chacune étant jugée correcte ou incorrecte en soi. D'après la définition ci-dessus,

nous pouvons considérer, comme le fait Morissette (1984) que les QCM comportent essentiellement deux parties : (1) un énoncé qui représente le problème posé et le cadre de référence qui permet de le résoudre (2) une suite de réponses parmi lesquelles on doit choisir la (ou les) bonne(s) réponse(s). Pour tout QCM il existe au moins une bonne réponse et plusieurs réponses fausses mais qui doivent cependant sembler plausibles à l'élève qui répond. On appelle « distracteurs » ces réponses fausses ou moins appropriées que les autres.

de Ketele (1984) a énoncé seize règles pour la formulation des QCM. Chastrette (1989) a aussi proposé des règles pour formuler des énoncés. La forme des questions influe très fortement sur le taux de réponses exactes comme l'ont montré Cassels et Johnstone (1984). Ainsi, l'élève répond mieux lorsque la question est formulée dans un langage simple et demande une réponse positive.

Il y a quasi-unanimité, parmi les spécialistes anglo-saxons de l'art du questionnaire, pour estimer que la réponse sans avis (sans opinion, ne sait pas) doit être proposée explicitement (Grémy 1992). Proposer explicitement cette possibilité de réponse est censée diminuer l'anxiété de la personne interrogée, c'est pourquoi cette pratique est recommandée (Converse & Presser 1986). Ceci en accord avec Payne (1951) qui considère que « *un oui qui signifie non est pire qu'un ne sait pas* ».

Afin de respecter cette recommandation indispensable, nous avons donné aux élèves la possibilité de cocher la case « *ne sait pas* » s'ils ne connaissent pas la réponse à la question posée, non seulement pour les questions ouvertes mais également pour les QCM. Nous avons offert une place de 4 lignes pour toutes les questions ouvertes. Pour les questions fermées, nous avons proposé aux élèves de cocher l'une des deux cases suivantes pour confirmer ou infirmer l'explication posée : vrai, faux.

Notre questionnaire est constitué de quinze questions, contenues dans cinq feuilles rectos. Nous avons envisagé que les textes et les graphiques des questions pourraient influencer les réponses des élèves à d'autres questions portant sur des notions proches ; c'est pourquoi nous avons présenté les questions semblant proches sur des pages différentes. Par exemple, pour le concept de « la loi de Beer-Lambert » nous avons proposé deux questions dans le pré-test. Nous avons posé une question contenant 9 sous-questions sous la forme de texte en première page. Nous avons posé une autre question utilisant des formules mathématiques dans la sixième question du pré-test en deuxième page.

Le questionnaire est reproduit dans son intégralité en annexe.

### **6.2.3. Condition de passation du questionnaire**

Pendant la passation du questionnaire, l'enseignant et le chercheur étaient présents. La présence du chercheur a eu pour rôle de répondre si nécessaire aux questions posées par les élèves, afin que l'enseignant ne donne pas d'aide pour répondre au questionnaire.

Avant la passation du questionnaire, les enseignants ont présenté aux élèves le chercheur. Ensuite, ils ont donné la parole au chercheur qui a expliqué le but de ce questionnaire. Nous avons d'abord signalé que les explications et réponses étaient très importantes pour notre travail. Pour limiter l'influence de la formulation des questions sur les réponses (afin que les élèves n'utilisent pas les mots et explications donnés dans les différentes questions dans leurs réponses), nous avons demandé aux élèves de suivre l'ordre des pages.

Nous avons également ajouté oralement les trois consignes suivantes : les élèves doivent écrire leur nom, ne doivent en aucun cas communiquer entre eux et doivent répondre sur le questionnaire lui-même.

La durée qui a été laissée aux élèves était de 20 minutes. Mais comme la plupart n'avait pas terminé le questionnaire dans le temps prévu, il leur a été alloué 25 minutes au total.

### 6.3. Expérimentation avec le logiciel

Pour répondre à nos questions de recherche, nous avons demandé aux élèves d'élaborer un protocole expérimental pouvant répondre à la question posée avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

Les élèves ont travaillé en binômes pendant l'expérimentation. Ils ont été regroupés dans une salle informatique au lycée reliée à Internet pour pouvoir accéder au logiciel *Educ@ffix.net*. Le logiciel a été présenté en 10 minutes par le chercheur et les élèves ont disposé de 1h30 pour construire le protocole expérimental. Les élèves ont été enregistrés par audio ou vidéo pendant ce travail. Certains binômes n'ont pas voulu être enregistrés lors de l'utilisation du logiciel *Educ@ffix.net*. Pour ceux-là, nous ne disposons d'aucun enregistrement. Les protocoles réalisés et les brouillons écrits ont été récupérés à la fin de la séance. Nous avons filmé les binômes avec un caméscope fixé. Nous avons travaillé au total avec 28 binômes (56 élèves) pendant l'expérimentation, parmi lesquels nous avons enregistré au total 21 binômes (18 avec un magnétophone, 3 avec un caméscope) et 7 binômes n'ont pas été enregistrés. Soulignons que les images enregistrées avec un caméscope n'ont pas été utilisées mais seul le son a été traité comme un enregistrement audio car nous ne nous intéressons pas les gestes effectués par les élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel. Le rôle de l'enseignant dans cette séance était orienter les questions posées par les élèves au chercheur qui répond ces questions.

Nous avons utilisé un logiciel de suivi de trace qui permet de suivre le cheminement des élèves dans le logiciel. Les élèves n'étaient pas au courant de l'acquisition des traces logicielles.

La tâche proposée par le système *Educ@ffix.net* se compose de deux parties : la construction du protocole expérimental par l'apprenant à l'aide du tuteur artificiel et la manipulation réalisée par le robot. Le robot à distance ne fonctionnait pas correctement au moment de l'expérimentation. Par conséquent, les élèves ont conçu un protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*, évalué leur travail avec le tuteur artificiel mais n'ont pas réalisé l'expérimentation. Notre travail de recherche étant centré sur la conception du protocole, l'absence du robot n'a pas été un problème. Cependant, pour remplacer les retours expérimentaux du robot, nous avons préparé des spectres d'absorbances à différentes concentrations à la fois avec E124 et le sirop de grenadine avant l'expérimentation. Nous avons préparé également une gamme de coloration en fonction de la concentration en E124. Cette gamme contenant 6 concentrations différentes a été préparée à partir d'une solution mère (E124). Nous avons fourni aux élèves, à leur demande, les retours expérimentaux tels que le spectre d'absorbance et la gamme de couleurs dont ils ont eu besoin. Par contre, les matériels dont le robot dispose pour la manipulation sont des matériels que les élèves doivent utiliser lors du travail avec le logiciel, même si ce type de matériel est une nouvelle chose pour eux (par exemple, aiguille de prélèvement).

Nous avons également observé les élèves en prenant des notes sur ce qu'ils ont fait et demandé comme explication. Pour cela, nous avons préparé une fiche d'observation qui a été remplie par deux personnes dans chaque expérimentation. Dans cette fiche, nous avons noté le temps, le numéro du binôme, la question posée par les élèves et la réponse donnée par le chercheur ou l'enseignant. Nous avons également noté les problèmes informatiques éventuels et l'ambiance générale de la classe. Nous présentons ci-dessous la fiche d'observation que nous avons utilisée pendant notre expérimentation.

Etablissement :			Date :	Observateur :
Heure	N° du binôme	Les questions posées par les élèves (à qui, quoi)	Les réponses données (par qui, quoi)	Retours expérimentaux (spectre, gamme couleurs)
...	...	...	...	...

Tableau 8 : Fiche d'observation utilisée pour l'expérimentation avec *Educ@ffix.net*

## 6.4. Enquête auprès des enseignants

L'entretien de recherche est un dispositif d'enquête ayant une place importante dans le domaine des sciences sociales (Blanchet 1991). D'après Ghiglione et Matalon (1978), l'entretien de recherche est essentiellement un outil d'étude qualitative et exploratoire : les données collectées doivent être rigoureusement confrontées et analysées, la subjectivité du codeur et de l'analyste neutralisée. Pendant l'entretien, l'interviewer poursuit son objectif de favoriser la production d'un discours par l'interviewé sur un thème donné au moyen de stratégies d'écoute et d'intervention.

A partir de 1950, les recherches sur les problèmes méthodologiques posés par l'entretien commencent à apparaître aux Etats-Unis. Une partie de ces recherches est consacrée aux déformations provoquées par l'enquêteur sur les données recueillies et l'autre partie est consacrée à l'étude des effets de divers facteurs situationnels et des interactions entre interviewer et interviewé (Blanchet 1985). En 1954, Hyman a énoncé le problème du choix entre les techniques d'entretien directives ou non-directives en terme de validité et de fiabilité de l'information : la validité exige que l'information produite corresponde à ce qui est cherché et qu'il y ait très peu de variations dans les données quel que soit l'interviewer. La fiabilité suppose que les informations recueillies correspondent effectivement aux faits ou à ce qui est réellement pensé.

Le statut technique de l'entretien dépend essentiellement de notre capacité à en programmer les différents paramètres en fonction des objectifs spécifiques d'une recherche (Gorden 1969). Cette planification doit inclure les effets de facilitation d'expressions du discours de l'interviewé et des sous-buts plus précis, notamment concernant le type de discours attendu et le type d'intervention envisagée.

Les méthodes d'enquêtes incluent diverses techniques d'entretiens qui peuvent être directives, non-directives ou semi-directives.

Dans l'entretien directif, les questions sont identiques et l'ordre des questions est imposé. Ce qui est important dans ce type d'entretien c'est la préparation, la technique d'écoute de l'interviewé, et l'explication après coup.

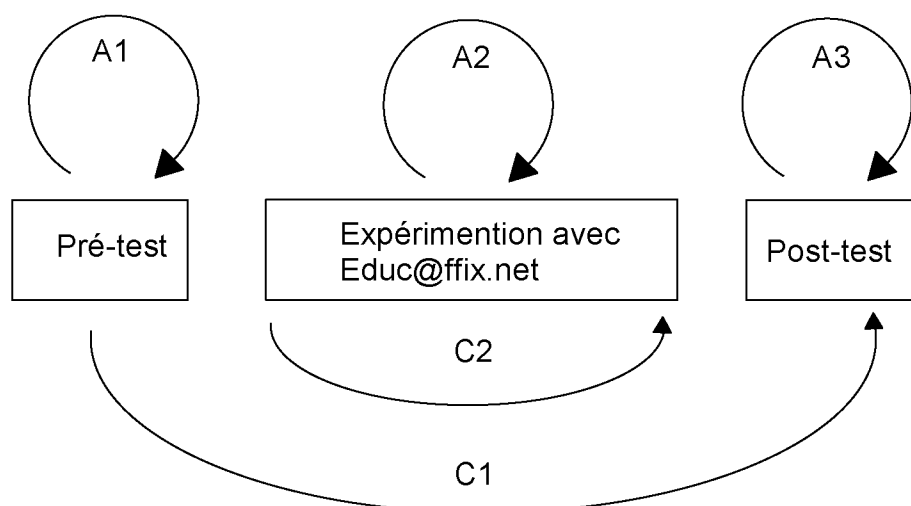
L'entretien non directif est différencié par la libre réponse de l'interviewé à un thème unique proposé par l'interviewer. Ce type d'entretien commence par une question ou une phrase courte de l'interviewer, ensuite l'interviewé dit librement ce que lui inspire la question. Cette technique permet de recueillir les informations les plus profondes du discours de l'interviewé. Comme Michelat (1975) l'explique : « *dans l'entretien non directif, on cherche à faire assumer par la personne interviewée le rôle d'exploration habituellement détenue par l'enquêteur ; ce dernier ne joue plus alors qu'un rôle de facilitation et de soutien* ». La méthode de l'entretien non directif attire l'attention des chercheurs au niveau des informations recueillies mais elle est délicate au niveau du traitement des données car elle peut conduire à des difficultés lors de l'analyse du discours et la comparaison des différents entretiens sur le même sujet.

L'entretien semi-directif désigne habituellement l'utilisation d'un guide d'entretien conjointement à une conduite « non-directive ». A savoir, ce type d'entretien cherche à combiner l'attitude non directive qui favorise la confiance de l'interlocuteur et la directive qui recherche des réponses à une série de questions dont la formulation peut être variable. Des questions ouvertes sont identiques et utilisées dans ce type d'entretien parce qu'elles permettent d'obtenir des réponses larges et comparables entre elles. Il comporte un plan d'entretien avec la consigne de départ et une grille de thèmes à aborder. Dans ce type d'entretien, il n'y a pas d'ordre imposé. Nous précisons que le type d'entretien retenu dans notre travail est celui d'un entretien semi-directif car nous voulons gérer l'entretien au fur et à mesure que les enseignants répondent explicitement.

Pour savoir si les difficultés rencontrées par les élèves, au cours de la construction du protocole expérimental avec le logiciel, sont liées à l'enseignement qu'ils ont suivi, nous avons effectué des entretiens individuels avec les enseignants. Les questions que nous avons posées aux enseignants avec lesquels nous avons travaillé portent sur les connaissances théoriques et procédurales liées aux concepts mis en jeu. Nous en parlons d'avantage en expliquant les thèmes de nos entretiens de façon détaillée dans la partie analyse *a priori*. Notre échantillon compte 2 enseignants de chimie, 1 femme et 1 homme, âgés de 52 et 57 ans et dont les expériences professionnelles sont de 30 et 32 années d'enseignement. Ces entretiens ont duré environ 20 minutes, ils ont été enregistrés avec un magnétophone et réalisés séparément. La transcription de ces entretiens est présente dans l'annexe.

## 6.5. Analyse des données

Dans cette partie nous présentons la méthodologie générale que nous allons suivre pour analyser une partie des données recueillies. Les données issues des trois recueils (pré-test, l'expérimentation avec le logiciel et post-test) seront utilisées dans une perspective comparative suivant deux pistes : comparaison de résultats des questions au pré et au post-test (C1) et comparaison des résultats des actions effectuées par les élèves avant l'intervention du tuteur et au niveau du protocole final (C2).



Les pistes suivies seront les suivantes :

A1 : Analyse des résultats du pré-test

A2 : Analyse des résultats de l'expérimentation réalisée avec le logiciel

A3 : Analyse des résultats du post-test

C1 : Comparaison des résultats des questions au pré et au post-test

C2 : Comparaison des résultats des actions effectuées par les élèves avant l'intervention du tuteur et au niveau du protocole final.

Dans A1, nous allons obtenir les réponses des élèves concernant les connaissances théoriques et procédurales. Ces réponses nous permettront de savoir l'état de leurs connaissances avant le travail avec le logiciel. Dans A2, nous allons obtenir les résultats du travail de l'élaboration du protocole expérimental et éventuellement les informations concernant les difficultés rencontrées par les élèves. Dans A3, nous allons obtenir les réponses des élèves concernant les connaissances théoriques et procédurales après avoir utilisé le logiciel.

Dans C1, nous allons comparer les connaissances théoriques et procédurales des élèves au pré-test et au post-test. Ces résultats nous permettront de mettre en évidence l'évolution des

connaissances théoriques et procédurales des élèves entre les pré et post-tests. Dans C2, nous allons comparer les actions effectuées par les élèves avant l'intervention du tuteur et au niveau du protocole final. Ces résultats nous permettront de mettre en évidence une éventuelle construction des connaissances procédurales pendant l'expérimentation avec le logiciel.

Finalement, l'analyse des connaissances théoriques des élèves est liée aux résultats du pré-test et post-test (A1, A3 et C1). L'analyse des connaissances procédurales des élèves est liée aux résultats du pré-test, post-test et de l'expérimentation (A1, A2, A3, C1, C2).

Nous présentons notre méthodologie d'analyse détaillée, à la fois dans la partie « analyse a priori » et dans la partie « résultats ».

# CHAPITRE 7. ANALYSE A PRIORI

Nous présentons dans ce présent nos analyses *a priori* en trois parties. La première partie concerne l'analyse *a priori* du questionnaire, la deuxième partie celle de l'entretien que nous allons effectuer avec les enseignants. La troisième partie concerne l'analyse *a priori* de l'expérimentation pendant laquelle les élèves travaillent avec le logiciel Educ@ffix.net.

## 7.1. Analyse *a priori* du questionnaire

Nous présentons notre analyse *a priori* du questionnaire d'après l'ordre des connaissances théoriques et procédurales que nous avons définies. Nous présentons les différentes réponses que nous attendons chez les élèves.

### 7.1.1. Connaissances théoriques

*Connaissance théorique (T1) : concentration molaire ;  $C=n/V$ .*

Question QT1 : 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 ?

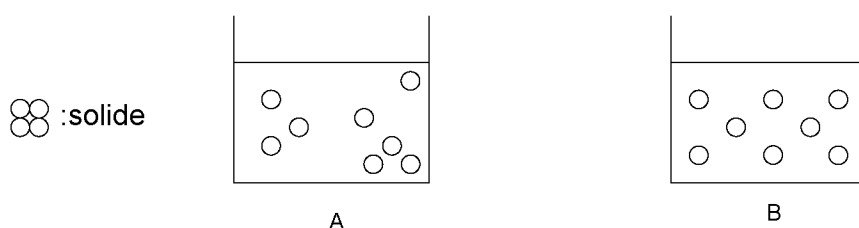
Comme nous l'avons constaté à partir de l'analyse des contenus, la formule de la concentration molaire et son utilisation pour trouver une concentration d'une solution aqueuse est un acquis indispensable pour les élèves dès le début du lycée. Dans cette question ouverte, nous voulons savoir si les élèves connaissent la notion de concentration molaire (C), sa formule ( $C=n/V$ ) et s'ils sont capables d'utiliser sa formule pour calculer la concentration d'une solution aqueuse. La réponse attendue pour cette question est de trouver comme concentration molaire de la solution de diiode  $3 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$  en utilisant la formule  $C=n/V$ .

Pour les élèves qui commettent une erreur lors du calcul algébrique, nous pouvons attendre les réponses suivantes :  $3 \cdot 10^{-1} \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $3 \text{ mol.L}^{-1}$  car il s'agit d'une difficulté liée à la puissance de 10. Pour ceux qui ne mettent pas les données correctement dans la formule (exemple :  $C=n \cdot V$ ), nous pouvons attendre les réponses suivantes :  $4,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $4,8 \cdot 10^{-4} \text{ mol.L}^{-1}$ ,  $4,8 \cdot 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$  car il s'agit d'une difficulté liée à l'utilisation de la formule de concentration molaire. Cette question nous permettra de savoir si les élèves ont la connaissance théorique T1.

*Connaissance théorique (T2) : homogénéité ; la valeur de la concentration est identique en toute partie d'un volume.*

Question QT2 : Qu'est-ce qu'une solution homogène ?

Question QP1 : Quelle est la solution homogène ? Comment passe-t-on de l'une à l'autre ?





Nous posons deux questions sur cette connaissance théorique (T2). La première question est une question ouverte et la deuxième est une question fermée. Dans la question ouverte, nous demandons aux élèves de définir une solution homogène. Dans la deuxième question, nous demandons de désigner la solution homogène parmi les deux représentations schématiques et d'expliquer comment on peut avoir une solution homogène à partir d'une solution non-homogène. Avec ces deux questions (la première question ouverte et la première partie de la deuxième question), nous cherchons à savoir si les élèves connaissent la notion d'homogénéité. La deuxième partie de la deuxième question qui ne fait pas partie de cette connaissance théorique est consacrée à la façon d'homogénéiser, notamment à la connaissance procédurale (P1).

La réponse attendue à la première question devrait prendre en compte la notion de concentration comme nous l'avons définie ci-dessus (T2). C'est-à-dire que nous attendons une réponse au niveau microscopique (notion de concentration). Il est possible que nous rencontrions également des réponses qui prennent en compte l'aspect macroscopique de la notion d'homogénéité (notion de phase). Par exemple, la solution homogène est une solution dont on ne distingue pas les constituants à l'œil nu.

La réponse attendue à la première partie de la deuxième question est de choisir la représentation schématique B. Le fait d'avoir la même distance entre les particules dissoutes signifie que la concentration de la solution aqueuse est identique en toute partie d'un volume. La présentation schématique A correspond à une solution non-homogène. Pour les élèves qui choisissent la représentation schématique A, nous pouvons dire qu'ils n'arrivent pas à différencier une solution homogène avec une solution non-homogène selon la représentation schématique. Les deux questions, y compris la sous-question, possèdent la possibilité la réponse « *ne sait pas* ».

*Connaissance théorique (T3) : longueur d'onde ; grandeur caractéristique d'une radiation (absorbant dans le visible) et la distance séparant deux crêtes successives d'une onde périodique.*

Question QT3 : Qu'est-ce qui caractérise deux radiations monochromatiques différentes ?

Comme nous l'avons constaté à partir de l'analyse des contenus, la notion de longueur d'onde est abordée en physique dans la classe de Seconde. Cette notion est une notion que les élèves réutilisent et revoient au cours de l'enseignement secondaire à la fois en physique et en chimie. Dans cette question, nous voulons savoir si les élèves connaissent la notion de longueur d'onde. La réponse attendue pour cette question est d'utiliser le terme longueur d'onde ou couleur car ces termes caractérisent deux radiations monochromatiques. Cette question nous permettra de savoir si les élèves savent la caractéristique principale de la notion de longueur d'onde telle que nous l'avons définie ci-dessus.

*Connaissance théorique (T4) : spectre d'absorbance ; l'absorbance d'un composé varie de manière non aléatoire avec la longueur d'onde. Cela définit un spectre d'absorbance.*

Question QT4a : La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée dépend-elle de la longueur d'onde ?  vrai  faux  ne sait pas

Question QT4b : Comment appelle-t-on le graphique ci-dessous ?



Réponse :

.....  
 .....  
 .....

ne sait pas

Question QT4c : L'absorbance d'une solution de colorant E124 est la même quelle que soit la longueur d'onde  vrai  faux  ne sait pas

Ces deux premières questions sont présentes au pré-test et post-test. Nous avons ajouté la troisième question sur la même notion au post-test dans le but de reformuler QT4a de façon plus compréhensible pour les élèves. Les premières et troisièmes questions sont des QCM et la deuxième question est une question ouverte. Dans la première question, nous demandons explicitement aux élèves de confirmer ou infirmer une explication sur la notion de spectre d'absorbance. Dans la deuxième question, nous proposons aux élèves un graphique (l'absorbance en fonction de la longueur d'onde,  $A=f(\lambda)$ ) et demandons de le nommer.

Nous voulons vérifier avec ces questions si les élèves connaissent la notion de spectre d'absorbance telle que nous l'avons définie ci-dessus.

La réponse attendue à la première question est de confirmer l'affirmation en cochant la case « vrai ». Pour les élèves qui cochent la case « faux », nous pouvons dire qu'ils ne connaissent pas la notion de spectre d'absorbance et qu'ils pensent que l'absorbance est toujours la même quelle que soit la longueur d'onde, ce qui n'est pas compatible avec la notion de spectre d'absorbance.

La réponse attendue à la deuxième question est de nommer le graphique proposé comme un spectre d'absorbance. Etant donné que l'on n'appelle jamais ce graphique, un spectre d'absorbance, ni dans le programme officiel, ni dans le manuel, nous cherchons ici à savoir à travers une question, comment les élèves avec lesquels nous travaillons le nomment. Nous attendons aussi les réponses suivantes : (1) une courbe d'absorbance en fonction de la longueur d'onde, (2) une courbe d'absorbance (3) une absorption. Pour les élèves qui utilisent ces dernières phrases (2) et (3), nous pouvons dire qu'ils connaissent la notion de spectre d'absorbance mais ils le formulent mal.

La réponse attendue à la troisième question est de ne pas confirmer l'affirmation en cochant la case « faux ». Pour ceux qui cochent la case « vrai », nous pouvons dire qu'ils ne connaissent pas la notion du spectre d'absorbance. Cela peut introduire une difficulté pour les élèves lorsqu'ils travaillent avec le logiciel pour construire un protocole expérimental parce qu'ils doivent connaître cette notion et utiliser ce type de spectre d'absorbance lors du TP.

*Connaissance théorique (T5) : loi de Beer-Lambert  $A = \epsilon_{\lambda}.l.C$  (ou  $A = k.C$ ) ; à une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration.*

Question QT5a : La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée :

- a. dépend de l'épaisseur de la solution traversée  vrai  faux  ne sait pas
- b. dépend de la concentration molaire de la solution  vrai  faux  ne sait pas

- c. dépend de la température  vrai  faux  ne sait pas
- d. dépend de l'espèce chimique  vrai  faux  ne sait pas
- e. se mesure avec un conductimètre  vrai  faux  ne sait pas
- f. se mesure avec un spectrophotomètre  vrai  faux  ne sait pas
- g. est inversement proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante  vrai  faux  ne sait pas

Question QT5b : L'absorbance  $A$  d'une solution colorée, placée dans la cuve d'un spectrophotomètre, est reliée à la concentration  $C$  de la solution, à l'épaisseur de la cuve et au coefficient d'extinction molaire de cette solution, par la relation :

- |                             |                                  |                             |                                  |
|-----------------------------|----------------------------------|-----------------------------|----------------------------------|
| <input type="checkbox"/> a. | $A = \frac{\epsilon \cdot C}{l}$ | <input type="checkbox"/> d. | $\epsilon = A l \cdot C$         |
| <input type="checkbox"/> b. | $\epsilon = \frac{A \cdot l}{C}$ | <input type="checkbox"/> e. | $C = \frac{A \cdot \epsilon}{l}$ |
| <input type="checkbox"/> c. | $A = \epsilon l \cdot C$         | <input type="checkbox"/> f. | ne sait pas                      |

Question QT5c : A la longueur d'onde 780 nm, l'absorbance d'une solution de sulfate de cuivre vaut  $A = 0,78$  pour une concentration  $C$  mol.L<sup>-1</sup>. Pour une solution de concentration  $C' = C/2$  mol.L<sup>-1</sup>, l'absorbance vaut :

- a.  $A' = 1,56$        b.  $A' = 0,39$        c.  $A' = 0,78$

Justifier votre réponse :

.....  
 .....  ne sait pas

Nous posons trois questions sur cette connaissance théorique (T5). Ce sont des QCM. Seulement dans la dernière question, nous demandons aux élèves de justifier la réponse donnée. Dans la première question, nous demandons aux élèves de répondre à sept sous-questions en prenant en compte la loi de Beer-Lambert. Dans la deuxième question, nous leur demandons de désigner la formule de la loi de Beer-Lambert parmi les cinq possibilités. Dans la dernière question sur cette notion, nous leur demandons d'utiliser la formule de la loi de Beer-Lambert pour montrer la relation entre l'absorbance et la concentration d'une solution colorée. Le but de ces trois questions est de savoir si les élèves connaissent la loi de Beer-Lambert et sa formule.

Les réponses attendues à la première question (7 sous-questions) sont les suivantes :

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

- a. dépend de l'épaisseur de la solution traversée  vrai
- b. dépend de la concentration molaire de la solution  vrai

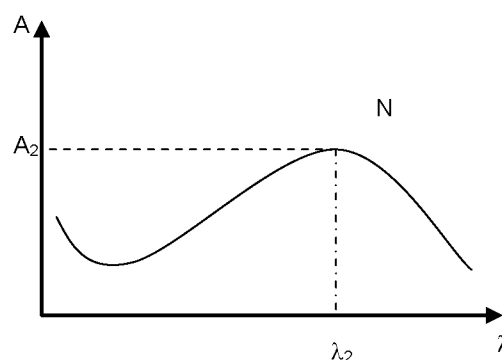
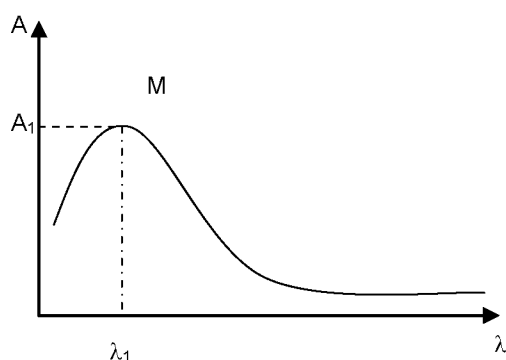
- c. dépend de la température  faux
- d. dépend de l'espèce chimique  vrai
- e. se mesure avec un conductimètre  faux
- f. se mesure avec un spectrophotomètre  vrai
- g. est inversement proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante  faux

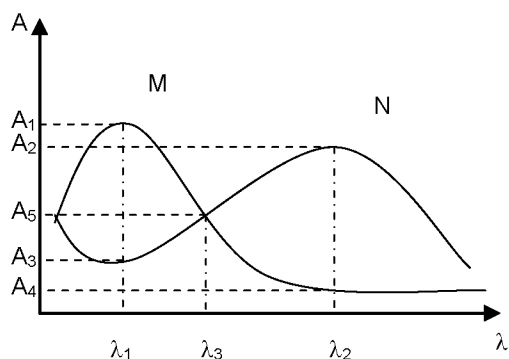
La réponse attendue à la deuxième question sur cette notion est de choisir la formule de la loi de Beer-Lambert :  $A = \epsilon_{\lambda}.l.C$ . C'est une question qui n'est pas évidente pour les élèves puisque la formule n'est pas au programme ni dans le manuel en tant que telle. La formule est présentée dans le manuel de la façon suivante :  $A_{\lambda}=k.C$ . nous pouvons donc nous attendre à trouver les fausses réponses telle que  $A= \epsilon_{\lambda}.C/l$  ou bien  $C=A. \epsilon_{\lambda}.l$ .

La réponse attendue à la dernière question sur cette notion est de choisir l'absorbance  $A=0,39$  pour la solution de sulfate de cuivre parce que sa concentration est diminuée de la moitié après la dilution. Dans la justification de cette réponse, nous attendons que les élèves écrivent la formule de la loi de Beer-Lambert et calculent l'absorbance de la solution diluée. Pour les élèves qui choisissent la réponse  $A'=0,78$ , nous pouvons dire qu'ils pensent que l'absorbance d'une solution diluée ne dépend pas de la concentration. Si les élèves choisissent l'absorbance  $A'=1,56$ , nous pouvons également dire que pour eux l'absorbance est inversement proportionnelle à la concentration.

*Connaissance théorique (T6) : additivité des absorbances ; lorsque plusieurs espèces présents en solution sont susceptibles d'absorber le rayonnement et que ces espèces sont indépendantes, l'absorbance est la somme sur toutes les espèces présents des différentes contributions.*

Question QT6 : 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.

<input type="checkbox"/> a.	<input type="checkbox"/> b.
<input type="checkbox"/> c.	<input type="checkbox"/> d.
<input type="checkbox"/> e. ne sait pas	

Etant donné que la notion d'additivité des absorbances n'est pas explicitement au programme mais est abordée de façon détaillée dans le manuel utilisé par les élèves, nous avons décidé de poser une question sur cette notion. Nous voulons savoir à travers ce QCM si les élèves connaissent la notion d'additivité des absorbances. Comme nous le voyons ci-dessus, nous demandons aux élèves de choisir le spectre d'absorbance du mélange des solutions M et N. La réponse attendue à cette question est de choisir le graphe B parce que celui-ci représente la somme des absorbances ( $A_1+A_3$ ,  $A_2+A_4$ ,  $2A_5$ ) aux longueurs d'onde correspondantes ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ). Pour les élèves qui ne prennent pas en compte l'additivité des absorbances de deux solutions, nous pouvons attendre la réponse C qui est une réponse inexacte. Le raisonnement sous-jacent de cette réponse peut être le suivant : quand on obtient un mélange de deux solutions, son spectre d'absorbance correspond à la superposition de deux spectres d'absorbance individuels. Dans ce cas, ils négligent la somme des absorbances. Une autre

réponse inexacte, celle de la case A, correspond au même raisonnement mais la seule différence se voit à la longueur d'onde de croisement. Pour les élèves qui pensent qu'il faut avoir un pic au point de croisement des spectres, ces derniers peuvent cocher la case D qui correspond à ce raisonnement.

*Connaissance théorique (T7) : absorbance ; grandeur caractéristique de la quantité de lumière absorbée par une solution*

Question QT7 : La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée :

- a. a pour unité  $L^{-1}.mol.m^{-1}$   vrai  faux  ne sait pas
- b. a pour unité  $L^{-1}.mol.cm^{-1}$   vrai  faux  ne sait pas
- c. est une grandeur sans unité  vrai  faux  ne sait pas

Étant donné que la grandeur d'absorbance est abordée de façon explicite à la fois dans le programme officiel de Terminale S et dans le manuel utilisé, nous avons décidé de poser une question sur cette grandeur.

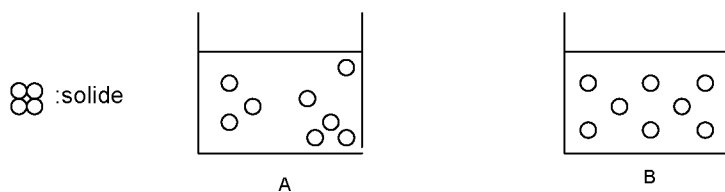
Dans cette question, nous cherchons à savoir si les élèves connaissent la grandeur d'absorbance. Comme nous le voyons ci-dessus, nous demandons aux élèves de confirmer la grandeur d'absorbance parmi trois possibilités. La seule réponse exacte attendue est la réponse c : l'absorbance est une grandeur sans unité.

Pour les élèves qui ne connaissent pas la grandeur d'absorbance, ils peuvent choisir une réponse parmi les deux premières puisque il s'agit de grandeurs impliquant des moles et litres. Or ils savent que la concentration en  $mol.L^{-1}$  fait partie de la formule de l'absorbance.

## 7.1.2. Connaissances procédurales

*Connaissance procédurale (P1) : comment homogénéiser une solution diluée ; homogénéiser, c'est agiter pour rendre la concentration égale en toute partie de la solution.*

Question QP1 : Quelle est la solution homogène ? Comment passe-t-on de l'une à l'autre ?



Nous posons cette question sur la connaissance procédurale (P1) pour savoir si les élèves connaissent la notion d'homogénéisation ainsi que la façon d'homogénéiser. Nous avons dessiné deux solutions aqueuses différentes parmi lesquelles une solution aqueuse (B) peut être considérée comme une solution homogène car elle contient des particules solides dissoutes ayant la même distance entre elles. L'autre schéma proposé pour cette question peut être considéré comme une solution hétérogène (A) parce que les particules solides dissoutes n'ont pas la même distance entre elles. Le fait d'avoir la même distance entre les particules dissoutes signifie que la concentration de la solution aqueuse est identique en toute partie d'un volume. Nous demandons aux élèves dans la deuxième partie de cette question d'expliquer comment passe-t-on d'une solution non homogène à une solution homogène.

Nous laissons assez de place dans la réponse de cette sous-question ouverte pour que les élèves puissent répondre comme ils veulent.

La réponse correcte à cette sous-question est d'utiliser l'un des verbes suivants : agiter, mélanger, remuer, mélanger avec un agitateur. Nous pensons que les élèves vont utiliser le verbe « *agiter* » parce que ce verbe a été utilisé pour expliquer la notion d'homogénéisation dans leur manuel. Les élèves sont familiers avec les représentations schématiques de solutions aqueuses parce qu'elles sont fréquemment employées dans le manuel qu'ils utilisent.

Une réponse inexacte possible peut être une homogénéisation par dilution de la solution non-homogène en ajoutant par exemple de l'eau sur cette solution. Le fait de diluer une solution non-homogène ne rend pas identique la concentration de la solution aqueuse mais ce raisonnement erroné peut exister chez l'élève s'il pense que l'augmentation de la quantité de liquide rend homogène la solution aqueuse. Il existe toujours une possibilité de cocher la case « *ne sait pas* » si l'élève ne sait pas la réponse pour cette sous-question.

*Connaissance procédurale (P2) : comment diluer ; diluer, c'est ajouter du solvant pour rendre la concentration plus faible.*

Question QP2a : Si on triple le volume d'une solution avec de l'eau, qu'advient-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 QP2b : Un jeune père doit préparer une solution de lait maternisé pour son bébé. N'ayant pas lu les instructions, il s'aperçoit que la solution obtenue, après dissolution de la poudre, est beaucoup trop concentrée ( $100 \text{ g.L}^{-1}$ ). Oh malheur! il est 4 heures du matin et plus de poudre! Comment ce papa fatigué va-t-il s'y prendre pour réparer sa gaffe et avoir 100 mL de lait à la bonne concentration :  $20 \text{ g.L}^{-1}$  ?

- a. Le papa devra prendre 5 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 95 mL d'eau  vrai  faux
- b. Le papa devra prendre 80 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20 mL d'eau  vrai  faux
- c. Le papa devra prendre 20 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau  vrai  faux
- d. Le papa devra prendre 95 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 5 mL d'eau  vrai  faux
- e.  ne sait pas

Comme nous l'avons constaté à partir de l'analyse des contenus, la dilution est une notion qui réunit plusieurs concepts chimiques telle que la quantité de matière, la concentration molaire. Nous posons deux questions sur la connaissance procédurale (P2) qui concerne les notions de dilution et de concentration. Ces deux questions ont pour but de vérifier si les élèves savent diluer une solution aqueuse et calculer le changement de la concentration après la dilution. Nous posons ces deux questions sous la forme de QCM.

Dans la première question nous demandons aux élèves de calculer la concentration d'une solution venant de la dilution. Le but de cette question est de savoir si les élèves sont capables de constater que la concentration devient plus faible que la concentration de départ après la dilution. La réponse attendue à cette question est de cocher la case « vrai » pour la réponse « elle sera le tiers de la concentration initiale ». Pour les élèves qui pensent que la concentration d'une solution diluée est proportionnelle au volume ajouté, nous pouvons attendre qu'ils confirment l'affirmation suivante : « elle sera le triple de la concentration initiale ». Nous pouvons attendre également la réponse « elle sera identique » même si elle est inexacte. Cette réponse peut être un indicateur de l'idée que la concentration d'une solution diluée ne change pas quand on ajoute de l'eau.

Dans la deuxième question, nous demandons aux élèves de décider la quantité d'eau et de solution concentrée pour obtenir la concentration souhaitée. Le but de cette question est de savoir si les élèves sont capables d'utiliser l'expression  $C_1.V_1=C_2.V_2$  pour calculer la concentration d'une solution à diluer. La réponse attendue à cette question est de cocher la case « vrai » pour la réponse « le papa devra prendre 20mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau ». Pour les élèves qui n'arrivent pas à décider le volume à prélever et le volume de solution à compléter, nous pouvons attendre qu'ils répondent inversement de la réponse exacte, ce qui correspond à la case « vrai » pour la réponse « le papa devra prendre 80 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20 mL d'eau » car cette réponse possède le même chiffre que l'on a utilisé dans la question posée.

*Connaissance procédurale (P3) : comment rincer ; rincer, c'est éliminer les impuretés en choisissant le bon liquide pour ne pas modifier la concentration de la solution prélevée.*

Question QP3 : 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

Nous posons une question sur la connaissance procédurale (P3). À travers cette question nous cherchons à savoir si les élèves connaissent la notion du rinçage et son importance dans la manipulation d'un TP.

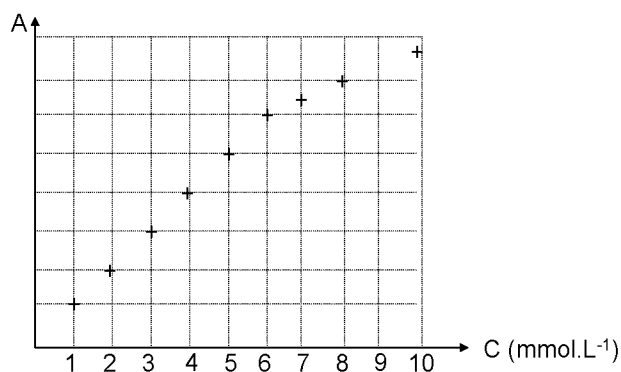
Nous demandons aux élèves de préciser la solution avec laquelle rincer le matériel lors de la manipulation. Dans cette première partie de cette question nous demandons la solution adéquate pour rincer la pipette. La pipette est un élément de verrerie avec laquelle on prélève un liquide. Dans la deuxième partie de cette question nous demandons la solution adéquate pour rincer la fiole jaugée. La fiole jaugée est le matériel dans lequel la dilution est réalisée.

La réponse attendue à la première partie de cette question est de rincer la pipette avec la solution de permanganate de potassium ( $KMnO_4$ ) parce que celle-ci est la solution mère à prélever. Une erreur prévisible est que les élèves rincent la pipette avec de l'eau. Dans ce cas, il y aura un changement de la concentration de la solution diluée. Cette erreur peut être un indicateur de l'une des difficultés que les élèves peuvent rencontrer lors du travail avec le logiciel (voir conception c1 page 103 et contrat didactique page 106). La réponse attendue à la deuxième partie de cette question est de rincer la fiole jaugée avec de l'eau parce que l'eau est le solvant avec lequel on dilue le permanganate de potassium est dilué.



Connaissance procédurale (P4) : comment choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert ; le choix de la concentration maximale dépend du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.

Question QP4 : 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

Nous posons une question sous la forme de graphique sur la connaissance procédurale (P4). Cette question a pour but de savoir si les élèves savent choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. Les points tracés ci-dessus proviennent de résultats expérimentaux. Dans cette question nous demandons aux élèves d'hachurer sur l'axe des abscisses le domaine de concentration où la loi de Beer-Lambert s'applique. Nous mettons neuf points entre ces deux axes et ne traçons pas la courbe car la courbe tracée peut introduire la réponse attendue. A chaque point correspond une absorbance (non donnée) et a une concentration dans une zone. Si nous traçons une courbe en passant par tous les points, les six premiers sont linéaires. A partir du point où la courbe n'est plus linéaire, la loi de Beer-Lambert n'est plus valable, ce qui correspond à la concentration de 6 mmol.L<sup>-1</sup> dans notre question. Il est possible que les élèves hachurent le domaine entre 0 et 10 mmol.L<sup>-1</sup> si ces derniers ne savent pas identifier le domaine de la validité de la loi. Pour les élèves qui tracent rapidement la courbe sur le graphe, ils peuvent hachurer le domaine entre 0 et 8 mmol.L<sup>-1</sup> ce qui correspond à une réponse inexacte.

Connaissance procédurale (P5) : comment choisir la solution de référence ; choisir la bonne solution de référence, c'est identifier le ou les composés dont les absorbances sont susceptibles de s'ajouter à celle du E124.

Question QP5 : On dispose d'une solution aqueuse constituée de KMnO<sub>4</sub> à 5.10<sup>-2</sup> mol.L<sup>-1</sup>, de CoCl<sub>2</sub> à 4.10<sup>-6</sup> mol.L<sup>-1</sup> et de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 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 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> dans le mélange ?

Réponse :

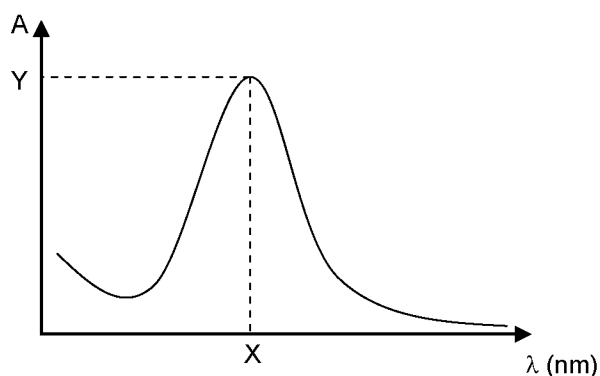
ne sait pas

.....  
 .....

Nous posons une question ouverte sur la connaissance procédurale (P5). À travers cette question, nous voulons savoir si les élèves sont capables de choisir la solution de référence dans le cadre d'un TP utilisant un spectrophotomètre. Dans cette question, nous demandons aux élèves de décrire la composition de la solution de référence afin que l'appareil mesure uniquement l'absorbance de la solution à mesurer. En effet, lorsque l'on travaille avec un spectrophotomètre on est obligé de choisir une solution de référence. Cette solution de référence doit comprendre tous les composants du mélange sauf le produit à mesurer. Dans notre question, on dispose d'une solution aqueuse constituée de  $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  et  $\text{CoCl}_2$ . La solution de référence doit comprendre les deux composants  $\text{KMnO}_4$  et  $\text{CoCl}_2$ , afin que l'appareil mesure uniquement l'absorbance de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ . Si les élèves choisissent l'eau en tant que solution de référence, nous pouvons penser que ces derniers prennent en compte le contrat de la classe. En effet, l'eau est très fréquemment utilisée à la fois dans l'enseignement et les manuels en tant que solution de référence. Si les élèves choisissent la solution  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  comme solution de référence, nous pouvons dire qu'ils ne comprennent pas la signification de la solution de référence parce qu'on mesure l'absorbance de cette solution. Ils confondent peut-être avec la solution étalon. La solution étalon est une sorte de « référence » utilisée pour une courbe étalonnage. La solution de référence, quant à elle, est une solution utilisée avec un appareil de mesure (spectrophotométrie, conductimétrie, pH-métrie). Nous avons choisi d'utiliser aussi le nom « blanc » car il est probablement plus explicite.

*Connaissance procédurale (P6) : comment choisir la longueur d'onde de mesure ; choisir la longueur d'onde de mesure, c'est repérer le maximum d'absorbance dans un spectre d'absorbance qui n'entraîne pas la saturation du spectrophotomètre.*

Question QP6a : Que désignent les lettres X et Y sur les axes ?



Réponse :

X :

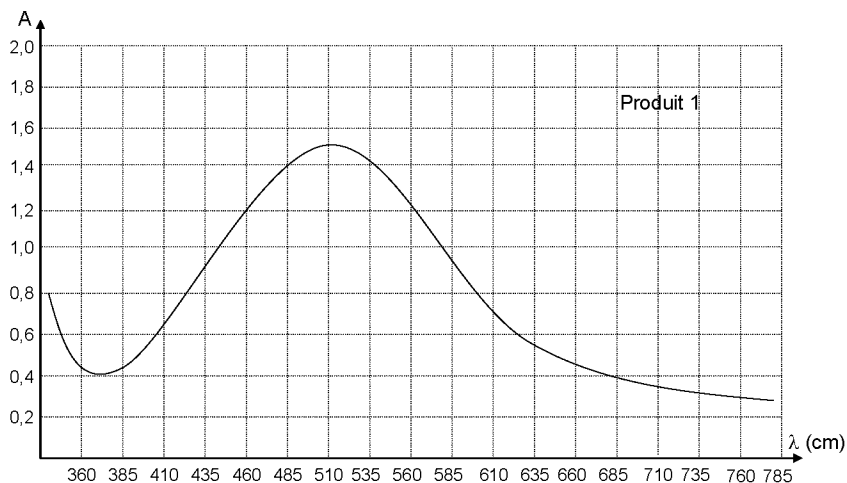
Y :

ne sait pas

Question QP6b : On veut réaliser une courbe d'étalonnage pour le produit 1. Quelle sera la longueur d'onde optimale à laquelle faire les mesures d'absorbance ?

$\lambda_1 = \dots\dots\dots$

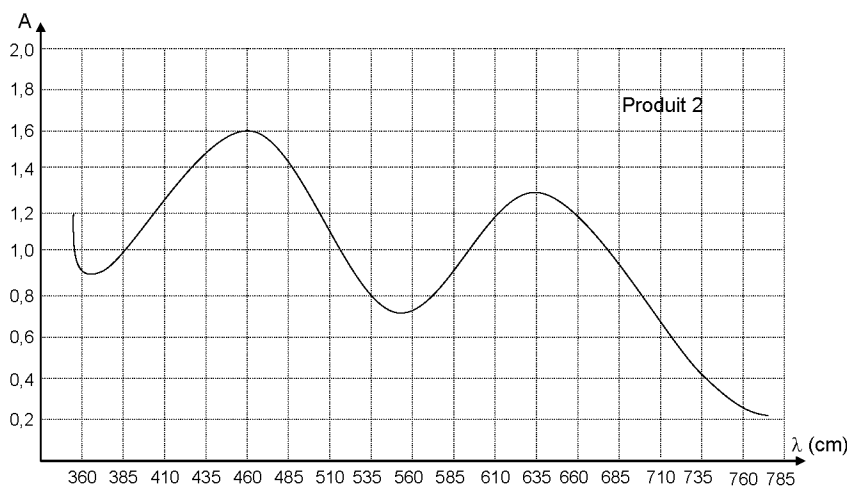
ne sait pas



On veut réaliser une courbe d'étalonnage pour le produit 2. Quelle sera la longueur d'onde optimale à laquelle faire les mesures d'absorbance ?

$\lambda_2 = \dots\dots\dots$

ne sait pas



Nous posons deux questions sur la connaissance procédurale (P6). A travers ces questions, nous cherchons à savoir si les élèves connaissent la notion de spectre d'absorbance et celle de longueur d'onde sur un spectre. Le but associé à cette question est de vérifier si les élèves sont capables de repérer le maximum d'absorbance pour choisir la longueur d'onde de mesure à partir d'un spectre obtenu expérimentalement.

Dans la première question (QP6a), nous utilisons un spectre d'absorbance sans dire le nom de ce spectre et demandons aux élèves de nommer les lettres X -la longueur d'onde où l'absorbance est maximale ( $\lambda_{A_{max}}$ )-, et Y -l'absorbance maximale à la longueur d'onde X ( $A_{max}$ )- qui se situent sur les axes de ce spectre.

Dans la deuxième question (QP6b), nous utilisons le spectre d'absorbance de deux produits différents. Cette question est posée seulement au post-test et comprend deux parties. Dans cette question, nous demandons aux élèves de choisir la longueur d'onde optimale à laquelle on peut réaliser les mesures d'absorbance pour chaque produit.

Dans la première question les lettres correspondent d'une part à la longueur d'onde où l'absorbance est maximale (X) et d'autre part à l'absorbance maximale (Y). D'autres réponses

possibles pour la lettre X sont : longueur d'onde, longueur d'onde maximale. Mais nous ne pouvons pas accepter ces réponses comme exactes parce qu'elles sont incomplètes. La notation  $\lambda_{\max}$  est considéré quand même comme juste car cette écriture existe dans la littérature même si elle peut induire les élèves en erreur. Nous pouvons attendre le même type de réponse incomplète pour la lettre Y : l'absorbance.

Le spectre pour le produit 1 dispose d'un pic d'absorbance à la longueur d'onde de 510 nm. La réponse attendue à cette question est de repérer cette longueur d'onde. Étant donné qu'il y a un seul pic dans le spectre d'absorbance, nous n'attendons pas de réponse inexacte pour cette question. Quant au spectre d'absorbance du produit 2, nous voyons deux pics à 460 nm et 635 nm. La réponse attendue à cette question est de choisir 460 nm comme la longueur d'onde optimale parce qu'à cette longueur d'onde, l'absorbance est plus grande que celle de 635 nm. Nous pensons que les élèves choisiront les deux longueurs d'onde (460 nm et 635 nm) comme longueurs d'onde optimales mais nous ne pouvons pas accepter cette réponse comme exacte parce qu'il s'agit de deux longueurs d'onde différentes. Pour les élèves qui choisissent 635 nm comme longueur d'onde optimale, nous considérerons la réponse comme inexacte car à cette longueur d'onde la sensibilité de la réponse sera plus faible.

## 7.2. Analyse *a priori* de l'entretien

Comme nous l'avons expliqué dans la partie méthodologie, le but de l'entretien que nous effectuons auprès des enseignants avec lesquels nous travaillons est d'une part d'avoir la confirmation du fait que les élèves ont appris toutes les notions mises en jeu dans *Educ@ffix.net* avant d'utiliser ce logiciel et d'autre part de savoir si les difficultés rencontrées par les élèves lors de la construction du protocole expérimental sont liées à l'enseignement qu'ils ont suivi en terme de contrat de la classe.

Notre entretien semi-directif commencera par une question dans laquelle nous demanderons aux enseignants de nous confirmer si leurs élèves ont appris toutes les notions mises en jeu avant qu'ils travaillent avec l'expérimentation. Ensuite nous continuerons à poser des questions notion par notion. Il est nécessaire de rappeler que nous pouvons changer l'ordre des questions selon les réponses des enseignants.

Dans notre entretien nous poserons autant de questions que le nombre de concepts mis en jeu. Nous poserons également des questions ouvertes au moment où nous aurons besoin de plus d'informations sur le concept spécifique. Par exemple, en ce qui concerne la notion du rinçage nous irons plus loin pour savoir comment les enseignants abordent ces concepts de façon pratique dans la classe. En effet, les objectifs visés par les programmes sur le rinçage n'étant pas clairs, il serait intéressant d'en savoir plus.

Nous présentons les questions à poser aux enseignants et des réponses attendues à chaque question en deux catégories dans le tableau ci-dessous. La première catégorie (Q1-Q11) concerne la vérification de l'état de notions mises en jeu chez les élèves et la deuxième catégorie concerne (Q12-Q13) des notions qui ont posé des problèmes chez les élèves lorsqu'ils travailleront avec le logiciel.

Questions (Q)	Réponses attendues
Q1. Avez-vous enseigné à vos élèves toutes les notions mises en jeu dans le TP auquel nous nous intéressons ?	Les enseignants confirmeront que leurs élèves les ont apprises avant notre expérimentation.
Q2. Est-ce que vos élèves ont appris la notion de concentration et sa formule ?	Les élèves connaissent la notion de concentration et sont capables d'utiliser sa formule.
Q3. Avez-vous enseigné à vos élèves la notion de dilution ? Comment vos élèves procèdent-ils lorsqu'ils	Les élèves connaissent la notion de dilution, la façon de diluer.

préparent une gamme étalon ?	
Q4. Est-ce que vous avez enseigné la notion du rinçage à vos élèves en Terminale ? Est-ce qu'ils savent différencier la notion du rinçage avec celle du lavage ?	Les élèves ne savent pas différencier les deux notions et ont du mal à choisir la solution adéquate pour rincer le matériel.
Q5. Est-ce que vos élèves ont appris la notion de longueur d'onde ?	Les élèves la connaissent depuis la classe de Seconde.
Q6. Est-ce que vos élèves ont appris la notion d'absorbance ?	Les élèves la connaissent.
Q7. Est-ce que vos élèves connaissent la loi de Beer-Lambert ?	Les élèves la connaissent et l'ont apprise en Terminale.
Q8. Est-ce que vos élèves connaissent le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert ?	Les élèves apprennent une loi avec son domaine de validité.
Q9. Avez-vous enseigné la notion de spectre d'absorbance ?	Les élèves connaissent le spectre d'absorbance.
Q10. Est-ce que vos élèves sont conscients de l'existence de la notion du blanc ?	Les élèves connaissent la notion du blanc.
Q11. Est-ce que vos élèves connaissent la notion d'additivité des absorbances ? L'avez-vous enseignée ?	Les élèves la connaissent mais ne l'utilisent pas.
Q12. La notion de solution de référence et celle de solution mère pourraient être confondues par les élèves lors de l'enregistrement de la ligne de base. Est-ce qu'on peut dire qu'elles représentent la même chose pour eux ?	Certains élèves peuvent confondre les deux notions au niveau du vocabulaire.
Q13. Comment vos élèves décident les intervalles du spectrophotomètre ?	Les élèves ne connaissent pas les intervalles de l'appareil.

Tableau 9 : Questions, réponses attendues pour l'entretien auprès des enseignants

A travers les réponses des enseignants à ces questions, il s'agit d'identifier les difficultés liées à l'enseignement que les élèves ont suivi et la façon d'aborder les concepts mis en jeu lorsque les enseignants sont dans la classe. Nous voulons savoir également si les enseignants de chimie sont conscients de ce qu'ils font dans la classe sur ces concepts. Par exemple, concernant l'utilisation du spectrophotomètre, nous attendons de la part des enseignants de nous annoncer que c'est eux qui utilisent le spectrophotomètre et leurs élèves sont spectateurs lors du travail avec cet appareil. Un autre exemple que nous pouvons donner concerne la notion du rinçage parce que cette notion n'est pas être abordée de façon explicite dans les programmes.

### 7.3. Analyse *a priori* de l'expérimentation

Nous présentons notre analyse *a priori* de l'expérimentation dans les quatre catégories suivantes : (1) les difficultés que les élèves peuvent rencontrer lors du travail de la construction du protocole expérimental, (2) les stratégies que les élèves peuvent suivre lors de la préparation des solutions et des mesures d'absorbance, (3) le rôle du tuteur à attribuer par les élèves lors de l'utilisation du logiciel et (4) la construction des connaissances procédurales chez les élèves lors du travail avec le logiciel.

Avant d'aborder de façon détaillée l'analyse *a priori* de l'expérimentation, il est important de définir au préalable ce que nous attendons comme protocole expérimental à la fin du travail de l'apprenant dans le logiciel. Nous accepterons plusieurs protocoles élaborés par les apprenants

qui peuvent correspondre à différentes gammes étalon et différentes stratégies (cf. partie 7.3.2).

Dans le but de donner une vision globale de la réussite, nous avons mis en évidence les sous-tâches du problème posé dans le logiciel étape par étape avec le poids relatif que nous avons attribué. Ces sous-tâches sont des opérations attendues chez l'apprenant lors de la construction du protocole expérimental dans le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous avons pondéré le poids relatif entre et dans les étapes du TP, selon l'importance de chaque sous-tâche pour répondre au problème posé dans le TP.

Étape	Sous tâches	% dans étape		% entre étape
<b>1<sup>ère</sup> étape</b>	a. sélectionner les 3 produits nécessaires	75 %	100	10 %
	b. consulter les 2 fiches de sécurité	25 %	%	
<b>2<sup>ème</sup> étape</b>	a. choix de la solution mère	20 %	100 %	30 %
	b. prendre en compte le domaine ( $C \leq 7,5 \cdot 10^{-5} M$ )	20 %		
	c. choix du solvant	15 %		
	d. nombre de solution	15 %		
	e. répartition des concentrations	15 %		
	f. rinçage du matériel	7,5 %		
	g. homogénéisation	7,5 %		
<b>3<sup>ème</sup> étape</b>	a. spectre et mesure d'absorbance	40 %	100 %	30 %
	b. effectuer la référence	30 %		
	c. choix de la solution référence	20 %		
	d. rinçage	10 %		
<b>4<sup>ème</sup> étape</b>	a. choix de la solution mère	40 %	100 %	15 %
	b. choix du solvant	30 %		
	c. rinçage	15 %		
	d. homogénéisation	15 %		
<b>5<sup>ème</sup> étape</b>	a. mesure l'absorbance à bonne longueur d'onde	75 %	100 %	15 %
	b. rinçage	25 %		

Tableau 10 : Les sous-tâches du problème posé avec ses pondérations dans le protocole élaboré

Comme nous pouvons le voir dans le tableau ci-dessus, la plupart des sous-tâches correspond aux actions pré-sélectionnées dans le système *Educ@ffix.net*. Selon l'accomplissement des sous-tâches, nous vérifierons le taux de réussite des apprenants à la fin de leur travail. Par exemple, lors de la préparation des solutions pour la gamme étalon, il existe 7 sous-tâches que les élèves doivent remplir. Lors de cette préparation, les actions les plus importantes (20%) par rapport aux autres sont le choix de la solution mère et le fait de prendre en compte le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.

### 7.3.1. Les difficultés à rencontrer

Nous présentons les difficultés que les élèves peuvent rencontrer en deux catégories. La première catégorie concerne les difficultés liées aux concepts mis en jeu. La deuxième catégorie concerne les difficultés liées à l'ergonomie de l'interface.

### 7.3.1.1. Les difficultés liées aux concepts mis en jeu

Nous présentons les difficultés à rencontrer, liées aux concepts mis en jeu dans les trois catégories suivantes : (1) difficultés liées aux conceptions des élèves (2) difficultés liées au contrat didactique et (3) difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation.

#### 7.3.1.1.1 Les difficultés liées aux conceptions des élèves

Comme nous l'avons expliqué dans notre problématique, nous pensons que les conceptions des élèves sur les concepts mis en jeu peuvent être l'une des causes des difficultés attendues lors du travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*. En ce qui concerne la notion « *conception* » nous nous référons à la définition que Robardet et Guillaud ont donnée dans leur livre (Robardet et Guillaud 1997) qui consiste à dire que « *les conceptions sont des interprétations construites par le chercheur, concernant les connaissances productrices d'erreurs ou non, mises en œuvre par les élèves placés dans une situation donnée* ».

#### Rinçage

La première conception que nous pouvons faire émerger chez les élèves est liée au concept du rinçage. Si les élèves rincent les deux matériels (l'aiguille de prélèvement et la cuve du spectrophotomètre) uniquement avec l'eau, nous pouvons parler de l'existence d'une conception erronée. Le fait de rincer l'aiguille de prélèvement avec l'eau change la concentration de la solution à diluer parce qu'il reste des gouttes d'eau sur l'aiguille de prélèvement. Rincer la cuve du spectrophotomètre avec l'eau change également la concentration de la solution à mesurer parce qu'il existe des gouttes d'eau sur la surface intérieure de la cuve. Si les élèves rincent les deux matériels uniquement avec l'eau au pré-test et pendant l'expérimentation, il est probable que pour eux *l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique (c1)*. Pour faire ressortir cette conception chez les élèves avec lesquels nous travaillerons, il nous faut prendre en compte d'une part leurs réponses données à la question QP3 au pré-test et d'autre part leurs actions effectuées pendant l'expérimentation avec le logiciel (traces logicielles).

#### Homogénéisation

La deuxième conception est liée au concept d'homogénéisation. Pour les élèves qui ne connaissent pas le principe de la notion d'homogénéisation et n'homogénéisent pas une solution diluée avant de l'utiliser, nous pouvons parler d'une conception. Le fait de ne pas homogénéiser une solution après dilution peut entraîner une difficulté lors du travail parce que la solution n'ayant pas été homogénéisée n'a pas une concentration identique et son utilisation donnera des résultats expérimentaux incorrects. Les élèves qui n'homogénéisent pas la solution diluée avant de l'utiliser peuvent penser que *dans une solution, la concentration en particules du soluté est naturellement identique en toute partie du volume (c2)*. Dans notre travail, pour détecter cette conception chez les élèves, nous avons besoin d'étudier d'une part leurs réponses données à la question QT2a, QT2b au pré-test et d'autre part leurs actions effectuées dans l'expérimentation avec le logiciel.

#### Spectrophotométrie

La troisième conception est liée au concept de la loi de Beer-Lambert. Lorsque les élèves préparent des solutions pour la gamme étalon, il faut que le domaine de concentration soit choisi en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. En effet, les concentrations des solutions ainsi que leurs absorbances doivent être dans ce domaine pour que la courbe étalon soit utilisable pour répondre au problème posé. Le fait de prendre en compte ce domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est important car les points qui ne

sont pas dans la partie linéaire de la courbe tracée ne correspondent pas à des résultats expérimentaux exacts. Dans la consigne de notre expérimentation, nous annonçons aux élèves que l'absorbance des solutions de la gamme étalon ne doit pas être supérieure à 1,5. C'est-à-dire que nous décrivons implicitement le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. Les élèves qui ne prennent pas en compte la loi de Beer-Lambert lors de la préparation des solutions, peuvent penser que *le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est infini (c3)*. Si les élèves ne répondent pas correctement à la question QP4 au pré-test et préparent des solutions hors domaine de validité de la loi, nous pouvons penser que cette conception existe chez eux. Les réponses au pré-test, les traces logicielles ou des enregistrements audio nous permettront de savoir s'ils prennent en compte ce domaine de validité lors de la préparation des solutions pour la gamme étalon.

La quatrième conception que nous cherchons chez les élèves avec lesquels nous travaillerons est liée au concept de longueur d'onde. Pour réaliser un dosage par la méthode spectrophotométrique, il faut tracer une courbe étalon (l'absorbance en fonction de la concentration  $A=f(C)$ ). Dans cette courbe, il est nécessaire de connaître l'absorbance de chaque solution à une longueur d'onde unique parce que pour une solution, si la longueur d'onde diffère légèrement, l'absorbance diffère également. Le fait de mesurer l'absorbance des solutions à la même longueur d'onde est donc indispensable pour cette méthode. Les élèves qui mesurent les absorbances des solutions à différentes longueurs d'onde peuvent penser que *la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance (c4)*. Nous pouvons chercher ces indicateurs à la fois dans les traces logicielles et dans les protocoles finals.

La cinquième conception est liée à l'utilisation de la spectrophotométrie comme la quatrième conception. Lorsque l'on travaille avec un spectrophotomètre il est nécessaire d'enregistrer la ligne de base, autrement dit de « *faire le blanc* ». Lors de toute mesure spectrophotométrique, nous avons besoin d'une mesure de référence qui constitue « *la ligne de base* » de l'appareil. Les mesures sont réalisées par rapport à cette mesure de référence. En général, la solution de référence (appelée aussi blanc) contient tous les produits sauf le produit à doser. Dans notre expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*, la solution de référence devrait être l'eau car la solution mère (E124) est diluée par l'eau et les autres composés du sirop de grenadine n'absorbent pas à la longueur d'onde de travail (507 nm). Les élèves qui n'enregistrent pas la ligne de base du spectrophotomètre avec l'eau avant l'intervention du tuteur peuvent penser que *l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution (c5)*. Pour faire émerger cette conception chez les élèves, nous chercherons cet indicateur à la fois dans les traces logicielles et les enregistrements audio.

La sixième conception est liée à la notion de solution de référence et à l'utilisation de la spectrophotométrie. Pour les élèves qui enregistrent la ligne de base avec la solution mère (E124), nous pouvons dire qu'il existe également une conception chez eux. Le fait d'enregistrer la ligne de base du spectrophotomètre avec la solution mère peut être lié à une confusion entre les deux notions suivantes : solution de référence et solution mère. Cette confusion entre les deux termes peut être liée également à la notion de solution étalon parce que la solution étalon est une solution « de référence » utilisée pour une courbe d'étalonnage. Dans ce cas, nous pensons que la conception sous-jacente peut être la suivante : *la solution de référence est constituée de la solution mère (c6)*. Nous chercherons cet indicateur dans les traces logicielles.

Nous récapitulons les conceptions des élèves avec les indicateurs et les corpus dans le tableau ci-dessous.

Conceptions	Indicateur	Corpus
c1: l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique	rincer le matériel avec l'eau (QP3)	pré-test
	toujours rincer le matériel avec l'eau	traces logicielles
c2: dans une solution, la concentration en particules	ne pas répondre à la question d'homogénéisation (QP1)	pré-test



du soluté est naturellement identique en toute partie du volume	ne pas homogénéiser la solution diluée	traces logicielles
c3: le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est infini	réponse erronée à la question concernée (QP4)	pré-test
	préparer les solutions de la gamme étalon sans prendre en compte le domaine de validité	traces logicielles enregistrement audio
c4: la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance	utiliser différentes longueurs d'onde lors des mesures d'absorbances pour la gamme étalon	traces logicielles protocole final
c5: l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution	ne pas enregistrer la ligne de base avant l'intervention du tuteur	traces logicielles enregistrement audio
c6: la solution de référence est constituée de la solution mère	enregistrer la ligne de base du spectrophotomètre avec la solution mère (E124)	traces logicielles

Tableau 11 : Conceptions attendues liées aux concepts mis en jeu avec ses indicateurs

### 7.3.1.1.2. Les difficultés liées au contrat didactique

Les élèves peuvent rencontrer des difficultés liées au contrat didactique existant dans leur classe, lors du travail de la construction du protocole expérimental. Il est nécessaire d'identifier le contrat de la classe au préalable. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les résultats de l'entretien avec les enseignants. Ensuite, nous avons pu analyser les difficultés liées au contrat de la classe.

Nous attendons trois difficultés autour de la notion de rinçage. Tout d'abord, il est nécessaire de mettre en évidence la différence entre les deux notions suivantes : rinçage et lavage. Le lavage permet d'éliminer les résidus chimiques. Il peut être considéré comme une opération effectuée avant le rinçage ou en fin de manipulation avant de stocker le matériel. Il est généralement réalisé avec de l'eau, ou avec un solvant organique si les composés utilisés ne sont pas solubles dans l'eau. Quant au rinçage, il s'agit d'une opération préalable à l'utilisation du matériel et permet d'utiliser la verrerie dans des conditions optimales. Le rinçage est donc en général effectué avec la solution à utiliser, après le lavage s'il a eu lieu, sur tout matériel utilisé.

La première difficulté correspond à une confusion entre les notions de rinçage et lavage. La confusion de ces deux notions peut être liée au contrat de la classe parce que les élèves ont l'habitude de nettoyer les matériels avec l'eau après les avoir utilisés et avant de les stocker. De plus le terme « *rincer* » est souvent employé par les enseignants pour désigner les deux opérations décrites. Nous pouvons donc dire qu'il s'agit du contrat implicite suivant : le matériel doit être rincé avec l'eau à la fin de la manipulation. Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, le fait de rincer le matériel avec de l'eau à la fin de l'étape avant de passer à une autre étape est un indicateur de la confusion de ces deux notions. Dans le logiciel, le lavage est pris en charge automatiquement, les élèves n'ont donc pas à s'en préoccuper. Par contre, il leur est proposé une action « *rincer* ». Nous pouvons trouver cet indicateur dans les traces logicielles pour mettre en évidence cette difficulté.

La deuxième difficulté liée au contrat didactique concerne aussi la notion de rinçage. Dans la classe, les élèves ne lavent pas le matériel au début de leur travail avant de l'utiliser car il est en général propre et sec. Cependant, il leur est demandé de le rincer. Pour les élèves, le matériel propre et sec peut aussi signifier qu'il est inutile de le rincer avant de l'utiliser. Le contrat implicite peut être le suivant : le matériel est propre et sec, on peut l'utiliser tel qu'il est. Dans ce cas nous pouvons parler d'une difficulté liée au contrat de la classe parce que le

fait de ne pas rincer le matériel avant de l'utiliser peut introduire un changement de la concentration de la solution utilisée lors du travail si le matériel n'est pas propre et sec. Nous allons chercher cet indicateur dans les traces logicielles.

La troisième difficulté liée au contrat didactique concerne encore la notion de rinçage. En général, lors de la préparation d'une gamme étalon en classe, les élèves utilisent une pipette et plusieurs fioles jaugées pour effectuer les dilutions. Avec ce matériel ils rincent une fois la pipette avec la solution à prélever au début de la dilution. Puis la même pipette est utilisée pour préparer différentes solutions diluées. Comme elle sert uniquement à prélever la solution mère, les élèves n'ont pas besoin de la rincer entre chaque solution. Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, il est nécessaire de rincer l'aiguille du prélèvement chaque fois que l'on prépare une solution à partir de la même solution mère. En effet, après avoir prélevé la solution mère, l'aiguille de prélèvement est utilisée pour homogénéiser la solution avant de passer à la préparation de la solution suivante. Pour les élèves qui rincent l'aiguille une fois au début de l'étape concernée et qui ne rincent plus pour les actions suivantes, nous pouvons dire qu'ils se réfèrent à la situation dans laquelle ils ont appris la dilution avec les matériels connus (la pipette, la fiole jaugée) dans la classe. Nous pouvons donc parler d'une difficulté à s'approprier une situation différente de celle habituellement rencontrée en classe. Nous allons chercher ce rinçage unique dans les traces logicielles.

Une autre difficulté liée au contrat didactique concerne la notion d'homogénéisation. L'homogénéisation est une opération que les élèves effectuent après la dilution pour que la concentration de la solution diluée soit identique dans chaque partie de la solution. Il est possible, dans une situation de TP en classe, que les élèves homogénéisent toutes les solutions diluées ensemble, après avoir terminé la préparation des solutions. Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, il faut homogénéiser la solution diluée dès qu'elle est préparée. Pour les élèves qui homogénéisent consécutivement toutes les solutions diluées en fin de l'étape, nous pouvons dire qu'ils se réfèrent à la façon d'homogénéiser classiquement utilisée dans la classe. Nous allons chercher cet indicateur dans les traces logicielles.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous les difficultés liées au contrat de la classe que nous chercherons chez les élèves.

Difficultés	Indicateur	Corpus
confondre le rinçage et le lavage	rincer le matériel avec l'eau à la fin de l'étape	traces logicielles
considérer que le matériel est propre et sec	ne pas rincer le matériel avant de l'utiliser au début de l'étape avant l'intervention du tuteur	traces logicielles
un seul rinçage au début du travail est suffisant	rincer le matériel seulement une fois au début de l'étape lors de la dilution	traces logicielles
homogénéisations consécutives à la fin de l'étape	homogénéiser consécutivement les solutions diluées à la fin de l'étape	traces logicielles

*Tableau 12 : Difficultés attendues liées au contrat didactique avec ses indicateurs*

### 7.3.1.1.3 Les difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation

Comme nous l'avons expliqué dans la partie de présentation d'*Educ@ffix.net*, ce système permet d'effectuer une manipulation à distance via Internet grâce à un robot. Une fois que le protocole expérimental a été élaboré par l'apprenant puis évalué par le tuteur artificiel, le robot effectue la manipulation en temps réel. L'apprenant peut regarder cette manipulation et obtenir les résultats expérimentaux en même temps.

Nous pensons que le fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps - car les élèves conçoivent le protocole expérimental avant de réaliser la manipulation - et en lieu - car la manipulation s'effectue dans un autre lieu, loin de l'apprenant - peut entraîner des difficultés pour les élèves lors du travail avec le logiciel.

Une difficulté liée au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en lieu concerne la notion du rinçage. Le rinçage préalable du matériel est un geste qui n'est pas spontanément spécifié par les élèves lorsqu'ils conçoivent leur protocole. Une cause possible de cette difficulté est que la manipulation soit déportée en lieu parce que l'éloignement du matériel utilisé ne favorise pas la réflexion concernant son utilisation adéquate. Pour mettre en évidence cette difficulté, nous aurons besoin des traces logicielles pour rechercher, si les élèves rincent le matériel. La différence entre la difficulté que nous venons d'expliquer et celle liée au contrat de la classe « *le matériel est propre et sec* » est mise en évidence au moment où l'apprenant rince le matériel pour la deuxième opération de dilution dans la deuxième étape du TP.

Une difficulté liée au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps concerne la notion de longueur d'onde. Pour réaliser un dosage par spectrophotométrie, notamment par rapport à une courbe étalon, il est nécessaire de choisir une longueur d'onde de mesure adaptée. Généralement cette longueur d'onde de mesure correspond à l'absorbance maximale ( $\lambda_{Amax}$ ). Ce paramètre est indispensable pour l'utilisation de cette méthode et peut être obtenu à partir d'un spectre d'absorbance de la solution colorée, si le spectre n'est pas saturé. Lors de la procédure du choix de la longueur d'onde de mesure, il est nécessaire dans un premier temps d'obtenir un spectre d'absorbance ensuite de choisir la longueur d'onde de mesure à partir de ce spectre d'absorbance. Les élèves doivent concevoir leur protocole avant de réaliser l'expérience. Quand ils vont proposer une mesure d'absorbance, ils vont être confrontés au problème du choix de la longueur d'onde de travail (paramètre à spécifier dans le logiciel). Ils ont donc besoin à ce moment là d'un résultat expérimental. Cet aller-retour entre l'activité d'élaboration de protocole et l'acquisition des résultats expérimentaux est difficile. Pour les élèves qui ne demandent pas un spectre d'absorbance et qui donnent au hasard une longueur d'onde de travail, nous pouvons dire qu'il s'agit d'une difficulté liée à la déportation de la manipulation en temps. Nous aurons besoin des traces logicielles pour savoir si les élèves demandent un spectre et mesurent l'absorbance à la longueur d'onde de travail. Nous avons fait le choix de ne pas relier cette difficulté à la notion de contrat mais néanmoins, le choix de la longueur d'onde où l'absorbance est maximale est généralement à la charge de l'enseignant.

Une autre difficulté liée au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps concerne le rinçage du matériel. En effet, lorsque les élèves rincent le matériel il est possible qu'ils choisissent une solution non adéquate, voire une solution qui n'existe pas encore. Le rinçage du matériel avec la solution qui va être préparée après la dilution de la solution mère n'est pas possible en réalité car on rince le matériel avec une solution disponible. Mais dans le système Educ@ffix.net, l'élève peut rincer l'aiguille du prélèvement avec une solution fille même si elle va être préparée après le rinçage concerné. Ce type de rinçage est possible dans ce système car il n'y a pas de restriction pour la chronologie des actions à effectuer dans la deuxième étape du TP. Par exemple, des élèves spécifient dans leur protocole la préparation d'une solution A, puis le rinçage de l'aiguille de prélèvement avec cette solution A. Ensuite, ils déplacent l'action de rinçage (éventuellement suite à l'intervention du tuteur) pour la positionner dans leur protocole avant la préparation de la solution A.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous les difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation que nous chercherons chez les élèves avec lesquels nous travaillerons.

<b>Difficultés</b>	<b>Indicateur</b>	<b>Corpus</b>
Déportation en lieu	ne pas rincer du tout le matériel avant l'intervention du tuteur	Traces logicielles
Déportation en temps	mesurer l'absorbance d'une solution sans	Traces logicielles

	réaliser un spectre et sans utiliser le spectre d'absorbance	
Déportation en temps	rincer le matériel avec la solution qui va être préparée après le rinçage concerné	Traces logicielles

Tableau 13 : Difficultés attendues liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation avec ses indicateurs

### 7.3.1.2. Les difficultés liées à l'ergonomie de l'interface

Dans l'interface du logiciel *Educ@ffix.net*, notamment en bas du cahier du laboratoire, il existe six boutons qui servent à modifier, supprimer et déplacer une action ajoutée dans le cahier du laboratoire. Par exemple, pour déplacer une action ajoutée au cahier, à la fois dans l'étape et entre les étapes, il faut utiliser les flèches. Pour modifier un paramètre d'une action ajoutée, il faut utiliser le bouton « *modifier* » en cliquant au-dessus de l'action ajoutée. Si les élèves ont du mal à modifier ou ajouter une action dans le cahier du laboratoire, nous pouvons parler d'une difficulté liée à la signification des boutons. Nous pouvons obtenir cette fois-ci cette information à partir des enregistrements audio ou l'observation « *in situ* » parce qu'ils peuvent demander une aide ou parler de cette difficulté.

Quant aux actions, il existe huit boutons d'actions pré-sélectionnées dans l'onglet « *actions* » et chacune de ces actions correspond à une petite image sur laquelle les élèves cliquent pour remplir les paramètres des actions. Pour les élèves qui n'arrivent pas à choisir l'action nécessaire et/ou demandent une aide pour ajouter une action dans leur cahier du laboratoire, nous pouvons dire qu'ils rencontrent une difficulté liée à la signification des boutons. Nous pouvons trouver ces indicateurs dans des traces logicielles, des enregistrements audio ou l'observation « *in situ* ». Par exemple si les élèves utilisent le bouton « *réaliser un spectre* » au lieu d'« *enregistrer la ligne de base* » pour faire le blanc, nous pouvons parler d'une difficulté liée à la signification des boutons et nous pouvons obtenir ces informations grâce aux traces logicielles.

Lorsque l'on ajoute une action dans le cahier du laboratoire d'*Educ@ffix.net* à partir de l'onglet « *actions* », il est nécessaire de remplir des paramètres et de choisir l'étape où on veut mettre l'action concernée. Au moment où les élèves ajoutent une action dans leur cahier du laboratoire, ils voient un menu déroulant appelé « *enregistrement dans l'étape* ». Lors de la sélection de l'étape, les élèves voient la deuxième étape par défaut s'ils ne cliquent pas sur la fenêtre roulante qui cache les 3 dernières étapes. Pour les élèves qui ajoutent des actions incompatibles avec la deuxième étape telle que « *réaliser un spectre* », « *rincer la cuve* », nous pouvons parler d'une difficulté liée à l'ergonomie de la fenêtre de l'« *enregistrement dans l'étape* ». Ce sont les traces logicielles qui nous permettront de mettre en évidence cette difficulté.

Nous récapitulons les difficultés liées à l'ergonomie de l'interface que nous attendons chez les élèves dans le tableau ci-dessous.

Difficultés	Indicateurs	Corpus
la signification des boutons n'est pas claire	ne pas arriver à choisir l'action nécessaire et/ou demander une aide	traces logicielles enregistrement audio observation « <i>in situ</i> »
la fenêtre de l'« <i>enregistrement dans l'étape</i> » pose un problème	enregistrer une (des) action(s) dans la deuxième étape par défaut	traces logicielles

Tableau 14 : Difficultés attendues liées à l'ergonomie de l'interface avec ses indicateurs

### 7.3.2. Les stratégies à suivre

Nous présentons des stratégies que les élèves peuvent suivre en deux catégories. La première catégorie concerne la préparation des solutions de la gamme étalon. La deuxième catégorie concerne la mesure des absorbances des solutions préparées. Ce sont des stratégies liées à une méthodologie de travail. Cela a pour but d'informer l'enseignant sur les choix privilégiés par les élèves, sachant que toutes ces stratégies sont valables mais pas toujours optimales.

#### 7.3.2.1. Les stratégies liées à la préparation des solutions

Dans la consigne que nous avons préparée, nous annonçons aux élèves que le robot dispose de 12 tubes au total pouvant contenir jusqu'à 5 mL de solution pour chaque manipulation. C'est le matériel que les élèves peuvent utiliser durant leur travail avec le logiciel.

La première stratégie que les élèves peuvent suivre concerne l'utilisation des tubes. Les tubes servent aux étapes 2 et 4 mais l'élève doit les gérer de telle manière qu'il y en ait assez. Nous pensons que les élèves utiliseront tous les tubes dont ils disposent lors de leur travail avec le logiciel. L'idée sous-jacente de cette action peut être liée au contrat didactique implicite suivant : tous les matériels fournis doivent être utilisés. Nous pouvons savoir si les élèves utilisent tous les tubes dans leur travail, à partir des traces logicielles.

La deuxième stratégie que les élèves peuvent suivre concerne le volume de solution préparée. Nous pensons que les élèves prépareront des solutions qui ont le volume maximum du matériel (5mL) à cause du raisonnement suivant : si l'on dispose des tubes pouvant contenir 5 mL maximum, on les remplit au maximum.

La troisième stratégie que les élèves peuvent suivre concerne la façon de diluer la solution mère. Nous pensons que les élèves dilueront la solution mère de trois façons différentes dans la deuxième étape du TP.

La première façon de diluer la solution mère est une dilution selon la concentration calculée, fréquemment réalisée en classe. L'utilisation de l'expression  $C_0 \cdot V_0 = C_1 \cdot V_1$  permet de décider à la fois le volume à prélever et la concentration à préparer.

Une autre façon de diluer la solution mère est basée sur le facteur de dilution. Ce facteur de dilution correspond à la proportionnalité du volume dilué par le volume de la solution mère. Cette stratégie nécessite de décider un facteur de dilution qui est en général un chiffre entier, puis de diluer la solution mère par rapport à ce chiffre.

La dernière façon de diluer une solution mère est une technique que les élèves font classiquement en classe. Cette technique consiste à décider les volumes du prélèvement d'après le volume du matériel et à choisir un volume avec un chiffre entier.

Nous pensons que les élèves choisiront les volumes suivants d'après cette technique (volume solution mère et volume total) : 1-5mL, 2-5mL, 3-5mL et 4-5mL. Nous pouvons connaître la façon de diluer la solution mère à partir des traces logicielles, des enregistrements audio ou des brouillons.

Nous récapitulons les stratégies attendues par les élèves dans le tableau ci-dessous.

Stratégie à suivre	Corpus
préparer autant de solution que le nombre du tube	traces logicielles
prendre en compte le volume maximum du matériel pour la dilution	traces logicielles
diluer la solution mère de trois façons différentes	traces logicielles, enregistrements audio ou brouillons

Tableau 15 : Stratégies attendues liées à la préparation des solutions avec ses corpus

### 7.3.2.2. Les stratégies liées à la mesure des absorbances

Nous annonçons aux élèves dans la consigne que le spectrophotomètre disponible pour le travail est mono-faisceau et que la cuve en quartz a un trajet optique de 1 cm. Nous parlons dans la partie cours du logiciel du spectrophotomètre en détail. Nous décrivons sa gamme de mesure qui couvre les spectres ultraviolet et visible : les mesures peuvent donc être effectuées entre 190 nm et 1100 nm.

La première stratégie que les élèves peuvent suivre dans cette étape concerne le choix de la gamme de mesure. Nous pensons que les élèves mesureront les absorbances des solutions préparées entre 190 nm et 1100 nm. C'est-à-dire qu'au moment où ils réalisent le spectre d'absorbance, ils prendront les intervalles extrêmes du spectrophotomètre vu dans la partie cours. Nous pouvons obtenir cette information à partir des traces logicielles.

La deuxième stratégie que les élèves peuvent suivre concerne la façon de mesurer les absorbances pour la gamme étalon. Dans la troisième étape du TP, les élèves doivent obtenir les points de la courbe étalon. Ils utilisent le spectrophotomètre pour réaliser des spectres d'absorbance et mesurer des absorbances. Après avoir fait le blanc avec l'eau, ils ont trois possibilités pour continuer à travailler dans cette étape.

Dans la première possibilité, ils peuvent d'abord réaliser un spectre pour décider la longueur d'onde de travail, ensuite mesurer seulement l'absorbance des solutions préparées à cette longueur d'onde. C'est-à-dire qu'ils effectuent un spectre d'absorbance et plusieurs mesures d'absorbances à une longueur d'onde.

Dans la deuxième possibilité, ils peuvent réaliser seulement les spectres d'absorbance pour toutes les solutions préparées sans mesurer les absorbances des solutions à une longueur d'onde décidée. C'est-à-dire qu'ils détermineront la longueur d'onde de mesure à l'absorbance maximale ( $\lambda_{Amax}$ ) lors de la phase d'analyse des résultats.

Dans la troisième possibilité, ils peuvent réaliser les spectres d'absorbance et mesurer les absorbances pour toutes les solutions préparées. Nous pouvons obtenir cette information à partir des traces logicielles.

Nous récapitulons les stratégies attendues dans la troisième étape du TP dans le tableau ci-dessous.

Stratégie à suivre	Corpus
choisir les intervalles extrêmes du spectrophotomètre (190 et 1100 nm)	traces logicielles
réaliser un spectre et plusieurs mesures d'absorbance à une longueur d'onde	traces logicielles
réaliser que des spectres	traces logicielles
réaliser des spectres et mesurer les absorbances de toutes les solutions préparées	traces logicielles

Tableau 16 : Stratégies attendues liées à la mesure des absorbances avec ses corpus

### 7.3.3. Le rôle à attribuer au tuteur

Comme nous l'avons expliqué dans la partie de présentation du logiciel *Educ@ffix.net*, il existe un tuteur artificiel qui évalue le protocole de l'apprenant d'après les actions ajoutées dans le cahier du laboratoire et envoie des retours à l'apprenant.

Nous pensons que le bouton « *évaluer* » peut être utilisé de trois façons différentes par les élèves lors de la construction du protocole expérimental. Dans la première façon, les élèves peuvent utiliser ce bouton une fois qu'ils ont terminé leur travail. C'est-à-dire qu'ils évaluent leur protocole à la fin de leur travail. Ceci ne veut pas dire qu'ils ne corrigent pas les erreurs commises après l'évaluation. Nous pensons que le rôle à attribuer au tuteur sera le même que l'enseignant qui vérifie le travail une fois qu'il est terminé. Dans la deuxième façon d'utiliser le bouton, les élèves peuvent évaluer leurs actions ajoutées dans le cahier du laboratoire à la fin de chaque étape terminée. Ils peuvent également corriger les erreurs commises au sein de chaque étape. Dans la dernière façon, les élèves peuvent utiliser ce bouton très fréquemment. C'est-à-dire qu'ils ajoutent une (des) action(s) dans leur cahier du laboratoire et l'évaluent pour décider l'action suivante selon les retours du tuteur. Nous n'attendons pas que les élèves utilisent ce bouton de cette dernière façon car la conception du protocole serait alors trop fastidieuse.

Il est nécessaire de dire que dans la consigne proposée dans le logiciel, nous ne décrivons pas le bouton « *évaluer* ». Par contre, nous donnons aux élèves une feuille sur laquelle nous expliquons les principales fonctionnalités de l'interface, y compris celle du bouton « *évaluer* ».

### 7.3.4. Analyse a priori de la construction des connaissances procédurales

Dans cette partie, nous présentons comment les élèves pourraient construire des connaissances procédurales lors de l'élaboration du protocole expérimental avec l'aide du logiciel *Educ@ffix.net*.

Pour être capable de dire si les élèves construisent une connaissance procédurale, nous prendrons en compte non seulement leur travail réalisé avec le logiciel, mais aussi les résultats des pré-test et post-test.

Lors de l'élaboration du protocole expérimental avec le logiciel, les actions effectuées ou non effectuées par les élèves avant l'intervention du tuteur et dans le protocole final nous permettront de constater s'ils utilisent correctement la connaissance procédurale concernée. La combinaison avec les résultats des pré et post-test nous donnera plus d'informations sur l'acquisition réelle de la connaissance. Nous schématisons dans les graphiques ci-dessous trois cas représentatifs de la construction ou non construction des connaissances procédurales.

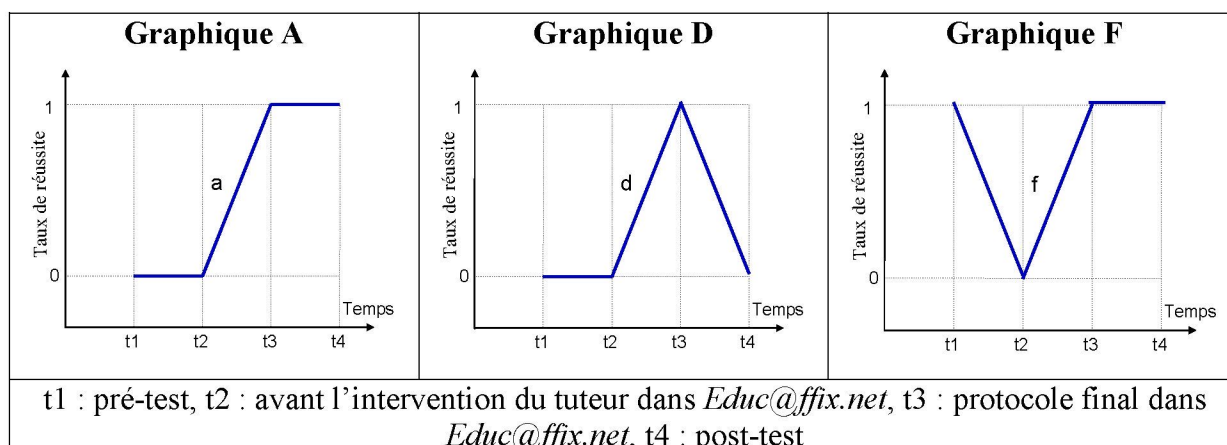


Figure 20 : Les taux de réussite de l'utilisation d'une connaissance procédurale par l'élève lors de notre expérimentation.

Dans ces graphiques, le taux de réussite 0 correspond d'une part à la réponse inexacte de l'élève au questionnaire et d'autre part au fait de ne pas utiliser de façon adéquate la connaissance procédurale lors de l'expérimentation avec le logiciel. A l'inverse, le taux de

réussite 1 correspond d'une part à la réponse exacte de l'élève au questionnaire et d'autre part au fait d'utiliser correctement la connaissance procédurale lors du travail avec le logiciel. Même si dans les trois types de graphique ci-dessus (A, D, F), nous pouvons dire que les élèves font évoluer la connaissance procédurale de façon positive lors de l'expérimentation avec le logiciel, nous considérerons que seul le graphique de type A correspond à une réelle acquisition de la connaissance concernée.

Dans ce graphique A, nous pouvons dire que la connaissance n'existe pas avant l'expérimentation avec le logiciel lors du pré-test et elle n'apparaît pas non plus lors de l'expérimentation avec le logiciel avant l'intervention du tuteur mais elle est construite lors de la construction du protocole expérimentale. L'acquisition de cette connaissance est ensuite justifiée par le post-test.

Si l'évolution d'une connaissance procédurale correspond au graphique D, il semble également y avoir acquisition de la connaissance pendant la construction du protocole expérimental, mais le post-test montre que l'acquisition de cette connaissance procédurale n'est pas stable. Nous pouvons penser que l'utilisation du tuteur a permis aux élèves de réussir la tâche demandée lors du travail avec le logiciel, mais que la connaissance n'est pas acquise sur du long terme.

Si l'évolution d'une connaissance procédurale suit le même parcours que dans le graphique F, nous pouvons penser que l'élève possède cette connaissance procédurale avant l'expérimentation avec le logiciel mais elle n'est pas utilisée correctement avant l'intervention du tuteur. Cela pourrait être dû à une difficulté pour l'élève à faire le lien entre les situations proposées dans le pré-test et dans le logiciel, c'est-à-dire qu'il n'a pas réussi à mobiliser dans les deux cas une connaissance que nous avons jugée similaire. Ou bien l'élève pourrait oublier de réaliser une action. Ce sont les verbalisations des élèves qui nous permettront de mettre en évidence s'ils ont vraiment oublié d'effectuer une action indispensable avant l'intervention du tuteur. Pour cela nous rechercherons des phrases du type « *ah oui, j'avais oublié de...* ».

Par conséquent, nous rechercherons des situations correspondant au graphique A, pour identifier la construction des diverses connaissances procédurales. Nous abordons la construction de chaque connaissance procédurale en deux parties : (1) les indicateurs de réussite pour chaque connaissance procédurale dans différentes étapes de notre expérimentation et (2) la verbalisation de chaque connaissance procédurale lors de l'expérimentation avec le logiciel.

Les enregistrements audio et les traces logicielles sont des corpus que nous mettrons en œuvre afin de mettre en évidence l'acquisition des connaissances procédurales lors de l'utilisation du logiciel. La partie cours mise à disposition de l'apprenant ou/et les messages d'erreur envoyés à l'apprenant pourront déclencher la conversation sur la notion concernée ainsi que la construction de la connaissance procédurale concernée.

### **Construction de la connaissance procédurale P1**

*Connaissance procédurale (P1) : comment homogénéiser une solution diluée ; homogénéiser, c'est agiter pour rendre la concentration égale en toute partie de la solution.*

<b>Indicateur de l'utilisation adéquate de connaissance procédurale</b>	
<b>t1/t4</b>	répondre correctement à la question QP1
<b>t2/t3</b>	homogénéiser les solutions préparées

*Tableau 17 : Indicateurs de réussite de P1 dans chaque étape de l'expérimentation*



Lors de la préparation des solutions de la gamme étalon dans l'expérimentation avec le logiciel, les élèves doivent d'abord diluer la solution mère (E124) puis homogénéiser la solution diluée à partir de cette solution mère avant de l'utiliser.

Si les élèves ne précisent pas dans leur protocole « homogénéiser une solution préparée », cela peut correspondre à un des deux cas suivants : (1) les élèves peuvent avoir oublié de le préciser avant l'intervention du tuteur ou (2) ils peuvent réellement penser que cette opération indispensable est inutile. Si les élèves agissent de la première façon citée ci-dessus, nous pouvons dire qu'il n'y a pas de problème directement lié à l'acquisition de cette connaissance procédurale chez eux, par contre il s'agit d'un problème d'anticipation. En effet, il peut être difficile de faire la liste de toutes les actions qui seront exécutées ultérieurement. Pour certains élèves n'ayant pas précisé l'action d'homogénéiser avant l'intervention du tuteur, il peut y avoir une difficulté liée à cette connaissance procédurale P1 non acquise. Cela peut être la présence d'une conception telle que nous l'avons décrite dans la partie précédente : « *dans une solution, la concentration en particules du soluté est naturellement identique en toute partie du volume* ». Pour différencier les deux cas cités ci-dessus, nous mettrons en œuvre deux recueils de données ; les réponses données au pré-test et post-test sur la question concernée (QP1) et la verbalisation de la séance réalisée avec le logiciel.

Lorsque les élèves demandent une évaluation de leur protocole, s'ils n'ont pas homogénéisé, ils peuvent lire le message d'erreur suivant correspondant à cette opération indispensable dans le logiciel : « A chaque fois que vous préparez une solution, il est nécessaire de l'homogénéiser avant de l'utiliser ». Comme ce message d'erreur induit fortement la réponse, il est possible que les élèves réussissent la tâche demandée en homogénéisant les solutions, mais ne soient pas dans un réel apprentissage comme le cas du graphique D.

#### *Comment se construit la connaissance procédurale P1 ?*

La façon de construire la connaissance procédurale P1 consiste à mettre en œuvre le fait d'homogénéiser une solution diluée avec la connaissance théorique de concentration (T1). Nous espérons ainsi retrouver dans les verbalisations des élèves des phrases indiquant la notion d'homogénéisation (ou les verbes équivalents: remuer, agiter, mélanger, secouer...), nécessaire pour que la concentration de la solution diluée soit égale en toute partie de la solution.

Les traces logicielles nous permettront de savoir d'une part quand les élèves homogénéisent les solutions diluées et d'autre part quelles actions ils ont fait après l'intervention du tuteur concernant la notion d'homogénéisation. Les enregistrements audio nous permettront de mettre en évidence la verbalisation de la construction de cette connaissance procédurale.

#### **Construction de la connaissance procédurale P2**

*Connaissance procédurale (P2) : comment diluer ; diluer, c'est ajouter du solvant pour rendre la concentration plus faible.*

Le problème que nous rencontrerons lors de l'expérimentation avec le logiciel concernant la construction de la connaissance procédurale P2 est lié aux indicateurs de cette connaissance procédurale. En effet, nous ne possédons pas des indicateurs explicites qui nous permettront de savoir si cette connaissance procédurale est utilisée de manière adéquate dans l'expérimentation avec le logiciel. C'est la raison pour laquelle nous ne vérifierons pas la construction de cette connaissance procédurale dans notre travail. Néanmoins nous allons quand même vérifier l'état de cette connaissance procédurale à travers le pré-test (QP2a).

#### **Construction de la connaissance procédurale P3**

*Connaissance procédurale (P3) : comment rincer ; rincer, c'est éliminer les impuretés en choisissant le bon liquide pour ne pas modifier la concentration de la solution prélevée.*

Indicateur de l'utilisation adéquate de connaissance procédurale	
t1/t4	répondre correctement à la question QP3
t2/t3	rincer le(s) matériel(s) avant de l(es) utiliser

Tableau 18 : Indicateurs de réussite de P3 dans chaque étape de l'expérimentation

Lors de l'élaboration du protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*, les élèves doivent rincer l'aiguille de prélèvement et la cuve du spectrophotomètre avant de les utiliser. Par exemple, dans la deuxième étape du TP lors de l'élaboration des solutions filles, les élèves doivent rincer l'aiguille de prélèvement avec la solution mère avant de diluer la solution mère.

Pour les élèves qui ne possèdent pas la connaissance procédurale P3 telle que nous l'avons définie, nous pouvons dire qu'ils ne rinceront pas le(s) matériel(s) de façon adéquate. Nous attendons des difficultés dans le choix de la solution de rinçage et dans la place de l'action au sein du protocole.

S'ils rincent l'aiguille de prélèvement ou la cuve du spectrophotomètre avec de l'eau avant de l'utiliser nous pouvons dire qu'ils confondent la notion du rinçage avec celle du lavage. S'ils ne rincent pas les deux matériels au début de leur travail, nous pouvons dire que le matériel est propre et sec d'après eux et ce n'est pas nécessaire de les rincer avant de les utiliser. S'ils rincent l'aiguille du prélèvement seulement une fois au début de l'étape lors de la dilution, nous pouvons dire qu'ils procèdent de la même manière que dans la classe.

#### *Comment se construit la connaissance procédurale P3 ?*

La construction de la connaissance procédurale P3 consiste à mettre en relation la connaissance théorique de la notion de concentration (T1) avec la tâche à accomplir, de façon que le rinçage ne modifie pas la concentration de la solution à préparer.

La verbalisation comprenant la nécessité de rincer les matériels avec la solution adéquate pour ne pas modifier la concentration nous permettra de mettre en évidence l'acquisition de cette connaissance procédurale chez l'élève lors du travail avec le logiciel. Nous espérons trouver des phrases du type « *si on rince avec l'eau ça changera la concentration, c'est pour ça qu'il faut rincer avec...* » ou « *on a dilué la solution mère, il faut rincer l'aiguille avec celle-là sinon la concentration ne sera pas la même* ». Les traces logicielles nous permettront de savoir avec quelle solution le rinçage du matériel est effectué par l'élève et quels messages d'erreur sont reçus par ce dernier concernant le rinçage.

#### **Construction de la connaissance procédurale P4**

*Connaissance procédurale (P4) : comment choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert ; le choix de la concentration maximale dépend du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.*

Indicateur de l'utilisation adéquate de connaissance procédurale	
t1/t4	répondre correctement à la question QP4
t2/t3	préparer des solutions de la gamme étalon dans le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert

Tableau 19 : Indicateurs de réussite de P4 dans chaque étape de l'expérimentation

La connaissance procédurale P4 est liée d'une part à la loi de Beer-Lambert et d'autre part à la tâche proposée notamment à la réalisation d'une gamme étalon. Les concentrations des solutions préparées dans la deuxième étape du TP doivent être dans le domaine de concentration de la gamme étalon correspondant au domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.

Pour les élèves qui préparent des solutions dont les concentrations sont hors du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert avant l'intervention du tuteur, nous pouvons dire qu'ils ne possèdent pas cette connaissance procédurale (P4). Pour les élèves n'ayant pas répondu correctement à la question QP4 au pré-test et qui ne prennent pas en compte ce domaine de validité, nous pouvons dire qu'ils possèdent peut-être la conception suivante : « le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est infini ».

Les élèves ont deux possibilités d'utiliser de façon correcte la connaissance procédurale P4 dans le logiciel :

- soit ils prennent en compte ce domaine de validité au début de leur travail après avoir lu la consigne. Pour cela, ils doivent faire un calcul avec les données fournies. Les brouillons des élèves nous donneront des informations.
- soit ils modifient les concentrations des solutions préparées d'après les résultats obtenus expérimentalement. Ces résultats sont des spectres donnés à la demande de l'élève par l'enseignant sur lequel ils peuvent vérifier la valeur maximale de l'absorbance.

*Comment se construit la connaissance procédurale P4 ?*

L'acquisition de la connaissance procédurale P4 consiste à mettre en relation la connaissance théorique de la notion de la loi de Beer-Lambert (T5) avec la tâche proposée. Cette mise en relation apparaîtra dans la verbalisation des élèves comprenant la nécessité de prendre en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert lors de la préparation des solutions de la gamme étalon. Les enregistrements audio, les traces logicielles, les brouillons des élèves nous permettront de connaître la manière de construire cette connaissance procédurale P4.

### **Construction de la connaissance procédurale P5**

*Connaissance procédurale (P5) : comment choisir la solution de référence ; choisir la bonne solution de référence, c'est identifier le ou les composés dont les absorbances sont susceptibles de s'ajouter à celle du E124.*

<b>Indicateur de l'utilisation adéquate de connaissance procédurale</b>	
<b>t1/t4</b>	répondre correctement à la question QP5
<b>t2/t3</b>	enregistrer la ligne de base avec l'eau

*Tableau 20 : Indicateurs de réussite de P5 dans chaque étape de l'expérimentation*

Lors de l'utilisation du spectrophotomètre dont les élèves disposent pour ce TP, ils devraient effectuer un spectre de référence avec l'eau avant de réaliser les mesures spectrophotométriques. Pour les élèves qui n'enregistrent pas la ligne de base du spectrophotomètre avec de l'eau avant l'intervention du tuteur dans le logiciel, nous pouvons dire qu'ils ne possèdent pas la connaissance procédurale P5 telle que nous l'avons définie et la conception suivante peut être la cause de cette difficulté : « l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution ».

Le message d'erreur que l'élève peut recevoir sur cette notion, s'il réalise le spectre d'absorbance sans faire le blanc, est le suivant : « *pour effectuer une mesure ou un spectre avec le spectrophotomètre, vous devez auparavant enregistrer un spectre de référence* ». cette aide du tuteur et la partie cours sur la « *spectrophotométrie* » peuvent déclencher la construction de cette connaissance procédurale chez les élèves.

*Comment se construit la connaissance procédurale P5 ?*

L'acquisition de la connaissance procédurale P5 consiste à mettre en relation le choix de la solution de référence avec la connaissance théorique sur l'additivité des absorbances (T6). Nous rechercherons des verbalisations illustrant cette mise en relation. La verbalisation comprenant la nécessité de faire le blanc avec la solution adéquate en s'appuyant sur la notion d'additivité des absorbances nous permettra de mettre en évidence l'acquisition de cette connaissance procédurale chez les élèves lors du TP. Nous n'attendons pas l'emploi des termes « additivité des absorbances » mais des formulations laissant penser qu'ils ont compris le rôle du spectre de référence.

### Construction de la connaissance procédurale P6

*Connaissance procédurale (P6) : comment choisir la longueur d'onde de mesure ; choisir la longueur d'onde de mesure, c'est repérer le maximum d'absorbance dans un spectre d'absorbance qui n'entraîne pas la saturation du spectrophotomètre.*

Indicateur de l'utilisation adéquate de connaissance procédurale	
<b>t1/t4</b>	répondre correctement à la question QP6a
<b>t2/t3</b>	réaliser une mesure d'absorbance à la bonne longueur d'onde

*Tableau 21 : Indicateurs de réussite de P6 dans chaque étape de l'expérimentation*

Cette connaissance procédurale est liée d'une part à la notion de maximum d'absorbance et d'autre part au fait de repérer maximum d'absorbance à partir d'un spectre d'absorbance. La question QP6a concerne le premier aspect de la connaissance procédurale qui consiste à être conscient qu'un maximum d'absorbance existe. La question QP6b concerne le deuxième aspect de la même connaissance procédurale qui consiste à repérer ce maximum d'absorbance à partir d'un spectre. Lorsque les élèves utilisent le spectrophotomètre pour mesurer les absorbances des solutions diluées, ils devraient choisir une longueur d'onde de mesure sur un spectre d'absorbance et effectuer des mesures d'absorbance à cette longueur d'onde choisie. Pour les élèves qui ne choisissent pas de façon adéquate la longueur d'onde de mesure à partir d'un spectre d'absorbance avant l'intervention du tuteur, nous pouvons dire qu'ils ne mobilisent pas correctement la connaissance procédurale P6 au cours de la résolution du problème posé.

Le message d'erreur que les élèves peuvent lire lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net* pour la résolution du problème posé, s'ils choisissent une longueur d'onde non adéquate pour les mesures spectrophotométriques, est le suivant : « Dans votre protocole, votre longueur d'onde de mesure est trop éloignée de  $\lambda_{max}$  ». Suite à lecture de ce message d'erreur il est possible que les élèves essaient une autre longueur d'onde. A partir de là, la construction de cette connaissance procédurale peut commencer chez eux, à condition qu'ils ne soient pas dans une stratégie essai-erreur (choix de la longueur d'onde au hasard).

#### *Comment se construit la connaissance procédurale P6 ?*

La connaissance procédurale P6 est liée à la notion de spectre d'absorbance (T4) et par conséquent à celle d'absorbance (T7), de longueur d'onde (T3). La verbalisation comprenant la nécessité de mesurer l'absorbance à la longueur d'onde de travail en se référant au spectre d'absorbance nous permettra de mettre en évidence l'acquisition de cette connaissance procédurale lors du TP avec le logiciel.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous les connaissances procédurales que les élèves construiront lors du TP, avec les indicateurs que nous rechercherons dans les corpus.

<b>Acquisition d'une connaissance procédurale</b>	<b>Indicateur de la verbalisation de la construction d'une connaissance procédurale lors du travail avec le logiciel</b>	<b>Corpus</b>
Construction de la connaissance P1 : comment homogénéiser	Verbalisation comprenant la nécessité d' <b>homogénéiser</b> (ou verbes équivalents) la solution diluée après l'intervention du <b>tuteur pour que la concentration soit égale</b> en toute partie de la solution	Enregistrements audio Traces logicielles
Construction de la connaissance P2 : comment diluer	---	---
Construction de la connaissance P3 : comment rincer le matériel	Verbalisation comprenant la nécessité de <b>rincer</b> avec la solution adaptée pour <b>ne pas modifier la concentration</b> de la solution concernée	Enregistrements audio Traces logicielles
Construction de la connaissance P4 : comment choisir le domaine de concentration de la gamme étalon validité de la loi de BL	Verbalisation comprenant la nécessité de <b>prendre en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert</b> lors de la <b>préparation des solutions</b> pour la gamme étalon	Enregistrements audio Traces logicielles Brouillons
Construction de la connaissance P5 : comment choisir la solution de référence	Verbalisation comprenant la nécessité de <b>faire le blanc</b> en s'appuyant sur la notion <b>d'additivité des absorbances</b>	Enregistrements audio Traces logicielles
Construction de la connaissance P6 : comment choisir la longueur d'onde de mesure	Verbalisation comprenant la nécessité de <b>choisir une longueur d'onde</b> pour mesurer une absorbance à la longueur d'onde de travail en se référant au <b>spectre d'absorbance fourni</b>	Enregistrements audio Traces logicielles

*Tableau 22 : Indicateurs de la verbalisation de la construction des connaissances procédurales*

TROISIEME PARTIE.  
RESULTATS et DISCUSSION



# CHAPITRE 8. RESULTATS SUR LES DIFFICULTES RENCONTREES

Nous présentons, dans le présent chapitre, d'abord les difficultés rencontrées par les élèves (cf. partie 8.1), puis les stratégies qu'ils ont suivies (cf. partie 8.2) enfin le rôle du tuteur attribué par les élèves lors de la construction du protocole expérimental (cf. partie 8.3).

Avant de présenter ces résultats de façon détaillée, nous présentons d'abord les résultats globaux de réussite à la tâche demandée dans le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous avons proposé dans la partie analyse a priori de l'expérimentation (cf. 7.3) un calcul de réussite à chaque étape, basé sur les sous-tâches à effectuer.

Le premier point à souligner est que le système proposé aux élèves permet de réaliser la tâche de conception de protocole expérimental qui leur est demandée. En effet, sur les 28 binômes utilisateurs, 14 réussissent en 1h30 à concevoir un protocole qui va jusqu'à la dernière action nécessaire (mesure de l'absorbance de la solution de concentration inconnue). Sur ces 14 binômes, 8 proposent un protocole permettant d'obtenir un résultat expérimental valable (score total > 94 %).

L'analyse des traces des 28 protocoles réalisés par 56 élèves travaillant en binômes montre une réussite moyenne par étape de (cf. tableau 23, Moyenne) :

- 100% pour l'étape 1 (Produits sélectionnés),
- 87 % pour l'étape 2 (Préparation des solutions de la gamme étalon),
- 79 % pour l'étape 3 (Obtention des points de la courbe étalon),
- 71 % pour l'étape 4 (Préparation des solutions à partir du sirop de grenadine),
- 38 % pour l'étape 5 (Mesures servant à obtenir la concentration en E124 du sirop de grenadine).

	% de réussite					
	Moyenne	B1	B2	B3	B4	B5
<b>Etape 1</b>	100	100	100	100	100	100
<b>Etape 2</b>	87	100	100	72,5	100	60
<b>Etape 3</b>	79	100	100	50	50	30
<b>Etape 4</b>	71	100	100	85	100	0
<b>Etape 5</b>	38	100	75	25	0	0
<b>Au total</b>	77	100	96	63	70	37
<b>Temps</b>	1h23	1h28	1h25	1h26	1h27	1h24
<b>Nb binômes du même type</b>	-	3	7	4	6	8

Tableau 23 : Résultats de réussite pour chaque étape du TP réalisée par des élèves dans le système *Educ@ffix.net* (B1 à B5 correspondent à 5 binômes ayant 5 types de profils différents)

L'analyse de traces montre que 14 binômes sur 28 réalisent les 5 étapes avec des degrés de réussite différents. 3 binômes réussissent avec un taux de 100% à toutes les étapes (exemple,



cf. tableau 23, B1). Cela correspond à une validation complète du protocole par le tuteur informatisé, basée sur le nombre d'erreurs. Sur ces 3 binômes, le temps d'exécution est de 55 min (pour 1 binôme), 1h15 (2 binômes) et 1h30 pour les 2 restants. 5 binômes réalisent toutes les étapes avec un taux de réussite moyen sur les étapes variant de 90 à 100 % (non inclus) dont 4 ont 100% à 4 étapes sur 5 (exemple, cf. tableau 23, B2) ; 4 binômes réalisent toutes les étapes avec un taux de réussite entre 60 et 90 % (exemple, cf. tableau 23, B3). 6 binômes ont réalisé 4 étapes (exemple, cf. tableau 23, B4), l'étape non réalisée est toujours la dernière et leur taux de réussite global varie entre 70 et 85%. 8 binômes ont réalisé 3 étapes (exemple, cf. tableau 23, B5). Dans 7 cas sur les 8, l'étape 4, vides. Cela fait donc 14 binômes qui n'ont pas eu le temps de faire l'étape 5. Nous avons prévu initialement un temps de travail de deux heures devant le logiciel, mais des contraintes techniques ont finalement conduit à réduire ce temps à une heure et demie, ce qui est insuffisant.

## **8.1. Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ?**

Dans cette partie, nous présentons les difficultés rencontrées par les élèves lors de la construction du protocole expérimental. Nous avons divisé ces difficultés en six catégories : ce sont des difficultés liées à cinq concepts mis en jeu et des difficultés liées à l'ergonomie de l'interface. Parmi les difficultés liées aux concepts mis en jeu, l'origine des difficultés peut être liée aux conceptions des élèves, au contrat didactique et au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps ou en lieu. Nous présentons ces difficultés notion par notion : rinçage, homogénéisation, spectrophotométrie, dilution et sécurité en chimie.

### **8.1.1. Difficultés liées à la notion du rinçage**

Dans cette partie de nos résultats, nous présentons les difficultés rencontrées liées à la notion du rinçage. Selon les résultats que nous avons obtenus, nous avons constaté six difficultés liées à la notion du rinçage. Ce sont des problèmes de choix de la solution de rinçage, de nombre de rinçage et de positionnement du/des rinçage(s). La première difficulté que nous présentons est liée à une conception des élèves, les trois suivantes sont liées au contrat de la classe et les deux dernières difficultés est liée au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation.

#### **8.1.1.1. Difficultés liées aux conceptions des élèves sur la notion du rinçage**

Comme nous l'avons envisagé dans l'analyse *a priori*, la conception des élèves « *l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique* » est une difficulté liée au concept de rinçage, présente dans cette activité expérimentale. Le fait de rincer l'aiguille de prélèvement ou la cuve du spectrophotomètre uniquement avec de l'eau avant de l'utiliser est inadapté car ce rinçage avec l'eau entraîne une modification de la concentration de la solution prélevée par l'aiguille ou contenue dans la cuve en raison de présence des gouttes d'eau restant sur les parois de la verrerie.

Pour pouvoir faire émerger cette conception chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé, nous avons pris en compte d'une part leurs réponses données à la question posée sur le rinçage au pré-test et d'autre part leurs actions effectuées pendant l'expérimentation avec le logiciel.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre élèves/ binômes	%
Conception (c1): l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique	rincer le matériel avec l'eau	pré-test	32/56	57
	toujours rincer le matériel avec l'eau	traces logicielles	20/28	71

Dans le questionnaire du pré-test, nous avons posé une question (QP3) dans laquelle nous avons demandé aux élèves de préciser la solution à utiliser pour rincer la pipette lors de la dilution d'une solution de permanganate de potassium. La pipette devrait être rincée avec la solution à prélever (ici le permanganate de potassium). D'après les résultats du pré-test, 32 élèves sur 56 (57%) l'ont rincée avec l'eau, ce qui correspond au premier indicateur de cette conception chez eux.

Lorsque les élèves élaborent le protocole expérimental avec le logiciel, ils devraient diluer la solution mère (E124) afin de préparer des solutions pour la gamme étalon. Lors de cette dilution, le matériel utilisé (aiguille de prélèvement) doit être rincé avec la solution mère (E124) qui sera prélevée. Quand ils réalisent une mesure d'absorbance ils rincent aussi le matériel (cuve du spectrophotomètre) avec la solution dont ils veulent effectuer la mesure. D'après les résultats obtenus à partir des traces logicielles, 20 binômes sur 28 (71%) ont rincé le matériel (l'aiguille du prélèvement et/ou la cuve du spectrophotomètre) avec l'eau. Ce dernier correspond au deuxième indicateur de la conception que nous avons citée ci-dessus.

Nous avons comparé les réponses données au pré-test avec les actions effectuées lors de l'expérimentation avec le logiciel pour déterminer quels élèves ont rincé le matériel avec l'eau à la fois au pré-test et dans l'expérimentation avec le logiciel. D'après l'analyse individuelle pour chaque élève, parmi les 20 binômes ayant rincé le matériel avec l'eau lors de l'expérimentation, nous avons constaté que 9 binômes (les deux élèves du binôme) et 7 binômes (l'un des deux élèves du binôme) ont rincé le matériel avec l'eau au pré-test. Il reste donc 4 binômes (les deux élèves du binôme) qui ont rincé le matériel avec la solution adéquate au pré-test et qui ont rincé le matériel avec l'eau dans l'expérimentation. Finalement, nous pouvons dire que 25 élèves sur 56 (44%) ont la conception c1 persistante sur les deux situations (9 binômes + 1 des 2 élèves de 7 binômes).

Pour essayer de comprendre l'écart des résultats entre le pré-test et l'expérimentation (du 57% à 71%), nous avons recherché les discussions entre les élèves du binôme. Nous avons repéré 2 situations différentes qui expliquent l'augmentation de l'erreur dans l'expérimentation par rapport au pré-test.

Dans le premier cas, 3 binômes concernés ; l'élève 1 a été influencé par l'élève 2 pour rincer le matériel avec l'eau lors du travail, même si l'élève 1 avait rincé le matériel avec la solution adéquate au pré-test. L'interaction entre les élèves peut donc jouer un rôle négatif pouvant expliquer cette augmentation du pourcentage. Nous donnons un exemple ci-dessous sur l'interaction des élèves (C8 et C16) au moment où ils choisissent la solution du rinçage. C16 a rincé correctement les matériels au pré-test et C8 a rincé tous les matériels avec l'eau au pré-test. Après la discussion ci-dessous ils ont rincé l'aiguille du prélèvement avec l'eau.

C8 & C16 parlent du rinçage	<p>...</p> <p>C8 : ensuite tu rinces</p> <p>C16 : il faut faire S2 (<i>S2 signifie la deuxième solution à préparer</i>)... l'aiguille du prélèvement, choix de la solution de rinçage... non à l'eau</p> <p>C8 : beih oui... ils n'ont pas de l'eau oxygénée ?</p> <p>C16 : oui mais l'aiguille du prélèvement on prend toujours la même chose, c'est du E124</p> <p>C8 : ils nous ont dit qu'il fallait faire un rinçage</p> <p>C16 : oui mais avec quoi ?</p> <p>C8 : avec de l'eau... vas-y rince avec de l'eau... attends attends fais rinçage quand même</p> <p>C16 : oui... avec de l'eau ?</p> <p>C8 : oui...</p>
-----------------------------	--

*Extrait de conversation des élèves (C8 et C16) sur la notion du rinçage*

Dans le deuxième cas, il existe 3 binômes (l'un des deux élèves du binôme) qui n'ont pas rincé le matériel avec la solution adéquate au pré-test mais qui ont rincé le matériel avec la solution adéquate lors du travail avec le logiciel. Dans ce cas l'interaction entre les élèves au sein du binôme joue un rôle positif sur les actions effectuées. Nous donnons un extrait de l'interaction des élèves (C32 et C34) ci-dessous au moment où ils choisissent la solution pour le rinçage. L'un de ces deux élèves (C32) a rincé le matériel avec la solution adéquate au pré-test et l'autre (C34) a rincé le matériel avec l'eau au pré-test. Suite à cette discussion ils ont rincé l'aiguille du prélèvement avec E124.

C32 & C34 parlent du rinçage	<p>...</p> <p>C32 : et je rince...</p> <p>C34 : pourquoi tu rinces ?</p> <p>C32 : parce que tu enlèves toujours E124 si je rince pas ça sert à rien</p> <p>C34 : bein ouais</p>
------------------------------	---

*Extrait de conversation des élèves (C32 et C34) sur la notion du rinçage*

L'existence de cette conception chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé peut être reliée à une autre difficulté rencontrée par les élèves : c'est la confusion de la notion du rinçage avec celle du lavage. Cette difficulté liée à la notion du lavage est discutée dans la partie suivante.

En conclusion nous pouvons dire que la conception c1 « *l'eau n'a pas d'influence sur le système chimique* » est un obstacle à la bonne réussite chez les élèves lors de l'élaboration du protocole expérimental.

### **8.1.1.2. 1<sup>ère</sup> Difficulté liée à l'enseignement suivi sur la notion du rinçage**

Voyons tout d'abord quelle est la place du rinçage dans l'enseignement de la chimie en Terminale. Selon les entretiens que nous avons effectués avec les enseignants (E1 et E2), la notion du rinçage n'a pas été abordée en tant que notion à enseigner en Terminale. Les élèves doivent avoir acquis cette notion dans les classes précédentes. Nous donnons ci-dessous deux extraits de nos entretiens qui nous ont permis de constater ce résultat.

Q : Est-ce que vous avez enseigné la notion du rinçage à vos élèves en Terminale ?

E1 : C'est vraiment une grandeur sur laquelle on n'insiste pas assez

Q : Jusqu'à la Terminale ils ne savent pas la différence entre le rinçage et le lavage ?

E1 : On leur dit mais la façon dont on travaille ce n'est pas une notion qui fait partie réellement des compétences de base.

*Entretien avec l'enseignant E1 sur la notion du rinçage*

Q : Est-ce que vous avez enseigné la notion du rinçage à vos élèves en Terminale ?

E2 : Alors, la notion du rinçage c'est la notion qui est la moins enseignée, avec laquelle ils ont le plus de difficulté, sur laquelle on passe le moins de temps. C'est un peu notre faute. Comme je l'avais déjà dit, je vais modifier mon enseignement et je vais faire attention au rinçage. Ça me semble important.

...

Q : Si nous revenons sur la notion du rinçage, vos élèves rencontrent des difficultés liées à cette notion. Qu'est-ce que vous pouvez dire dessus ?

E2 : ça vient de l'enseignant, ça ne vient pas d'eux. Ça vient de moi je trouve. C'est la faute de l'enseignant.

*Entretien avec l'enseignant E2 sur la notion du rinçage*

Nous pouvons maintenant aborder la première difficulté rencontrée liée à la confusion des notions de lavage et rinçage. Selon notre définition, le lavage consiste à nettoyer le matériel avec de l'eau avant de le stocker et le rinçage consiste à nettoyer le matériel avec la solution adéquate avant de l'utiliser dans des conditions optimales. Le rinçage a cette seule signification dans le logiciel *Educ@ffix.net*. La confusion entre ces deux notions se manifeste chez les élèves au moment où ils rincent le matériel avec de l'eau à la fin du travail, comme nous l'avons abordé dans la partie analyse *a priori*.

Avant de présenter des exemples des élèves ayant confondu ces deux notions lors du travail avec le logiciel, nous donnons un extrait de nos entretiens afin de mettre en évidence le contrat de la classe sur la notion du rinçage. Voici le point de vue de l'enseignant (E1) sur la connaissance de ces deux notions chez les élèves.

...

Q : Si nous revenons sur la notion du rinçage et celle du lavage, que pouvez-vous dire dessus ?

E1 : Alors, pour eux rinçage et lavage c'est un peu pareil. Il faut bien leur préciser mais c'est vraiment une grandeur sur laquelle on n'insiste pas assez. Parce que laver, rincer pour eux c'est équivalent.

Q : Comment se passe le rinçage dans la salle de TP ? Par exemple avant de commencer est-ce qu'ils rincent le matériel d'abord avec l'eau ensuite avec la solution à utiliser ?

E1 : Alors ce qu'on fait, quand ils rentrent dans une salle de TP, le matériel est lavé et propre donc ils ne font pas de **rinçage**. Ils font simplement un **rinçage** avec la solution et ils ne recommencent pas par le **lavage**. Par contre **quand ils quittent la salle ils font le lavage**.

Q : Est-ce que nous pouvons dire que vos élèves ne sont pas capables de distinguer la notion de rinçage avec celle de lavage ?

E1 : Si, ils le peuvent mais effectivement ce n'est pas toujours fait. En théorie oui mais en pratique ce n'est pas toujours fait.

*Extrait de l'entretien avec l'enseignant E1 sur la notion du rinçage*

L'entretien que nous avons effectué auprès de l'enseignant E2 a donné le même résultat sur la notion du rinçage. Selon les résultats de ces entretiens nous pouvons dire que, d'après les enseignants, les deux notions ont des significations très proches chez les élèves et les élèves font le lavage avant de quitter la salle du TP. Néanmoins, cet entretien montre que les élèves sont supposés faire le rinçage en classe, tel que nous l'avons défini auparavant. La confusion de ces deux notions par les élèves peut être liée au contrat de la classe car d'une part les élèves ont l'habitude de nettoyer les matériels avec l'eau après les avoir utilisés et avant de les stocker et d'autre part, comme notre entretien le montre, l'enseignant utilise parfois le même mot pour expliquer les deux notions. Dans ce cas, nous pouvons souligner le contrat suivant : les élèves rincent le matériel avec la solution adéquate avant de l'utiliser et ils lavent le matériel avec l'eau à la fin du TP. Ceci est un contrat qui se passe de manière explicite dans l'enseignement par contre le suivant est implicite. Les enseignants distinguent mal les deux termes « lavage » et « rinçage » dans leurs discours.

Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, le fait de rincer uniquement le matériel avec l'eau à la fin de l'étape avant de passer à une autre étape est un indicateur de cette difficulté que nous pouvons trouver dans les traces logicielles.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
contrat didactique induit les élèves en erreurs : les notions de rinçage et lavage sont confondues par les élèves	rincer le matériel avec l'eau à la fin de l'étape, sans rincer avant chaque solution	traces logicielles et/ou enregistrement audio	11/28	39

Nous nous intéressons uniquement aux élèves qui confondent les termes rinçage et lavage ainsi que les notions sous-jacentes. Nous excluons les élèves qui confondent les termes (rinçage/lavage) c'est-à-dire qu'ils emploient un mot ou l'autre pour faire des opérations chimiquement différentes mais qui ne confondent pas les deux notions, car ceci n'est pas un obstacle à l'apprentissage. Ces élèves effectuent un rinçage avec une solution adéquate avant chaque solution et à la fin de l'étape. Ce sont les discussions et verbalisations qui nous ont permis de prendre conscience de ces deux cas.

D'après les historiques des actions des élèves, 11 binômes sur 28 (39%) ont rincé le matériel avec de l'eau uniquement à la fin de l'étape avant ou après l'intervention du tuteur. Ce rinçage réalisé avec l'eau à la fin de l'étape sans rincer avant chaque solution nous permet de constater que les élèves ont confondu la notion du rinçage avec celle du lavage.

Nous voyons ci-dessous le cahier du laboratoire d'un binôme au moment où ils ont utilisé pour la première fois le bouton d'évaluation et ils ont rincé le matériel avec l'eau à la fin de l'étape. Nous pensons donc que les élèves ont utilisé l'action « rincer » comme un lavage à l'eau.

...

### Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon

- Pour préparer la solution E124 diluée/2, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 2 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : E124 diluée/2.
- Pour préparer la solution E124/3, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 3 mL avec le solvant : eau.
- Pour préparer la solution e124/4, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 4 mL avec le solvant : eau.
- **Je rince le matériel : aiguille avec la solution : eau.**

*Cahier du laboratoire des élèves (C15 et C4) après avoir rincé le matériel*

Par ailleurs, nous avons trouvé une verbalisation qui renforce l'idée que le rinçage s'effectue avec l'eau, et correspond ainsi à ce que nous avons appelé le lavage. Des élèves ont sélectionné l'eau en tant que produit de rinçage au début de leur travail avec le logiciel. Nous donnons un extrait des élèves (M5 et M17) qui ont sélectionné l'eau dans la liste des produits chimiques.

M5 & M17 parlent de la première étape du TP	M5 : étape 1, établir une liste des produits chimiques nécessaires M17 : on va sélectionner les produits là... je pense qu'il faut la solution d'E124 si on va la doser par spectrophotométrie M5 : oui, l'eau aussi M17 : il faut du sirop aussi... l'eau je vois pas trop pourquoi ? M5 : pour rincer M17 : pour rincer déjà ! M5 : dans le cours, je crois qu'il va nous dire M17 : on va sélectionner les produits... on prend l'eau, ça et ça M5 : allez c'est bon M17 : pour l'instant tout va bien
---	--

*Extrait de conversation des élèves (M5 et M17) sur la notion du rinçage*

A travers ces exemples trouvés dans les productions des élèves à la fois dans les traces logicielles et les enregistrements audio, nous pouvons dire que la notion du rinçage a la même signification que celle du lavage chez certains élèves avec lesquels nous avons travaillé et ceci entraîne une difficulté lors du travail de la construction du protocole expérimental.

#### 8.1.1.3. 2<sup>ème</sup> Difficulté liée à l'enseignement suivi sur la notion du rinçage

Le contrat donné par les enseignants concernant la propreté du matériel est le suivant : le matériel est propre et sec, on n'a pas besoin de le laver avec de l'eau au début. Les élèves rincent le matériel avec la solution adéquate avant la première solution. Comme nos entretiens le montrent, les enseignants n'insistent pas sur le rinçage car ce n'est pas un objectif d'apprentissage de Terminale. Dans ce cas, il est possible que « matériel propre et sec » se transforme pour les élèves en aucun rinçage préalable.

Dans *Educ@ffix.net*, les élèves qui pensent que le matériel est propre et sec et donc ce n'est pas la peine de le rincer avant de l'utiliser, prennent en compte le contrat de la classe mais le déforme.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
contrat induit en erreur : information sur la propreté du matériel mal interprétée	ne pas rincer le matériel avant de l'utiliser au début de l'étape, avant l'intervention du tuteur.	traces logicielles	15/28	54

Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, l'indicateur de cette difficulté que nous cherchons est une absence de rinçage du matériel au début de la dilution et l'existence du rinçage avec la bonne solution pour les dilutions suivantes. A partir des traces logicielles, nous avons constaté que 15 binômes sur 28 (54%) n'ont pas rincé le matériel au début de l'étape concernée avant l'intervention du tuteur.

Nous donnons un exemple d'un cahier du laboratoire dans lequel les élèves n'ont pas rincé le matériel au début de la deuxième étape alors qu'ils ont rincé avec la solution adéquate dans la suite des opérations.

<p>...</p> <p><b>Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pour préparer la solution S1, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S1.</li> <li>- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : E124.</li> <li>- Pour préparer la solution S2, je prélève avec l'aiguille 2 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S2.</li> <li>- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : E124.</li> <li>- Pour préparer la solution S3, je prélève avec l'aiguille 3 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S3.</li> </ul>
--

*Cahier du laboratoire d'un binôme n'ayant pas rincé le matériel au début du travail*

Nous donnons ci-dessous un extrait des élèves (C4 et C15) qui ont parlé explicitement du contrat de la classe sur la propreté du matériel à la suite de l'évaluation de leur cahier du laboratoire. Il est nécessaire de préciser que ce binôme a déjà rincé le matériel avec la solution adéquate (E124) précédemment mais pas au début de l'étape.

C15 & C4 parlent des résultats de la huitième évaluation	<p>C4 : une erreur de rinçage</p> <p>C15 : pourquoi il nous donne encore les messages d'erreur du rinçage ?</p> <p>C4 : on rince avec de l'eau ?</p> <p>C15 : juste avant d'utiliser... voilà</p> <p>C4 : généralement quand tu prends il doit être propre</p>
Après la discussion ci-dessus, les élèves ont ajouté un rinçage de l'aiguille de prélèvement avec l'eau au début de l'étape.	

*Extrait de conversation des élèves (C15 et C4) sur la notion du rinçage*

Comme nous l'avons constaté dans les cahiers du laboratoire des élèves, nous pouvons dire que le contrat de la classe sur la propreté du matériel se transforme pour les élèves en aucun rinçage préalable et ceci entraîne une difficulté pour les élèves lors du travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*, notamment le rinçage du matériel au début du travail. Il est nécessaire de souligner la rigidité du système *Educ@ffix.net* face au rinçage du matériel avant de l'utiliser car ce rinçage doit être effectué en respectant des règles strictes permettant d'acquérir de bonnes pratiques de laboratoire. Or, si le matériel est propre et sec, ne pas rincer ne va pas changer le résultat.

#### 8.1.1.4. 3<sup>ème</sup> Difficulté liée à l'enseignement suivi sur la notion du rinçage

En général lors de la préparation d'une gamme étalon en classe, les élèves utilisent une pipette et plusieurs fioles jaugées pour effectuer les dilutions. Avec ce matériel il est nécessaire de rincer une fois la pipette avec la solution à prélever au début de la dilution. La même pipette est utilisée tout au long de la dilution pour toutes les solutions diluées avant de compléter les fioles jaugées avec de l'eau. Il n'est donc pas utile de rincer à nouveau la pipette au cours des dilutions.

Afin de mettre en évidence le contrat de la classe concernant le nombre de rinçage lors du TP, nous donnons d'abord l'extrait de nos entretiens avec les enseignants, ensuite des exemples chez les élèves. Nous donnons ci-dessous deux extraits de nos entretiens avec les enseignants (E1 et E2) concernant le nombre de rinçage que les élèves font.

...

Q : Combien de fois vos élèves rincent les matériels lors d'une dilution ? Une fois ou plusieurs fois ?

E2 : En général, ils ont la pipette et la fiole jaugée. Par exemple, ils connaissent en général le volume final donc la pipette n'est utilisée que pour prélever la solution. Après on complète avec la pissette.

Q : Finalement est-ce qu'ils rincent la pipette ?

E2 : Alors, les élèves moyens pensent que le matériel est propre

Q : C'est-à-dire ?

E2 : Ils rincent une fois au début

*Extrait de l'entretien avec l'enseignant E2 sur le nombre du rinçage*

...

Q : Combien de fois vos élèves rincent les matériels lors d'une dilution ? Une fois ou plusieurs fois ?

E1 : ils rincent une fois

*Extrait de l'entretien avec l'enseignant E1 sur le nombre du rinçage*

Lorsque l'on réalise plusieurs dilutions dans le logiciel *Educ@ffix.net*, il est nécessaire de rincer plusieurs fois l'aiguille de prélèvement. La préparation des solutions s'effectue séparément dans ce logiciel car la même aiguille sert à homogénéiser une solution dès qu'elle est préparée. Il faut donc alors la rincer à nouveau.



Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
contrat de la classe non adapté à la méthode employée : un seul rinçage au début du travail	rincer le matériel seulement une fois au début de l'étape lors de la dilution	traces logicielles	8/28	29

D'après les résultats que nous avons obtenus grâce aux traces logicielles, 8 binômes sur 28 (29%) ont rincé le matériel une fois seulement au début de l'étape et n'ont pas rincé pour la suite.

Nous donnons ci-dessous un exemple d'un cahier du laboratoire d'un binôme dans lequel les élèves ont rincé l'aiguille de prélèvement avec la solution adéquate (E124) une fois au début de l'étape et ne l'ont plus rincée pour la suite. Voici le cahier du laboratoire d'un binôme au moment où les élèves ont évalué leur protocole.

<p>...</p> <p><b>Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : E124.</li> <li>- Pour préparer la solution S1, je prélève avec l'aiguille 0.5 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S1.</li> <li>- Pour préparer la solution S2, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S2.</li> <li>- Pour préparer la solution S3, je prélève avec l'aiguille 1.5 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S3.</li> <li>- Pour préparer la solution S4, je prélève avec l'aiguille 2 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.</li> <li>- J'homogénéise la solution : S4.</li> </ul>
--

*Cahier du laboratoire d'un binôme ayant rincé le matériel seulement au début de l'étape*

Pour les élèves qui rincent l'aiguille une fois au début de l'étape concernée et qui ne rincent plus pour les opérations suivantes, nous pouvons dire qu'ils se réfèrent à la situation dans laquelle ils ont appris la dilution avec les matériels connus (la pipette, la fiole jaugée) dans la classe. Et ils prennent donc en compte le contrat de la classe. C'est la raison pour laquelle nous pouvons dire que ce rinçage unique entraîne une difficulté liée au changement du matériel par rapport au contrat de la classe lors qu'ils travaillent avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

Nous donnons ci-dessous un extrait des élèves (M13 et M14) qui ont rincé le matériel seulement une fois au début de leur travail avant l'intervention du tuteur et qui parlent du nombre du rinçage suite à cette évaluation.

M13 & M14 parlent des résultats de la vingt deuxième évaluation	M14 : simplement une erreur de rinçage... M13 : revient en arrière M14 : c'est pas la peine de rincer à chaque fois M13 : si M14 : on prélève tout le temps le E124 M13 : il faut modifier M14 : pourquoi ? M13 : parce qu'à chaque fois il va falloir remettre, non ? M14 : on n'a jamais rincé M13 : si la première fois M14 : ok
Avant cette conversation, ce binôme a rincé le matériel une fois avec l'eau au début de la deuxième étape. Cette discussion nous montre que, d'après ce binôme, le rinçage du matériel une fois est suffisant tout au long du travail.	

*Extrait de conversation des élèves (M13 et M14) sur la notion du rinçage*

En ce qui concerne le contrat de la classe exprimé par les élèves, nous donnons l'exemple suivant. Dans cet exemple nous donnons un extrait des élèves (M7 et M20) qui parlent du contrat que nous avons abordé ci-dessus.

Les élèves sont en train de parler du rinçage et ils n'ont pas encore rincé l'aiguille de prélèvement dans la deuxième étape.	
M7 & M20 parlent du rinçage	... M7 : je pense qu'il faut rincer avec E124 M20 : oui M7 : il me semble M20 : ok, c'est bon...il faut pas qu'on mette les autres, qu'il faut rincer ? le bécher, le tout... je sais pas, quoi...la pipette... M7 : là, on n'a pas de pipette M20 : oui t'as raison... il faut combien ? ( <i>le nombre de rinçage</i> ) M7 : 4... tu vas rincer l'aiguille à la fin ? M20 : beh ouais... attends on s'en fout... on prélève tout le temps la même chose M7 : oui... on rince à la fin de toute façon ? M20 : on va pas rincer avec...
Après la discussion ci-dessus, les élèves ont rincé l'aiguille de prélèvement avec la solution adéquate (E124) au début de la deuxième étape.	

*Extrait de conversation des élèves (M7 et M20) sur la notion du rinçage*

Comme nous pouvons le constater à la fois dans des dialogues des élèves et leur cahier du laboratoire, les élèves ont du mal à s'adapter à la nouvelle situation expérimentale et cela entraîne une difficulté pour les élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net*.

### 8.1.1.5. Difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en lieu

Le fait de ne pas du tout rincer le matériel avant l'intervention du tuteur entraîne une difficulté qui est mise en évidence au moment où les élèves évaluent leur protocole expérimental. Cette difficulté peut être liée d'une part à l'enseignement que les élèves ont suivi et d'autre part à la déportation de la manipulation en lieu.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
déportation en lieu : ne pas du tout rincer le matériel	ne pas du tout rincer le matériel avant l'intervention du tuteur	traces logicielles	10/28	36

Le rinçage préalable du matériel est une action qui n'est pas spontanément spécifiée par les élèves lorsqu'ils conçoivent leur protocole. Cette difficulté peut être renforcée par le fait que la manipulation soit déportée en lieu car l'éloignement du matériel utilisé ne favorise pas la réflexion concernant son utilisation adéquate.

D'après nos résultats expérimentaux, 12 binômes sur 28 (43%) n'ont pas du tout rincé le matériel avant l'intervention du tuteur. Après avoir analysé les traces logicielles et les enregistrements audio, nous avons constaté que parmi ces 12 binômes, seulement 2 binômes ont utilisé le bouton d'évaluation très fréquemment. C'est-à-dire qu'ils ont utilisé le bouton d'évaluation chaque fois qu'ils ont ajouté une action dans leur cahier du laboratoire. Nous ne pouvons pas prendre en compte ces deux binômes comme ayant rencontré cette difficulté car ces derniers ont utilisé ce bouton comme une aide permanente pour les opérations suivantes. C'est la raison pour laquelle nous pensons que le fait de ne pas rincer le matériel avant l'intervention du tuteur n'est pas directement lié à cette difficulté chez ces deux binômes. D'après ces résultats, pouvons dire qu'au moins 10 binômes sur 28 (36%) ont rencontré cette difficulté lors de la construction du protocole expérimental. Malheureusement nous n'avons pas trouvé de conversation d'élèves appuyant cette hypothèse.

### 8.1.1.6. Difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps

Lors de la préparation des solutions filles à partir d'une solution mère, le matériel utilisé (la pipette) est rincé avant de commencer à diluer la solution mère. Ceci veut dire que le rinçage du matériel avec la solution à préparer (solution fille) n'est pas possible en réalité. Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, l'élève peut réaliser ce type de rinçage avant de diluer la solution mère car il n'y a pas de restriction pour la chronologie des actions à effectuer dans la deuxième étape du TP.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
déportation en temps : rincer le matériel avec la solution à préparer	rincer le matériel avec la solution qui va être préparée après le rinçage concerné	traces logicielles	5/28	18

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles, nous avons constaté que 5 binômes sur 28 (18%) ont rincé l'aiguille de prélèvement avec la solution à préparer. Nous donnons ci-dessous un cahier du laboratoire d'un binôme afin de montrer comment nous avons constaté cette difficulté.

...

## **Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon**

- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : **solution1**.
- Pour préparer la solution solution1, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : solution1.
- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : **solution2**.
- Pour préparer la solution solution2, je prélève avec l'aiguille 2 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : solution2.
- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : **solution3**.
- Pour préparer la solution solution3, je prélève avec l'aiguille 3 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : solution3.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (M15 et M6) avant évaluation*

Comme nous voyons dans le cahier du laboratoire ci-dessus, les élèves (M15 et M6) ont rincé l'aiguille de prélèvement avec la solution qui va être préparée suite à ce rinçage (solution 1, solution 2, solution 3). Nous constatons également à partir de traces logicielles qu'ils ont d'abord préparé des solutions filles ensuite rincé l'aiguille de prélèvement consécutivement avec les solutions préparées. En effet, il s'agit de l'utilisation des flèches au sein de la deuxième étape pour déplacer les actions du rinçage. Ce type de rinçage est une difficulté liée au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps car ce n'est pas possible de l'effectuer en réalité.

En conclusion, la notion du rinçage a posé beaucoup de problèmes pour les élèves lors du travail de la construction du protocole expérimental. Ces difficultés sont apparues à cause de leur conception et du contrat de la classe chez eux.

### **8.1.2. Difficultés liées à la notion d'homogénéisation**

Les résultats que nous avons obtenus nous ont permis de constater deux difficultés liées à la notion d'homogénéisation. La première difficulté est liée à une conception des élèves et la deuxième est liée au contrat de la classe.

#### **8.1.2.1. Difficultés liées aux conceptions des élèves sur la notion d'homogénéisation**

La conception des élèves « *dans une solution, la concentration en particules du soluté est naturellement identique en toute partie du volume* » est une difficulté liée aux concepts mis en jeu notamment celui d'homogénéisation.

Le fait de ne pas homogénéiser une solution diluée avant de l'utiliser conduit à une solution dont la concentration n'est pas identique en toute partie de la solution. Pour pouvoir détecter cette conception chez les élèves, nous avons étudié d'une part leurs réponses données à la question QP1 au pré-test et d'autre part leurs actions effectuées dans l'expérimentation avec le logiciel.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre élèves/binômes	%
Conception (c2): dans une solution, la concentration en particules du soluté est naturellement identique en toute partie du volume	ne pas répondre à la question d'homogénéisation	pré-test	19/56	34
	ne pas homogénéiser la solution diluée	traces logicielles enregistrement audio	11/28	39

D'après les résultats du pré-test concernant la question QP1, 52 élèves sur 56 (93%) ont choisi la représentation correcte (B) pour une solution homogène. Quant aux explications des élèves concernant l'homogénéisation, nous pouvons dire que 20 élèves sur 56 (36%) ont expliqué la façon d'homogénéiser comme nous l'attendions en utilisant l'un des verbes suivants : agiter, remuer, mélanger et mélanger avec l'agitateur. 19 élèves sur 56 (34%) n'ont pas répondu à cette sous question au pré-test. Nous pouvons dire, selon les résultats du pré-test qu'ils sont capables de différencier une solution homogène selon la représentation schématique et plus de la moitié des élèves ne sont pas capable d'expliquer la façon d'homogénéiser.

Lors des dilutions dans la construction du protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*, les élèves doivent homogénéiser toutes les solutions préparées avant de les utiliser. D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles, 11 binômes sur 28 (39%) n'ont pas homogénéisé leurs solutions préparées avant l'intervention du tuteur.

Parmi ces 11 binômes, il existe des binômes qui ont oublié d'homogénéiser leurs solutions diluées avant l'intervention du tuteur, mais qui ne possèdent pas forcément la conception citée ci-dessus. Afin de distinguer ces binômes qui ont oublié d'homogénéiser avec ceux qui ont cette conception, nous avons mis en relation les enregistrements audio et leurs réponses données au pré-test dans la question concernée (QP1). Le croisement des résultats du pré-test et du logiciel nous permet de dire que, parmi ces 11 binômes, 3 binômes (les deux élèves du binôme) ont la conception citée ci-dessus car ils n'ont pas répondu non plus correctement à la question QP1 au pré-test. 5 binômes (l'un des deux élèves du binôme) n'ont pas répondu correctement à la question concernée au pré-test et pour ces 5 binômes nous pouvons parler d'une interaction négative entre les élèves au sein du binôme lors du travail.

Les 3 binômes restant ont répondu correctement à ces questions au pré-test. Pour ces derniers nous pouvons dire qu'ils n'ont pas la conception citée ci-dessus et ils ont dû oublier d'homogénéiser les solutions diluées avant l'intervention du tuteur dans l'expérimentation avec le logiciel.

Nous donnons ci-dessous un extrait d'un dialogue d'un binôme qui ont répondu correctement à la question QP1 au pré-test mais qui n'ont pas homogénéisé les solutions diluées avant l'intervention du tuteur.

Les élèves (M19 & M18) ont préparé 3 solutions par dilution et ils ont rincé l'aiguille de prélèvement avant l'intervention du tuteur. Il n'y pas d'homogénéisation dans le cahier du laboratoire avant l'intervention du tuteur.	
M19 & M18 parlent des résultats d'une évaluation	M18 : une erreur d'homogénéisation... M19 : ah, on a oublié d'homogénéiser bien sûr M18 : ça on homogénéise...

Après cette discussion ils ont homogénéisé les trois solutions diluées.

*Extrait de conversation des élèves (M18 et M19) sur l'homogénéisation après l'intervention du tuteur dans le logiciel Educ@ffix.net*

Comme nous la constatons à partir du dialogue ci-dessus, il existe des binômes qui ont oublié d'homogénéiser les solutions diluées avant de les utiliser. Nous ne les prenons pas en compte dans notre calcul comme des binômes ayant la conception citée ci-dessus. Donc seulement 11 élèves semblent avoir cette conception.

### 8.1.2.2. Difficultés liée à l'enseignement suivi sur la notion d'homogénéisation

L'homogénéisation est une opération indispensable que l'on doit effectuer avant d'utiliser la solution aqueuse. Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, il faut homogénéiser la solution diluée dès qu'elle est préparée car c'est la même aiguille qui effectue l'homogénéisation dans le tube.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
contrat didactique non adapté à la méthode employée : homogénéisations consécutives à la fin de l'étape	homogénéiser consécutivement les solutions diluées à la fin de l'étape	traces logicielles	7/28	25

Comme nous l'avons expliqué dans l'analyse *a priori*, nous avons cherché les homogénéisations consécutives dans les actions effectuées par les élèves pour mettre en évidence cette difficulté. Grâce aux traces logicielles, nous avons constaté que 7 binômes sur 28 (25%) ont homogénéisé consécutivement toutes les solutions diluées à la fin de l'étape concernée. Nous donnons ci-dessous un exemple que nous avons obtenu à partir des traces logicielles pour montrer comment nous avons constaté cette difficulté dans leurs actions effectuées. Ce binôme (B2) d'abord a préparé 4 solutions ensuite il a rincé le matériel une fois avec la solution adéquate (E124) et il a homogénéisé les 4 solutions diluées consécutivement. Au moment où ils ont évalué leur protocole expérimental, leur cahier du laboratoire était comme ci-dessous.

...

**Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon**

- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : E124.
- Pour préparer la solution S1, je prélève avec l'aiguille 0.5 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- Pour préparer la solution S2, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- Pour préparer la solution S3, je prélève avec l'aiguille 1.5 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- Pour préparer la solution S4, je prélève avec l'aiguille 2 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : S1.
- J'homogénéise la solution : S2.
- J'homogénéise la solution : S3.
- J'homogénéise la solution : S4.

*Etat du cahier de laboratoire de B2 avant évaluation*

Le fait de faire monter vers le haut le rinçage de l'aiguille qui a été effectué après les dilutions, nous permet de constater que ce binôme n'a pas du mal à utiliser les flèches pour déplacer une action ajoutée au sein de l'étape dans son cahier du laboratoire. Les 4 homogénéisations ont donc volontairement été mises à la fin de l'étape.

Grâce aux traces logicielles, nous avons constaté que ce binôme (comme les 6 autres) a rencontré une difficulté liée au contrat de la classe concernant l'homogénéisation. Pour les élèves qui homogénéisent toutes les solutions diluées à la fin de l'étape, nous pouvons dire qu'ils se réfèrent à la façon d'homogénéiser classiquement utilisée dans la classe et le changement du matériel par rapport à la classe entraîne cette difficulté pour les élèves lors de la construction du protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

### 8.1.3. Difficultés liées à la spectrophotométrie

Dans cette partie, nous présentons les difficultés liées à la spectrophotométrie que les élèves ont rencontrée dans leur travail. Nous avons constaté cinq difficultés liées à cette notion ; elles sont liées aux conceptions des élèves et au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation.

#### 8.1.3.1. 1<sup>ère</sup> Difficulté liée aux conceptions des élèves

La conception des élèves « *le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est infini* » est une difficulté liée au concept mis en jeu : la loi de Beer-Lambert.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre élèves/ binômes	%
Conception (c3) : le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert est infini	réponse erronée à la question concernée	pré-test	27/56	48
	préparer la solution de la gamme étalon sans prendre en compte le domaine de validité	traces logicielles enregistrement audio	11/28	39

Lors du choix des concentrations des solutions pour la gamme étalon, les élèves doivent prendre en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert car les concentrations des solutions ainsi que leurs absorbances doivent être dans ce domaine pour que la courbe étalon soit utilisable pour répondre au problème posé. C'est-à-dire que lorsque la linéarité de cette loi n'est plus observée, les résultats expérimentaux ne sont pas fiables.

Dans le questionnaire (question QP4), nous avons demandé aux élèves d'hachurer le domaine de concentration où la loi de Beer-Lambert s'applique sur un graphique obtenu à partir de valeurs expérimentales.

D'après les résultats obtenus au pré-test, 27 élèves sur 56 (48%) ont hachuré correctement le domaine de concentration (entre 0 et 6 mmol.L<sup>-1</sup>) comme nous l'attendions. 6 élèves sur 56 (10%) ont hachuré tous les points du graphique et 19 élèves sur 56 (34%) n'ont pas hachuré le domaine de concentration en choisissant la case « *ne sait pas* ».

Lorsque les élèves préparent des solutions pour la gamme étalon avec le logiciel *Educ@ffix.net*, il existe 2 indicateurs qui nous permettent de constater que les élèves ont pris en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert :

soit ils préparent une solution de concentration  $7,5 \cdot 10^{-5} \text{ mol.L}^{-1}$  (obtenu à partir des données dans la consigne en utilisant la loi de Beer-Lambert,  $A_{\text{max}} = \epsilon \cdot l \cdot C_{\text{max}}$ ).

soit ils préparent au moins 3 solutions dans le domaine de validité de la loi.

Les traces logicielles et des brouillons nous donnent la concentration des solutions préparées. Les enregistrements audio sont des éléments complémentaires qui nous permettent de dire si les élèves sont conscients de l'existence du domaine de validité de la loi ainsi que de la nécessité de le prendre en compte lors de la préparation des solutions.

Nous donnons un exemple ci-dessous dans lequel les élèves (C6 et C7) prennent en compte le domaine de validité de la loi et calculent les concentrations des solutions diluées en fonction de ce domaine de validité. Cette discussion se passe au début de la deuxième étape du TP.

C7 & C6 parlent de la préparation de la solution	<p>...</p> <p>C7 : vas-y tu peux nommer n'importe comment, tu appelle a2... une absorbance, ça va être inférieur à 1,5... c'est <math>1 \cdot 10^4</math>, c'est 1 cm</p>
C6 & C7 calculent la concentration de la solution à diluer en utilisant la formule Beer-Lambert	<p>C6 : <math>A = 5</math></p> <p>C7 : dilution par 10 ?</p> <p>C6 : en fait pour qu'il soit inférieur à 1,5, on fait une dilution par 5 comme ça</p> <p>C7 : hi hi</p> <p>C6 : ou alors on fait ça</p> <p>C7 : tu peux calculer ça ?</p> <p>C6 : <math>1,5 \cdot 10^{-4}</math></p> <p>C7 : ça va être une dilution troublante ça</p> <p>C6 : bien, on dilue par...</p> <p>C7 : divise 5 par 1,5</p> <p>C6 : ça veut dire que <math>5 \cdot 10^{-4} / 1,5 \cdot 10^{-4}</math> ça fait...</p> <p>C7 : trois virgule trois trois trois... on peut faire une dilution par 5</p> <p>C6 : pourquoi pas 3</p> <p>C7 : si on met 3 ça marchera pas, parce qu'on sera au-dessus de la <math>1,5 \cdot 10^{-4}</math></p> <p>C6 : alors on dilue par 5</p> <p>C7 : ouais... par 5</p> <p>C6 : oui ça sera plus simple, tu vois on prélève 1 mL et on rajoute 4 mL dans l'autre voilà</p> <p>C7 : ouais...</p>
Après cette discussion ils ont dilué la solution mère par 5 en prenant 1 mL d'E124 et 4mL d'eau.	

*Extrait de conversation des élèves (C6 et C7) sur le domaine de validité de la loi*

Nous donnons également ci-dessous une copie de leur brouillon, que nous avons récupéré après le travail, sur lequel ils ont effectué le calcul en utilisant la loi de Beer-Lambert.



$$[E_{124}] = 5 \cdot 10^4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

$$A = \epsilon_{\lambda} \cdot l \cdot C$$

$10^4$       $1 \text{ cm}$       $(5 \cdot 10^{-4})$

$$A = 5 \Rightarrow \text{Dilué}$$

$$\Rightarrow C = \frac{A}{\epsilon_{\lambda} \cdot l} = \frac{15}{10^4 \times 1} = 1,5 \cdot 10^{-4}$$

$$\Rightarrow \text{Dilué} / 5 \text{ (Essais)}$$

Figure 21 : Copie de brouillons des élèves qui ont pris en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert

A partir des traces logicielles et des enregistrements audio, nous avons constaté que 11 binômes sur 28 (39%) n'ont pas pris en compte le domaine de la validité de Beer-Lambert lors de la dilution.

Si nous comparons les deux résultats obtenus (celui du pré-test et de l'expérimentation), nous pouvons faire émerger cette conception chez les élèves. Parmi ceux qui n'ont pas répondu correctement à la question posée au pré-test (27 élèves sur 56), 10 binômes (20 élèves) sur 28 (36%) n'ont pas pris en compte le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert à l'expérimentation avec le logiciel.

En conclusion, nous pouvons dire que cette conception entraîne une difficulté pour 36% des élèves lors du travail de la construction du protocole expérimental.

### 8.1.3.2. 2<sup>ème</sup> Difficulté liée aux conceptions des élèves

La conception « la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance » est une difficulté liée aux concepts mis en jeu, la longueur d'onde. Pour le dosage par rapport à une courbe étalon par spectrophotométrie, il est nécessaire de mesurer l'absorbance des solutions colorées. Dans le but de réaliser une courbe étalon, il est nécessaire aussi de connaître l'absorbance de chaque solution à une longueur d'onde unique. En effet pour une même solution, si la longueur d'onde diffère légèrement, l'absorbance diffère également.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
Conception (c4): la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance	utiliser différentes longueurs d'onde lors des mesures d'absorbance pour la gamme étalon	traces logicielles protocole final	4/28	14

Pour les élèves qui mesurent l'absorbance à différentes longueurs d'onde, nous pouvons dire qu'ils pensent que la longueur d'onde n'a pas d'influence sur l'absorbance. Nous avons cherché cette information à la fois dans les traces logicielles et leur protocole final. D'après les résultats de l'expérimentation, nous avons constaté que seulement 4 binômes sur 28 (14%) ont mesuré l'absorbance de la solution diluée d'E124 à différentes longueurs d'onde. Nous donnons ci-dessous un cahier du laboratoire d'un binôme, ayant effectué des mesures

spectrophotométrique à différentes longueurs d'onde, afin de montrer comment nous avons constaté cette difficulté.

...

### Etape 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 remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec la solution : E124  
J'enregistre le spectre de la solution : E124 entre 400 et 800 nm.
- Je rince le matériel : cuve avec la solution : sol1.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec la solution : sol1.  
J'effectue une mesure d'absorbance de la solution : sol1 à **550 nm**.
- Je rince le matériel : cuve avec la solution : sol2.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec la solution : sol2.  
J'effectue une mesure d'absorbance de la solution : sol2 à **600 nm**.
- Je rince le matériel : cuve avec la solution : sol3.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec la solution : sol3.  
J'effectue une mesure d'absorbance de la solution : sol3 à **580 nm**.

*Cahier du laboratoire d'un binôme ayant mesuré les absorbances des solutions colorées à différentes longueurs d'onde*

Par conséquent, nous pouvons dire que la conception citée ci-dessus entraîne une difficulté pour peu d'élèves lors de la construction du protocole expérimental et cette conception est la difficulté la moins rencontrée parmi les six conceptions.

#### 8.1.3.3. 3<sup>ème</sup> Difficulté liée aux conceptions des élèves

La conception « l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution » est une difficulté liée aux concepts mis en jeu. Pour les élèves qui n'enregistrent pas la ligne de base du spectrophotomètre avec l'eau avant l'intervention du tuteur, nous pouvons penser que pour eux ce n'est pas la peine de faire le blanc si on travaille avec l'eau en tant que solvant. Nous cherchons cette information à la fois dans les traces logicielles et les enregistrements audio.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
Conception (c5) : l'eau en tant que solvant n'a pas d'influence sur l'absorbance de la solution	ne pas enregistrer la ligne de base avant l'intervention du tuteur	traces logicielles enregistrement audio	6/28	21

D'après les actions effectuées par les élèves au cours de l'utilisation du spectrophotomètre, 6 binômes sur 28 (21%) n'ont pas enregistré la ligne de base avant l'intervention du tuteur. Parmi ces 6 binômes, la conversation de 2 binômes n'a pas été enregistrée et les 4 autres n'ont pas parlé de solution de référence avant l'intervention du tuteur. Suite à l'intervention du tuteur, 3 binômes ont fait le blanc avec la solution mère. Seulement 1 binôme a fait le blanc

avec l'eau après avoir lu la partie cours « *spectrophotométrie* ». Les 2 autres n'ont toujours pas fait le blanc avec la solution adéquate.

Nous donnons ci-dessous deux extraits de nos entretiens avec les enseignants (E1 et E2) pour montrer ce que les élèves savent sur la notion du blanc et comment procèdent-ils dans la classe.

Q : Quand on travaille avec un spectrophotomètre, est-ce que vos élèves sont conscients de l'existence de la notion de blanc ?

E1 : La notion du blanc, c'est assez difficile pour eux.

Q : Pourquoi ?

E1 : C'est moi qui fais le blanc parce que souvent c'est moi qui fais la manip (la manip du spectro) et ils regardent... Parce que ce n'est pas une manip qu'ils font eux... Parce que le spectro est trop cher. Et puis ils viennent souvent passer leur cuve mais c'est moi qui fais le blanc pour l'ensemble.

Q : Mais ils sont au courant quand même ?

E1 : Oui. On prend une cuve du spectro et de l'eau, on met dedans, on fait le zéro. Mais est-ce qu'ils ont bien compris que c'était pour la référence, où on considérait l'absorbance comme étant nulle... ça je ne suis pas très sûr... pas tous.

*Entretien avec l'enseignant E1 sur la notion du blanc*

Q : La notion d'additivité des absorbances, est-ce que vos élèves la connaissent ?

E2 : C'est vu en théorie mais ce n'est jamais vu en pratique. On dit que les absorbances s'ajoutent mais pour eux comme on part toujours de mesure d'absorbance de solution aqueuse. En général le blanc se fait toujours avec de l'eau et on utilise une seule espèce chimique donc ils voient en théorie que l'absorbance est une grandeur additive mais ils ne l'utilisent jamais en pratique.

Q : Pour la notion du blanc ? ça se passe comment ?

E2 : Pour eux c'est leur point de référence où l'absorbance de l'eau doit être égale à 0, pour eux c'est un peu ça. Ils savent qu'il faut faire le blanc à une longueur d'onde donnée... Voilà, pour eux c'est plutôt un protocole.

*Entretien avec l'enseignant E2 sur la notion du blanc*

A partir de nos entretiens effectués avec les enseignants, nous avons constaté que les élèves ne savent pas effectuer le blanc parce que c'est l'enseignant qui fait la manipulation quand il s'agit de mesures spectrophotométriques. Même si les élèves ne font pas le blanc eux-mêmes, ils sont au courant de l'existence de cette notion et la nécessité de le faire quand ils travaillent avec un spectrophotomètre. Dans ce cas, il est nécessaire de parler de l'effet du contrat de la classe qui a influencé la façon de penser des élèves. C'est la raison pour laquelle la conception que nous avons citée ci-dessus est liée au contrat de la classe et les empêche d'effectuer un blanc.

En conclusion, nous pouvons dire que les élèves avec lesquels nous avons travaillé ont rencontré une difficulté liée à leur conception, notamment celle qui est liée à l'enregistrement de la ligne de base, lors de la construction du protocole expérimental.

#### 8.1.3.4. 4<sup>ème</sup> Difficulté liée aux conceptions des élèves

La conception « *la solution de référence est constituée de la solution mère* » est une difficulté liée au concept mis en jeu, solution de référence.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre élèves/ binômes	%
Conception (c6) : la solution de référence est constituée de la solution mère	choisir la solution à doser comme solution de référence	pré-test	3/56	5
			22/56 (ne sait pas)	39
	enregistrer la ligne de base du spectrophotomètre avec la solution mère (E124)	traces logicielles	12/28	43

Dans le pré-test, nous avons posé une question (QP5) concernant le choix de la solution de référence lorsque l'on travaille avec un mélange de produits chimiques. Nous avons demandé aux élèves de choisir la solution de référence (blanc du spectro) parmi les trois produits chimiques ( $\text{KMnO}_4$ ,  $\text{CoCl}_2$  et  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) pour pouvoir mesurer uniquement l'absorbance de dichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ) dans ce mélange. Les réponses données par les élèves au pré-test à cette question nous indiquent que 27 élèves sur 56 (48%) ont répondu correctement. Dans les réponses de cette question, 22 élèves sur 56 (39%) ont choisi de ne pas répondre à cette question en cochant la case « *ne sait pas* ». Nous avons trouvé 3 élèves qui ont choisi le produit chimique dichromate de potassium comme une solution de référence même si on demande de mesurer uniquement l'absorbance de ce produit chimique.

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles, 12 binômes sur 28 (43%) ont enregistré la ligne de base avec la solution mère (E124) soit avant, soit après l'intervention du tuteur.

Comme les enseignants (E1 et E2) nous l'ont expliqué dans nos entretiens retranscrits ci-dessous, cette confusion entre les deux notions en terme de vocabulaire peut être une difficulté qui est mise en évidence lors de l'utilisation de la spectrophotométrie.

Q : La notion de solution de référence et celle de solution mère sont confondues par les élèves lors de l'enregistrement de la ligne de base. Est-ce qu'on peut dire qu'elles représentent la même chose pour eux ?

E2 : Je ne sais pas bien parce qu'à ce niveau-là ils sont vraiment guidés, donc en général ils ne se posent pas ce genre de problème, ils sont bien guidés par un protocole au niveau de la Terminale

Q : Si on parle de la signification des deux mots, solution de référence et solution mère ?

E2 : Oui pour eux c'est bien ça.

Q : C'est-à-dire la solution de référence est égale à la solution mère ?

E2 : Oui oui ça c'est sûr

*Entretien avec l'enseignant E2 sur la notion du blanc*

Q : La notion de solution de référence et celle de solution mère sont confondues par les élèves lors de l'enregistrement de la ligne de base. Est-ce qu'on peut dire qu'elles représentent la même chose pour eux ?

E1 : Oui souvent oui. Il faudra qu'on re précise aussi ces deux termes. Mais ça dépend des élèves.

*Entretien avec l'enseignant E1 sur la notion du blanc*

Nous avons cherché le vocabulaire employé concernant cette notion dans le manuel que les élèves utilisent. Dans ce manuel, nous n'avons pas trouvé le terme « *solution de référence* » et on parle de la cuve de référence qui doit être remplie avec le solvant utilisé. Dans la partie cours du logiciel *Educ@ffix.net*, on parle d'une mesure de référence, de la ligne de base de l'appareil et du « *blanc* » comme solution de référence.

Nous donnons ci-dessous un extrait de la conversation des élèves (C4 et C15) sur le choix de la solution de référence.

C4 & C15 parlent de la référence du spectrophotomètre	<p>...</p> <p>C4 : attention je remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec E124 diluée par 2 et j'enregistre le spectre comme la tac tac ok, après il faut nettoyer... la cuve avec de l'eau</p> <p>C15 : oui mais d'abord faire le blanc, non ? le blanc à faire ?</p> <p>C4 : le blanc se fait avec l'eau</p> <p>C15 : non ça se fait avec la solution mère</p> <p>C4 : oui</p> <p>C15 on l'a pas fait</p> <p>C4 : il faut qu'on le fasse</p> <p>C15 : peut-être la ligne de base non ? c'est peut-être la ligne de base</p> <p>C4 : oui</p> <p>C15 : avec E124...</p>
Après la discussion ci-dessus, ce binôme a enregistré la ligne de base avec la solution E124.	

*Extrait de conversation des élèves (C4 et C15) sur la notion du blanc*

Nous donnons ci-dessous un extrait des élèves (C30 et C31) qui ont fait le blanc avec la solution mère (E124) suite à cette conversation.

C30 & C31 parlent de la référence du spectrophotomètre	<p>...</p> <p>C30 : c'est là où tu as mis... c'est bien rouge...</p> <p>C31 : mais non, le spectre sur la ligne de base, c'est toute la ligne c'est l'originale qu'il faut mettre... c'est la solution mère qu'il faut mettre</p> <p>C30 : c'est E124</p> <p>C31 : la solution mère c'est c'est c'est...</p>
Après la discussion ci-dessus, ce binôme a enregistré la ligne de base avec la solution E124.	

*Extrait de conversation des élèves (C30 et C31) sur la notion du blanc*

Les différents corpus que nous venons d'aborder nous permettent de dire qu'au moment où les élèves devraient choisir la solution de référence, ils se réfèrent à la notion de la solution mère comme une solution de référence. Il semble que pour ces élèves la solution de référence est la même chose que la solution mère et que la conception citée ci-dessus entraîne une difficulté lors de la construction du protocole expérimental.

### 8.1.3.5. Difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps

Lorsque l'on réalise un dosage par spectrophotométrie, notamment par rapport à une courbe étalon, il est nécessaire de choisir une longueur d'onde de mesure adaptée. Généralement cette longueur d'onde de mesure correspond à l'absorbance maximale ( $\lambda_{\text{MAX}}$ ). Ce paramètre est indispensable pour l'utilisation de cette méthode et peut être obtenu à partir d'un spectre d'absorbance de la solution colorée, à condition que le spectre ne soit pas saturé.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
déportation en temps : choisir la longueur d'onde au hasard	mesurer l'absorbance d'une solution sans réaliser un spectre et sans utiliser le spectre d'absorbance	traces logicielles enregistrements audio	5/23	18

Lors de la procédure du choix de la longueur d'onde de mesure, il est nécessaire dans un premier temps d'obtenir un spectre d'absorbance ensuite de choisir la longueur d'onde de mesure à partir de ce spectre d'absorbance. Les élèves peuvent choisir la longueur d'onde de mesure s'ils ont acquis un spectre d'absorbance lors de leur travail. Ici le spectre est donné par l'enseignant sur demande de l'élève. Cet aller-retour entre l'activité d'élaboration de protocole et l'acquisition des résultats expérimentaux leur permet de choisir la longueur d'onde de mesure.

Nous avons repéré les élèves qui n'ont pas réalisé un spectre d'absorbance mais qui ont quand même mesuré l'absorbance d'une solution à une longueur d'onde lors du travail avec le logiciel. Ils ont donc choisi eux-mêmes une longueur d'onde de travail sans se référer à un spectre. Dans ce cas, il s'agit d'une difficulté liée au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation en temps parce que cette longueur d'onde peut être obtenue après le début de l'expérimentation et le spectre d'absorbance est indispensable pour cela.

D'après les résultats que nous avons obtenus à la fois à partir des enregistrements audio et des traces logicielles, nous avons constaté que 5 binômes sur 28 (18%) ont rencontré cette difficulté lors de l'utilisation du logiciel.

Afin de montrer comment nous avons constaté cette difficulté chez les élèves, nous donnons ci-dessus un exemple d'un cahier du laboratoire d'un binôme qui a mesuré l'absorbance d'une solution colorée à une longueur d'onde choisie au hasard sans avoir visualisé le spectre d'absorbance.

...
<b>Etape 3 - Obtention des points de la courbe étalon</b>
- 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 : S1.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec la solution : S1.
<b><i>J'effectue une mesure d'absorbance de la solution : S1 à 700 nm.</i></b>

*Etat du cahier de laboratoire de B6 avant évaluation*

Comme nous l'avons vu ci-dessus, ce binôme a mesuré l'absorbance d'une solution colorée à 700 nm sans avoir vu le spectre d'absorbance de cette solution colorée. Grâce à

l'enregistrement audio, nous avons confirmé qu'ils ont choisi 700 nm comme longueur d'onde de mesure au hasard. Nous donnons ci-dessous l'extrait d'un binôme lorsqu'il mesure l'absorbance d'une solution diluée à une longueur d'onde choisie sans avoir vu le spectre d'absorbance.

Les élèves (C23 & C24) sont en train de décider la longueur d'onde de travail afin de mesurer l'absorbance de la solution S1 qui a été préparée dans la deuxième étape du TP.

...

C23 : je fais une mesure d'absorbance

C24 : où ça ?

C23 : réaliser un spectre... mesurer une absorbance...

C24 : obtention des points de la courbe étalon

C23 : il faut là

C24 : on va essayer avec ça... S1... dans l'étape 3, à 700 donc on fait 700 nm ? ça te va ?

C23 : vas-y continue fini toute la gamme étalon, on verra après... on peut pas rester bloquer sur ça

C24 : ok, je rince la cuve avec la solution S2 dans l'étape 3, courbe étalon... après je fais... mesure d'absorbance... combien on met ? 700 ?

*Extrait de conversation des élèves (M23 & M24) sur la longueur d'onde de travail*

Parmi les difficultés liées à l'utilisation du spectrophotomètre, nous pouvons dire que la difficulté la plus rencontrée est celle qui est liée à la conception des élèves sur la notion du blanc notamment la confusion entre la notion de solution de référence et celle de solution mère. Cette difficulté est importante parce que presque la moitié des élèves ont fait le blanc avec la solution mère avant l'intervention du tuteur.

#### 8.1.4. Difficulté liée à la façon de diluer la solution mère

Lors de la préparation des solutions filles pour la gamme étalon, les élèves doivent diluer la solution mère plusieurs fois. La dilution de la solution mère peut être réalisée de différentes façons dans la deuxième étape du TP. L'une de ces façons est liée à une technique que les élèves utilisent de manière classique en classe. Cette technique consiste à décider les volumes du prélèvement d'après le volume du matériel et à choisir un volume avec un chiffre entier. Selon cette technique les élèves choisissent les volumes suivants (volume solution mère-volume total) : 1-5mL, 2-5mL, 3-5mL et 4-5mL. Le problème c'est que presque toutes les solutions préparées d'après cette technique ont les concentrations qui sont hors du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert dans ce TP. Seulement un point trouve une place dans ce domaine. Nous pouvons connaître la façon de diluer la solution mère à partir des traces logicielles et/ou des brouillons sur les quelles les élèves ont écrit ou schématisé la préparation des solutions filles.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
contrat de la classe non adapté à la méthode employée : préparer des solutions filles selon une technique couramment utilisée (volumes entiers)	diluer la solution mère en préparant des solutions ayant les volumes suivants : 1-5mL, 2-5mL, 3-5mL et 4-5mL	traces logicielles brouillons	11/28	39

D'après les traces logicielles, nous pouvons dire que les élèves ont dilué la solution mère de trois façons différentes. Dans la première façon, les élèves ont dilué la solution mère selon la concentration calculée. C'est-à-dire qu'ils ont utilisé l'expression  $C_0.V_0=C_1.V_1$  pour décider à la fois le volume à prélever et la concentration à préparer. Dans la deuxième façon, ils ont dilué la solution mère selon le facteur de dilution. C'est-à-dire qu'ils ont choisi le(s) facteur(s) de dilution et ils ont dilué la solution mère par rapport à ce chiffre décidé. Le facteur de dilution correspond à la proportionnalité du volume dilué par le volume de la solution mère. Ces deux façons correspondent à des stratégies appropriées. Dans la dernière façon, ils ont dilué la solution mère en appliquant une technique de dilution que les élèves utilisent dans la salle de TP, comme nous l'avons expliquée ci-dessus.

D'après nos entretiens auprès des enseignants, les enseignants pensent que les élèves utilisent l'expression  $C_0.V_0=C_1.V_1$ ; la prise en compte de la conservation de la quantité de matière serait la stratégie privilégiée. D'après eux, le facteur de dilution est un terme qui est peu employé au niveau du lycée.

D'après les résultats obtenus, nous avons constaté que 10 binômes sur 28 (36%) ont utilisé l'expression  $C_0.V_0=C_1.V_1$ , 7 binômes sur 28 (25%) ont dilué selon le facteur de dilution et 11 binômes sur 28 (39%) ont appliqué la technique des volumes entiers lors de la dilution dans le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous donnons ci-dessus un extrait d'un binôme ayant procédé de la troisième façon dont nous avons parlé ci-dessus.

Les élèves (M13 et M14) sont en train de commencer à la deuxième étape du TP.	
M13 & M14 parlent de la deuxième étape du TP.	<p>...</p> <p>M14 : décrire les actions à réaliser pour préparer des solutions de la gamme étalon</p> <p>M13 : on va juste préparer des solutions... nom du votre nouvelle solution...</p> <p>M14 : alors entre 2 et 5 mL... on prélève comment ?</p> <p>M13 : 1, 2, 5... 1 5, 2 5, 3 5, 4 5...non ?</p> <p>M14 : haa ?</p> <p>M13 : échelle de teinte, tu mets 1 5</p> <p>M14 : oui mais on fait combien ?</p> <p>M13 : on met 1 mL d'E124... volume total de 5... S2...</p> <p>M14 : S2 2 mL...</p> <p>M13 : 2 mL 5...</p> <p>M14 : 3 et 4</p> <p>M13 : ok</p>
Après la discussion ci-dessus, ce binôme a préparé 4 solutions, sans calculer les concentrations des solutions diluées, contenant les volumes suivants : 1-5mL, 2-5mL, 3-5 mL et 4-5mL.	

*Extrait de conversation des élèves (M14 et M13) sur la dilution de la solution mère*

Nous constatons à partir de l'extrait ci-dessus que les élèves (M13 et M14) ont pris en compte le volume du matériel lors de la dilution et dilué la solution mère selon la technique qu'ils emploient dans la salle du TP. Cette technique que les élèves ont appliquée dans cette expérimentation a introduit une erreur concernant le domaine de concentration en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.



### 8.1.5. Difficulté liée à la sécurité en chimie

Dans un laboratoire de chimie, les élèves doivent consulter la fiche de sécurité des produits chimiques avec lesquels ils manipulent, avant de les utiliser. Le fait de consulter la fiche de sécurité est important même si les produits chimiques utilisés ne sont pas dangereux en terme de risque d'explosion car certains produits chimiques ont un effet corrosif, nocif, irritant et toxique. Pour le colorant E124 que les élèves utilisent dans notre expérimentation, il est nécessaire d'éviter le contact avec la peau et les yeux. Dans le logiciel *Educ@ffix.net*, les élèves doivent consulter la fiche de sécurité d'E124 avant de l'utiliser dans les étapes suivantes. Les élèves qui ne consultent pas la fiche de sécurité de ce produit chimique peuvent raisonner comme cela : soit ils pensent que c'est le robot qui fait la manipulation, c'est pourquoi il n'y a aucun risque pour eux, soit ils pensent que la consultation de la fiche de sécurité d'un produit chimique avec lequel ils vont travailler ne fait pas partie de leur travail, au contraire elle fait partie du travail de l'enseignant qui leur propose ces produits chimiques.

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
contrat didactique non adapté à la méthode employée : ne pas consulter la fiche de sécurité des produits chimiques	ne pas consulter la fiche de sécurité des produits choisis avant l'intervention du tuteur	traces logicielles enregistrements audio	9/28	32

Grâce aux traces logicielles, nous avons constaté que 9 binômes sur 28 (32%) n'ont pas consulté la fiche de sécurité d'E124 avant l'intervention du tuteur. D'après les résultats des enregistrements audio, nous avons pu confirmer les deux possibilités de raisonnements cités ci-dessus.

Nous donnons quelques exemples de leur raisonnement :

C5 & C10 parlent des résultats de la première évaluation	... C5 : il faut consulter E124 C10 : E124 il faut consulter C5 : c'est E124 ? C10 : oui C5 : $C_{20}H_{11}N_2Na_3O_{10}S_3$ , masse molaire 604,46 g.mol <sup>-1</sup> ... il faut éviter le contact avec la peau et les yeux... <b><u>c'est avec le robot on n'a pas de risque</u></b>
M9 & M16 parlent de la fiche de sécurité	... M16 : fiche de sécurité non consultée... M9 : fiche de sécurité non consultée, alors on va consulter M16 : là là... M9 : bon je consulte la fiche de sécurité... ola la M16 : tu vois ça... <b><u>on s'en fout ça</u></b> ... M9 : c'est bon
C18 & C25 parlent des résultats de la première évaluation	... C18 : une erreur de type objectif

	<p>C25 : c'est quoi ? tu fais plus</p> <p>C18 : vous n'avez pas consulté toutes les fiches sécurités des produits utilisés dans ce TP</p> <p>C25 : c'est pas une faute...</p>
M20 & M7 parlent des résultats de la première évaluation	<p>...</p> <p>M7 : il manque quelque chose dans l'étape 1</p> <p>M20 : attends...on s'en fout de la fiche de sécurité...</p> <p>M7 : vas-y consulte...</p>

Comme nous l'avons vu dans le premier dialogue des élèves (C5 et C10), ils pensent que le fait de consulter la fiche de sécurité d'un produit chimique n'est pas une opération indispensable parce que ce n'est pas eux qui font la manipulation manuellement. Il est vrai qu'ils n'auront pas à utiliser les protections requises par la fiche R et S mais les concepteurs du logiciel imposent la consultation de ces fiches pour prendre « *de bonnes habitudes* ». Dans les autres exemples, les élèves ont mise en évidence l'idée suivante : la consultation de la fiche de sécurité des produits chimiques ne fait pas partie de leur travail.

En conclusion, nous pouvons dire que la négligence sur l'importance de la consultation des fiches de sécurité des produits avec lesquels les élèves travaillent peut être liée au contrat de la classe installé par l'enseignant.

### 8.1.6. Difficultés liées à l'ergonomie de l'interface

Dans cette partie, nous présentons les difficultés rencontrées liées à l'ergonomie de l'interface.

#### 8.1.6.1. Difficulté liée à la fenêtre d'« enregistrement dans l'étape »

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
la fenêtre d'« <i>enregistrement dans l'étape</i> » pose un problème	enregistrer une (des) action(s) dans la deuxième étape par défaut	traces logicielles	25/28	89

D'après les résultats obtenus à partir des traces logicielles, 25 binômes sur 28 (89%) ont ajouté au moins une action dans la deuxième étape même si cette action ajoutée n'est pas liée à la deuxième étape, telle que « *enregistrer la ligne de base* », « *réaliser un spectre* », « *rincer la cuve* ». D'après le pourcentage assez élevé, nous pouvons dire que les élèves ont rencontré une vraie difficulté liée à l'ergonomie de l'interface du logiciel *Educ@ffix.net*.

Nous donnons ci-dessous un extrait des élèves (M19 et M18) qui ont ajouté une mesure spectrophotométrique dans la deuxième étape du TP, à cause de l'utilisation de la fenêtre « *enregistrement dans l'étape* » même s'ils voulaient ajouter cette mesure dans la troisième étape du TP.

M18 & M19 parlent de la mesure spectrophotométrique	<p>M19 : il faut réaliser un spectre pour sélectionner <math>\lambda_{\max}</math> ... pour voir <math>\lambda</math>, où on se place</p> <p>M18 : d'accord, pour avoir <math>\lambda</math> d'E124</p> <p>M19 : <math>\lambda</math> min...</p> <p>M18 : UV-visible, c'est quoi déjà le visible ? 400...</p> <p>M19 : 600... attends on va voir dans le cours...</p> <p>M19 &amp; M18 consultent la partie cours</p> <p>M18 : 350-800</p> <p>M19 : on va dire 400-800</p> <p>M18 : on démarre là...</p> <p>M19 : pourquoi il a mis dans étape 2 ?</p> <p>M18 : je sais pas...</p> <p>M19 : c'est pas normal...</p>
Lors de cette conversation ils ont réalisé un spectre d'E124 entre 400-800 nm. Ils ont ajouté ce spectre dans la deuxième étape à cause de la difficulté d'utilisation de la fenêtre « <i>enregistrement dans l'étape</i> » où l'étape est sélectionnée par défaut.	

*Extrait de conversation des élèves (M18 et M19) sur la mesure spectrophotométrique*

### 8.1.6.2. Difficulté liée à la signification des boutons

Difficultés	Indicateur	Corpus	Résultat	
			Nombre binômes	%
la signification des boutons n'est pas claire	ne pas arriver à choisir l'action nécessaire et/ou demander une aide	traces logicielles enregistrement audio observation « <i>in situ</i> »	9/28	32

D'après les enregistrements audio, les traces logicielles et les observations « *in situ* », nous pouvons dire que 9 binômes sur 28 (32%) ont rencontré une difficulté liée à la signification des boutons lors du travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Ces 9 binômes ont utilisé le bouton « *réaliser un spectre* » au lieu d'« *enregistrer la ligne de base* » pour faire le blanc. Nous donnons ci-dessous un exemple d'un cahier du laboratoire d'un binôme ayant rencontré cette difficulté en effectuant les blancs avec toutes les solutions dont ils disposent au lieu d'effectuer le spectre d'absorbance.



...

### Etape 3 - Obtention des points de la courbe étalon

- 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 remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : sol1. J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : sol2. J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : sol3. J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.
- Je remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : sol4. J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.

*Cahier du laboratoire d'un binôme ayant confondu le bouton « enregistrer la ligne de base »*

Comme nous pouvons le voir dans le cahier du laboratoire de ce binôme, ils semblent avoir confondu les 2 actions car ils n'ont pas utilisé correctement les deux boutons que nous avons cités ci-dessus. Nous pouvons dire que c'est la petite image (voir figure 22) de ces deux actions dans l'onglet « actions » qui semble avoir posé un problème pour ces élèves.

 : enregistrer la ligne de base du spectrophotomètre	 : réaliser un spectre
--	---

*Figure 22 : Les images employées dans Educ@ffix.net pour deux actions*

Parmi ces 9 binômes, 2 binômes ont demandé aussi une aide à l'enseignant pour modifier et supprimer une action ajoutée dans leur cahier du laboratoire. Ces binômes n'ont pas pu utiliser les boutons nécessaires sans l'intervention de l'enseignant. Nous donnons deux extraits comme exemple de ce qui s'est passé entre les élèves et l'enseignant au moment où ils ont posé une question.

M14 pose une question à l'enseignant (E) sur l'utilisation de l'interface	M14 : comment on modifie une action ? E : d'abord vous appuyez sur l'action, ensuite sur le bouton modifier qui est en bas du cahier du laboratoire M14 : merci
C32 et C34 posent une question à l'enseignant (E) sur l'utilisation de l'interface	C32 : madame, quand on oublie une action, on fait comment ? C34 : si on veut introduire là, rincer E : tu cliques sur cette action (en montrant la dernière action ajoutée dans la deuxième étape) et... C32 : ok, c'est comme ça qu'on supprime...

*Extrait de conversation de deux binômes ayant posé une question sur l'utilisation de l'interface*

Comme nous le voyons dans les exemples ci-dessus, l'un de deux binômes n'a pas su comment s'y prendre pour modifier une action. Le fait de sélectionner en premier l'action concernée n'est pas évident pour eux. Et l'autre binôme n'a pas pu utiliser lui-même le bouton « supprimer ».

D'après les résultats que nous venons de montrer, nous pouvons dire que les élèves ont rencontré des difficultés liées à l'ergonomie de l'interface et ces difficultés les ont empêché et retardé d'effectuer l'action nécessaire lors du travail de la construction du protocole expérimental.

Parmi les difficultés liées à l'ergonomie de l'interface, nous pouvons dire que la difficulté la plus importante et la plus rencontrée est celle qui est liée à la fenêtre de l'« *enregistrement dans l'étape* » car presque 90% des élèves ont ajouté une action dans l'étape par défaut lors du travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Malgré ce pourcentage élevé, les élèves ont su surmonter cette difficulté car une fois qu'ils ont compris le fonctionnement du menu déroulant grâce à la conséquence de cette action dans le cahier du laboratoire, ils l'ont manipulé de manière correcte.

## Conclusion

Dans cette partie, nous discutons les résultats obtenus concernant les difficultés rencontrées par les élèves sur les concepts mis en jeu. Dans les parties précédentes, nous avons présenté ces résultats notion par notion (rinçage, homogénéisation, spectrophotométrie). Dans cette partie, nous allons aborder ces résultats selon le type de difficulté : difficultés liées aux conceptions des élèves, difficultés liées au contrat didactique et difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation.

### Difficultés liées aux conceptions des élèves

Le travail que nous avons effectué sur les conceptions des élèves concernant les concepts mis en jeu montre qu'il existe 6 conceptions et chacune a son importance dans le travail de la construction du protocole expérimental car ces dernières peuvent faire obstacle à une bonne réussite comme nous l'avons mis en évidence dans les parties précédentes.

« *L'eau n'a pas d'influence sur le système chimique* » (c1) est la conception la plus rencontrée parmi les six conceptions repérées. Elle semble être la plus difficile à surmonter par les élèves. Elle bloque le travail des élèves assez longtemps dans la résolution du problème posé, parfois jusqu'à la fin du travail du TP même après les interventions du tuteur et la lecture du cours. Elle est la plus rencontrée car la notion de rinçage est une notion qui a posé beaucoup de problèmes pour les élèves lors du travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

La conception liée à la notion d'homogénéisation (c2) est une conception qui peut être rencontrée chez les élèves dans différentes situations quand il s'agit d'une dilution. Les enseignants qui veulent faire émerger cette conception doivent se méfier parce que le fait d'oublier d'homogénéiser ne doit pas être abordé comme une conception.

La prise en compte de la conception liée à la loi de Beer-Lambert (c3) est importante pour les enseignants. En effet, ils doivent être vigilants d'introduire la loi avec son domaine de validité.

La conception liée à la notion de solution de référence (c5) nous montre que les deux termes (solution de référence et solution mère) peuvent être confondus par les élèves au moment où ils doivent choisir eux-mêmes la solution de référence lorsqu'ils travaillent avec un appareil spectrophotométrique. Cela veut dire qu'il vaut peut-être mieux employer un autre terme que solution de référence : ligne de base, zéro.

En ce qui concerne la première hypothèse (H.1) sur les conceptions des élèves, nous pouvons dire que les conceptions des élèves que nous venons d'expliquer ont entraîné des difficultés lors de l'élaboration du protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

L'identification de ces conceptions pourra servir aux enseignants. Ils pourront mettre en place une situation adéquate permettant de déstabiliser les conceptions des élèves. Au sein de la recherche en didactique, elles peuvent servir également aux chercheurs qui peuvent les utiliser pour de l'ingénierie didactique dans le but de « *détruire* » l'une de ces conceptions.

### Difficultés liées au contrat didactique

Notre travail sur les difficultés rencontrées par les élèves montre qu'il existe six difficultés liées au contrat didactique lors du travail de la construction du protocole expérimental. Ces difficultés sont liées aux notions suivantes : rinçage, homogénéisation, dilution et sécurité dans le laboratoire.

La difficulté la plus importante concerne la confusion de la notion du rinçage avec celle du lavage car 3 élèves sur 4 ont rencontré cette difficulté et ont du mal à la surmonter lors du travail avec le logiciel. Cette confusion entre les deux notions nous montre que le lavage

semble avoir la même signification que le rinçage chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé. Ce n'est pas facile à surmonter cette difficulté pour les élèves car ils ne sont pas conscients de la différenciation de ces notions lors du travail avec le logiciel. Une des causes de cette difficulté peut être liée à la manière d'aborder la notion du rinçage dans le programme car il n'y a aucune recommandation dans le texte officiel pour les enseignants, même si cette opération est évaluée lors des TP expérimentaux du bac.

L'autre difficulté fréquemment rencontrée par les élèves est celle de ne pas rincer le matériel avant de l'utiliser. Cette difficulté est importante car presque la moitié des élèves l'ont rencontrée lors du travail de la construction du protocole expérimental. Malgré sa fréquence assez élevée, les élèves ont surmonté assez rapidement cette difficulté une fois qu'ils ont décodé le message d'erreur envoyé par le tuteur.

La troisième difficulté liée au contrat de la classe concerne la façon de diluer une solution mère. Si les élèves diluent une solution mère sans calculer la concentration à diluer, cela peut introduire des erreurs, comme le cas de notre expérimentation. Même si les enseignants conseillent fortement aux élèves de calculer la concentration de la solution à diluer avant la dilution, beaucoup d'élèves ne le font pas. Dans ce cas, les enseignants doivent prendre en compte l'existence de différentes manières de dilution chez ses élèves.

La quatrième difficulté liée au contrat de la classe concerne la sécurité dans le laboratoire en chimie. Même si la consultation de la fiche de sécurité des produits chimiques avec lesquels les élèves travaillent est recommandée par les concepteurs des TP, il s'avère qu'il existe des élèves qui la négligent. Pour ces élèves, la consultation des fiches de sécurité des produits chimiques ne fait pas partie de leur travail et peut-être qu'ils pensent que les concepteurs du TP doivent prendre les précautions pour eux.

Nous pouvons dire à partir des résultats obtenus que les hypothèses H2 et H3 ont été vérifiées.

H.2. : l'enseignement que les élèves ont suivi entraîne des difficultés lors de la construction du protocole expérimental

H.3. : le changement de la situation par rapport à la situation classique de la classe au cours de l'apprentissage concernant la construction d'un protocole expérimental entraîne des difficultés pour les élèves)

Ces six difficultés liées au contrat didactique sont importantes pour les enseignants car elles permettent de mettre en évidence les conséquences du contrat didactique concernant les concepts avec lesquels ils travaillent.

### **Difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation**

D'après les résultats que nous avons obtenus, nous avons constaté 3 difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation. Les deux de ces difficultés sont liées à la déportation de l'expérimentation en temps et l'autre est liée à la déportation de l'expérimentation en lieu.

Celle qui est liée au TP distant nous permet de dire que l'éloignement du matériel utilisé ne favorise pas la réflexion concernant son utilisation. Celle qui est liée à l'élaboration de protocole expérimental avant de faire la manipulation nous permet de dire que les allers-retours entre l'activité d'élaboration de protocole et l'acquisition des résultats expérimentaux peuvent entraîner des difficultés chez les élèves.

Il est nécessaire de souligner que ces deux difficultés rencontrées par les élèves sont liées d'une part à l'enseignement qu'ils ont suivi et d'autre part à la déportation de l'expérimentation.

## 8.2. Quelles sont les stratégies suivies par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ?

Dans cette partie, nous présentons les stratégies que les élèves ont suivies lors de la construction du protocole expérimental à la fois durant la préparation des solutions dans la deuxième étape du TP et lors de la mesure des absorbances des solutions préparées dans la troisième étape du TP. Ces stratégies n'induisent pas d'erreurs mais montrent la multiplicité de raisonnement.

### 8.2.1. Les choix opérés liés à la préparation des solutions de la gamme étalon

Dans cette partie de nos résultats, nous présentons les stratégies que les élèves ont suivies lors de la préparation des solutions de la gamme étalon.

Stratégies suivies	Corpus	Résultats	
		Nombre binômes	%
prendre en compte le volume maximum du matériel pour la dilution	traces logicielles	23/28	82
préparer autant de solutions que le nombre de tube	traces logicielles	8/28	29

Dans la consigne du TP, nous avons annoncé aux élèves que le robot dispose de 12 tubes au total pouvant contenir jusqu'à 5 mL de solution pour chaque manipulation. Cela correspond au matériel que les élèves peuvent utiliser durant leur travail avec le logiciel.

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles, nous pouvons dire que 23 binômes sur 28 (82%) ont préparé des solutions qui ont le volume maximum du matériel (5mL).

D'après les mêmes résultats, nous avons constaté que 8 binômes sur 28 (29%) ont préparé 12 solutions dans leur travail. Cela nous permet de dire que les élèves ont pris en compte le nombre maximum de tubes dans leur travail.

Nous donnons ci-dessous un extrait des élèves (M2 et M8) qui ont préparé 12 solutions ayant le volume maximum de 5 mL.

M2 & M8 parlent de la préparation des solutions	<p>M2 : préparation des solutions par dilution...</p> <p>M8 : nouvelle solution... fl</p> <p>M2 : non S comme solution et je mets des chiffres</p> <p>M8 : je prélève... attends attends il faut qu'on réfléchisse un peu là... en fait on en fait combien ?</p> <p>M2 : il faut faire 5 mL... les tubes peuvent contenir jusqu'à 5 mL et 12 tubes... on va faire 12 alors</p> <p>M8 : on fait ce qu'on veut, en fait....</p>
---	---

*Extrait de conversation des élèves (M8 et M2) sur le nombre de solutions à préparer et le volume maximum*



Comme nous l'avons expliqué dans notre analyse a priori, nous nous attendions à ce que les élèves utilisent tous les tubes et préparent des solutions qui ont le volume maximum du matériel (5mL). Ceci est un effet du contrat didactique qui ne produit pas d'erreurs. Le contrat implicite est le suivant : tous les matériels fournis doivent être utilisés.

D'après les résultats que nous venons de présenter sur les stratégies que les élèves ont suivies dans la deuxième étape du TP, nous pouvons définir un profil d'apprenant principal : **les élèves préparent autant de solutions que le nombre de tubes et prennent en compte le volume maximum du matériel durant son utilisation. Ils diluent la solution mère d'après la technique habituelle qu'ils utilisent en classe.**

Il est nécessaire de rappeler que nous avons défini ce profil d'apprenant d'après les résultats majoritaires des élèves lors du travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Ce profil d'apprenant est important car il permet de montrer à la fois aux enseignants et aux concepteurs de TP que les élèves ne procèdent pas toujours de la manière attendue dans la situation d'apprentissage, notamment si elle n'est pas habituelle.

Les enseignants doivent faire attention à la façon d'utiliser les caractéristiques des matériels dans la classe car cela peut conduire les élèves à effectuer le même type d'opérations même si ces opérations ne produisent pas d'erreur.

### 8.2.2. Les choix opérés liés à la mesure des absorbances des solutions préparées

Dans cette partie, nous présentons les stratégies que les élèves ont suivies lors de la mesure des absorbances des solutions préparées.

Stratégies suivies	Corpus	Résultats	
		Nombre binômes	%
Choisir les intervalles extrêmes du spectrophotomètre (190 et 1100 nm)	traces logicielles	11/28	39
Réaliser seulement les spectres pour toutes les solutions préparées	traces logicielles	16/28	57
D'abord réaliser un spectre pour décider la longueur d'onde ensuite mesurer les absorbances des solutions à cette longueur d'onde	traces logicielles	12/28	43
Réaliser les spectres et mesurer les absorbances pour toutes les solutions préparées	traces logicielles	0/28	0

#### A. Caractéristique du matériel utilisé

Comme nous avons défini les caractéristiques du spectrophotomètre dans la consigne, les élèves savaient que le spectrophotomètre dont ils disposent est mono-faisceau et que la cuve en quartz a un trajet optique de 1 cm. Dans cette consigne, nous ne sommes pas allés plus loin sur le spectrophotomètre car il existe une partie cours dédié à cet appareil dans le logiciel *Edu@ffix.net*. Dans cette partie, nous avons parlé de sa gamme de mesure qui couvre les spectres ultraviolet et visible : les mesures peuvent donc être effectuées entre 190 nm et 1100 nm.

D'après les historiques des actions effectuées par les élèves, nous avons constaté que 11 binômes sur 28 (39%) ont choisi les intervalles extrêmes du spectrophotomètre pour le spectre d'absorbance. Pour ces binômes nous pouvons dire que tous ont accédé à la partie cours où nous avons donné l'information à propos des intervalles extrêmes.

Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue des élèves avant qu'ils décident les intervalles du spectrophotomètre. Dans cet exemple, les élèves (M17 et M15) ont accédé à la partie cours « *spectrophotométrie* » et « *Educaffix* ». Ensuite ils ont réalisé 3 spectres d'absorbance entre ces intervalles pour les 3 solutions préparées.

M17 & M5 consultent la partie cours pour avoir plus d'informations sur le spectrophotomètre dont ils ont besoin	M17 & M5 consultent la partie « spectrophotométrie » et « Educaffix » M17 : alors nous savons qu'il couvre le spectre ultra violet et visible... c'est effectué entre 190 et 1100 nm M5 : je suis d'avis d'une chose, <b>on prend tout le spectre</b>
---	---

*Extrait de conversation des élèves (M17 et M15) sur les intervalles du spectrophotomètre*

Nous donnons également ci-dessous un autre extrait des élèves qui ont choisi les intervalles 190 et 1100 nm sans savoir pourquoi ils les ont choisis.

C18 & C25 parlent des résultats de la seizième évaluation	C18 : une erreur sur la gamme étalon et une erreur de rinçage... ok... tu supprimes... et on enregistre entre 190 et 1100 C25 : pourquoi tu as entré la longueur d'onde 190 et 1100 C18 : je sais pas c'était marqué 190 et 1100 ( <i>écrit dans le cours</i> )
---	---

*Extrait de conversation des élèves (C18 et C25) sur les intervalles du spectrophotomètre*

## **B. La façon de réaliser les mesures spectrophotométriques**

Dans la troisième étape du TP, les élèves doivent obtenir les points de la courbe étalon. Pour cela, ils utilisent le spectrophotomètre, réalisent des spectres et mesurent des absorbances. Comme nous l'avons expliqué dans les parties précédentes, lors de l'utilisation du spectrophotomètre, ils doivent d'abord enregistrer la ligne de base de l'appareil. Pour la suite, ils ont le choix de réaliser un spectre pour une solution, puis de déterminer la longueur d'onde de mesure à partir de ce spectre. Pour les autres solutions, il suffira de mesurer l'absorbance à la longueur d'onde de mesure. L'autre possibilité est de réaliser tous les spectres, puis de déduire la longueur d'onde de mesure lors du traitement des données.

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles, les élèves ont procédé des deux façons différentes décrites ci-dessus dans cette étape. Comme nous l'avons expliqué dans notre analyse *a priori*, nous attendions des élèves une autre stratégie : réaliser les spectres d'absorbance et mesurer les absorbances pour toutes les solutions préparées.

Selon les résultats, nous avons constaté que 16 binômes sur 28 (57%) n'ont réalisé que des spectres d'absorbance dans la troisième étape. 12 binômes sur 28 (43%) ont d'abord réalisé un spectre d'absorbance, ensuite mesuré les absorbances dans cette étape. Aucun binôme n'a suivi la troisième stratégie que nous avons envisagée. Cela peut être expliqué par le fait que cette stratégie n'est pas gagnante en terme temps de réalisation.

En ce qui concerne l'hypothèse H.4., nous pouvons dire que les stratégies les plus employées par les élèves sont les moins coûteuses en terme de réflexion. Par exemple, les élèves n'ont pas réalisé un spectre et une mesure d'absorbance pour chaque solution. De plus une petite majorité d'élèves a préféré enregistrer le spectre de chaque solution puis repousser la

réflexion sur le choix de la longueur d'onde à l'absorbance maximale à la place d'analyse des résultats. Une autre stratégie employée dans une faible proportion est celle vu dans leur enseignement : ils ont préparé autant de solution que le nombre de tubes disponibles.

Ces informations peuvent être importantes pour les enseignants voulant concevoir un TP dans un EIAH car comme nous l'avons vu dans les résultats ci-dessus, si les élèves n'ont pas assez d'informations sur les appareils à utiliser, ils les cherchent dans la partie théorique du logiciel et les utilisent lors de leur travail. Nous pouvons donc dire qu'il vaut mieux dédier une partie d'explication sur les appareils utilisés dans un EIAH. Il est nécessaire de rappeler aux enseignants voulant concevoir un TP dans un EIAH qu'il faut laisser la possibilité aux élèves d'effectuer ou non la mesure d'absorbance lors de la mesure spectrophotométrique comme dans cette étape-là.

### **8.3. Quelle utilisation du tuteur est faite par les élèves lors de la construction du protocole expérimental ?**

Dans cette partie, nous présentons les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles concernant l'utilisation du tuteur par les élèves lors de la construction du protocole expérimental. D'abord nous tentons de répondre à la question suivante : comment les élèves utilisent-ils le bouton « évaluer » dans leur travail ? Ensuite nous répondons à la question : que font les élèves après l'intervention du tuteur ?

#### **8.3.1. Comment les élèves utilisent-ils le bouton « évaluer » dans leur travail ?**

Comme nous l'avons envisagé dans la partie analyse *a priori*, nous avons rencontré 3 types d'utilisation du bouton « évaluer » lors du travail par les élèves. Dans la première catégorie, les élèves ont utilisé le bouton « évaluer » à la fin de leur travail. Dans la deuxième catégorie, les élèves ont utilisé le bouton « évaluer » à la fin de chaque étape. Dans la troisième catégorie, ils ont utilisé ce bouton très souvent, après chaque action ajoutée ou après avoir ajouté un même type d'actions plusieurs fois pour vérifier la justesse d'actions dans leur cahier du laboratoire. Même si le tuteur ne corrige pas une erreur commise, ils profitent de l'explication du tuteur et de la liste d'erreur affichée dans la partie correspondante.

Grâce aux historiques des actions des élèves, nous avons catégorisé l'utilisation de ce bouton binôme par binôme. D'abord nous avons pris en compte le moment où ils ont utilisé pour la première fois ce bouton. Ensuite nous avons cherché la deuxième demande d'évaluation pour décider quand ils utilisent ce bouton dans leur travail.

Par exemple, pour la première catégorie (utiliser le bouton à la fin du TP), nous n'avons pas rencontré de difficultés pour identifier les binômes de cette catégorie car les élèves ont ajouté plusieurs actions dans les diverses étapes avant d'évaluer leur protocole. Pour la deuxième catégorie, nous avons comparé les deux premières évaluations, si c'est nécessaire la troisième et quatrième, pour identifier le binôme car une fois qu'ils pensent que l'étape est terminée, les élèves ont utilisé le bouton « évaluer ». Pour la troisième catégorie, les élèves ont utilisé le bouton « évaluer » très fréquemment dans leur travail par rapport aux deux autres catégories.

Nous donnons ci-dessous un exemple d'utilisation du bouton « évaluer » pour montrer comment nous avons catégorisé le type d'utilisation de ce bouton à partir des traces logicielles.

Étape	Action	Matériel	Nom solution	Sol. mère	Solv .	V <sub>P</sub>	V <sub>T</sub>	λ <sub>min</sub>	λ <sub>max</sub>
	Connexion								
1	sélection		eau						
1	sélection		E124						
1	sélection		sirop						
	consultation FS		E124						
	consultation FS		eau						
	évaluation								
2	préparation		S1	E124	eau	0,5	5		
2	préparation		S2	E124	eau	1	5		
2	préparation		S3	E124	eau	1,5	5		
	évaluation								
2	homogénéisation		S1						
2	homogénéisation		S2						
2	homogénéisation		S3						
	évaluation								
2	rinçage	aiguille	eau						
	évaluation								
2	Suppression rinçage	aiguille	eau						
2	rinçage	aiguille	E124						
	évaluation								
2	rinçage	aiguille	E124						
2	rinçage	aiguille	E124						
	évaluation								

Tableau 24 : Exemple d'un binôme qui utilise le bouton « évaluer » très fréquemment

Soulignons qu'il s'agit d'un fichier correspondant à ce que nous avons appelé « les traces logicielles », à partir duquel nous avons obtenu des informations sur l'utilisation du bouton « évaluer ». Comme nous le voyons dans les historiques des actions de ce binôme, il commence d'abord par sélectionner les produits nécessaires. Après avoir consulté les deux fiches de sécurité des produits sélectionnés il évalue pour la première fois son cahier du laboratoire car il n'y a pas de difficulté. Dans la deuxième étape, après avoir préparé 3 solutions (S1, S2, S3) il évalue son cahier du laboratoire afin de vérifier un groupe d'actions identiques. Et puis il ajoute un rinçage dans son cahier du laboratoire et pour vérifier l'exactitude de ce rinçage il utilise encore une fois le bouton « évaluer ». Il continue à utiliser ce bouton très fréquemment. Il avance pas à pas après la première évaluation et il ne semble pas certain de lui.

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des traces logicielles, nous avons constaté que 9 binômes sur 28 (32%) l'ont utilisé à la fin du TP et 7 binômes sur 28 (25%) l'ont utilisé seulement à la fin de chaque étape. 12 binômes sur 28 (43%) ont utilisé le bouton

« évaluer » après qu'ils ont ajouté une action ou un groupe d'actions dans leur cahier de laboratoire.

Le nombre d'utilisation du bouton « évaluer » est compris entre 8 et 36 fois par binôme lors du travail avec le logiciel. Ceci signifie qu'un binôme a utilisé ce bouton au moins 8 fois et au maximum 36 fois tout au long du travail avec le logiciel. La moyenne d'utilisation de ce bouton par binôme est de 21(588/28) fois lors du travail avec le logiciel.

Nous donnons dans le tableau ci-dessous les résultats sur l'utilisation du bouton « évaluer » étape par étape avec la moyenne.

Étape	Nombre minimum d'utilisation du bouton « évaluer » par binôme	Nombre maximum d'utilisation du bouton « évaluer » par binôme	Nombre total d'utilisation du bouton « évaluer »	Moyenne d'utilisation du bouton « évaluer » par binôme
1	0	2	10	0,3
2	2	21	251	9
3	1	23	210	7
4	0	9	68	2
5	0	8	49	2

Tableau 25 : Utilisation du bouton « évaluer » par les élèves

D'après les historiques des actions effectuées par les élèves, nous avons constaté que 21 binômes sur 28 (75%) n'ont pas utilisé le bouton « évaluer » dans la première étape du TP. Cela nous permet de dire que 3 binômes sur 4 sont conscients des produits chimiques nécessaires pour le TP et ne jugent pas utile de vérifier les produits sélectionnés.

Dans la deuxième étape, les élèves ont utilisé ce bouton entre 2 et 21 fois par binôme. Même s'il existe des binômes ayant évalué leur protocole expérimental pour la première fois à la fin de leur travail, ils ont utilisé le bouton « évaluer » au moins 2 fois après la première intervention du tuteur pour corriger l(es) erreur(s) commis(es). La moyenne d'utilisation pour cette étape est de 9 (251/28) fois et cette moyenne est la plus élevée par rapport aux autres étapes. Cette utilisation très fréquente peut être liée au nombre de difficultés rencontrés dans cette étape telle que les conceptions des élèves, le contrat de la classe.

Dans la troisième étape, ils ont évalué leur protocole entre 1 et 23 fois par binôme. La moyenne est de 7 (210/28) fois dans cette étape. Dans ce cas, nous pouvons dire que l'utilisation du bouton « évaluer » est liée au nombre de difficultés rencontrés.

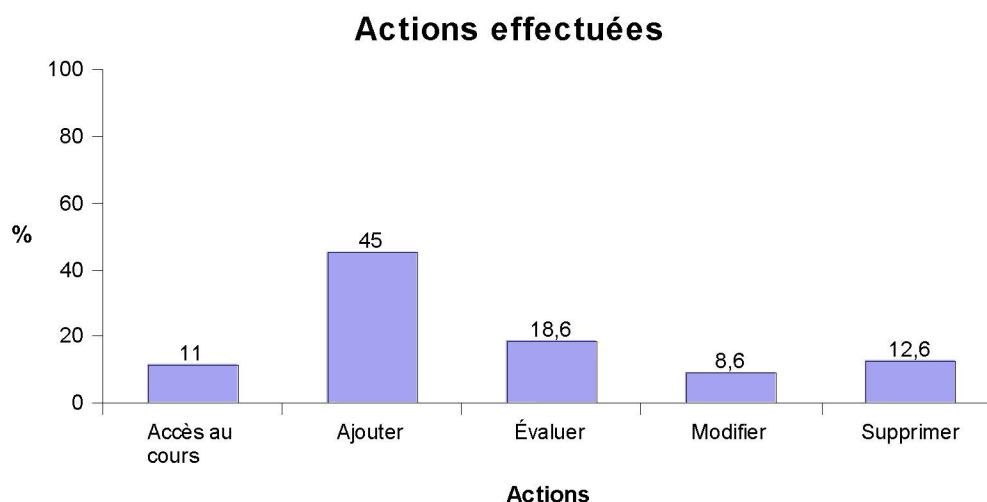
Dans la quatrième étape, la moyenne d'utilisation est faible, 2 (68/28) fois par binôme et 25% des binômes n'ont jamais évalué leur protocole dans cette étape.

Quant à la cinquième étape, 46% des binômes n'ont pas utilisé ce bouton dans cette étape. La diminution de l'utilisation du bouton « évaluer » de la deuxième étape à la cinquième étape peut être expliquée du fait que 14 binômes sur 28 (50%) n'ont rien ajouté comme action dans la dernière étape du TP et que le temps n'a pas été suffisant afin d'accomplir la tâche demandée.

Nous pouvons dire que la majorité des élèves avec lesquels nous avons travaillé préfèrent utiliser le bouton « évaluer » pour vérifier l'exactitude de l'action ajoutée dans leur cahier de laboratoire et l'utilisent 9 fois en moyenne dans la deuxième étape du TP où ils ont utilisé ce bouton le plus fréquemment par rapport aux autres étapes lors du travail avec le logiciel.

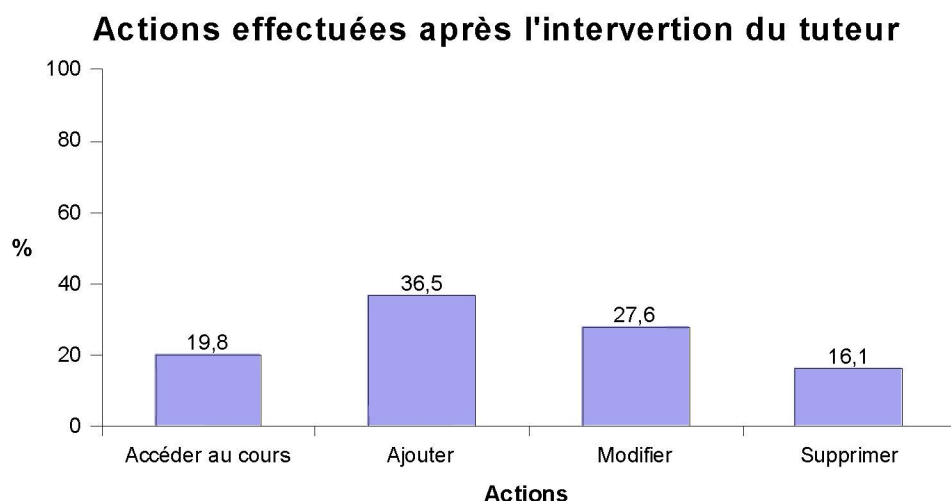
### 8.3.2. Que font les élèves après l'intervention du tuteur ?

D'après les résultats que nous avons obtenus à partir des historiques des actions des élèves, les opérations effectuées par les élèves, telles que modifier, ajouter, supprimer une action dans le cahier du laboratoire, accéder à la partie cours et évaluer le protocole sont au total de 3166. La moyenne d'opération effectuée par un binôme lors du travail est de 113 (3166/28) opérations. Parmi ce nombre d'opérations effectuées, 28 binômes ont utilisé au total 588 fois le bouton « évaluer » ce qui correspond à 18,6% des opérations effectuées. 45% des opérations effectuées concernent « ajouter une action ». « Ajouter une action » peut être une préparation, une homogénéisation d'une solution, un rinçage du matériel, une réalisation d'un spectre et une mesure l'absorbance d'une solution préparée. 11% des opérations effectuées sont dédiées à l'accès au cours à la fois depuis l'onglet « cours » et depuis le bouton « évaluer ». 21,2% (12,6+8,6) des actions effectuées sont des actions modifiées et supprimées par les élèves comme nous le voyons dans le tableau ci-dessous. D'après ces résultats concernant l'utilisation des divers boutons sur l'interface du logiciel, nous pouvons dire que les élèves utilisent le bouton « évaluer » plus qu'accéder au cours et presque autant que remédier les erreurs commises.



*Tableau 26 : Opérations effectuées par les élèves lors de l'utilisation du logiciel Educ@ffix.net*

Suite à l'utilisation du bouton « évaluer », les élèves reçoivent des informations sur l'état d'avancement de leur travail sous la forme d'images et les messages d'erreurs sous la forme de textes. Il existe 4 types d'opérations effectuées après l'intervention du tuteur telle que ajouter, modifier, supprimer une action et accéder à la partie cours qui est conseillée par le tuteur. Nous présentons dans le tableau ci-dessous les résultats sur les opérations effectuées par les élèves juste après l'intervention du tuteur.



*Tableau 27 : Opérations effectuées par les élèves après l'intervention du tuteur dans le logiciel Educ@ffix.net*

D'après les résultats obtenus à partir des traces logicielles, nous pouvons dire que 36,5% des opérations effectuées après l'intervention du tuteur sont dédiées à « *ajouter une action* » dans le cahier du laboratoire. Dans ce travail, nous n'avons pas recherché si l'action ajoutée était pertinente. Par contre, nous pouvons dire que 43,7% (27,6+16,1) des opérations effectuées avant l'intervention du tuteur ne sont pas exactes car les élèves ont modifié ou supprimé ces actions.

### **Accès au cours**

Nous pouvons dire d'après nos résultats que 1 binôme sur 5 a accédé à la partie cours pour avoir plus d'informations sur les concepts mis en jeu à la fois théoriques et pratiques. En moyenne les élèves ont accédé 5 fois au cours depuis le tuteur : 2 accès correspondent à la partie théorique, 3 accès correspondent à la partie pratique. Nous profitons de ce paragraphe pour donner quelques résultats de l'accès direct au cours sans passer par le tuteur. Dans ce cas, nous avons constaté 7 accès en moyenne au cours dont 5 pour la partie théorique, 2 pour la partie pratique.

Finalement nous pouvons dire sur l'utilisation du tuteur par les élèves lors de la construction du protocole expérimentale que :

- les élèves évaluent leur protocole 9 fois en moyenne
- la plupart des élèves évalue leur protocole très fréquemment
- ils accèdent à la partie cours depuis le bouton « évaluer »
- la plupart des accès réalisés depuis le bouton « évaluer » sont destinés à la partie pratique, alors que les accès direct au cours concernent majoritairement la partie théorique
- ils modifient les actions ajoutées 10 fois en moyenne
- ils suppriment les actions ajoutées 14 fois en moyenne

- parmi les actions modifiées par les élèves au cours de l'utilisation du logiciel telle que rinçage, spectro, solution de référence, mesure l'absorbance, homogénéisation, c'est le rinçage qui correspond à la plus grande partie de ces actions modifiées (79%)
- parmi les actions supprimées par les élèves au cours de l'utilisation du logiciel, le rinçage (37%) et la solution de référence (15%) correspondent à la moitié de ces actions supprimées.



# CHAPITRE 9. RESULTATS SUR L'APPRENTISSAGE

## 9.1. Quelles sont les connaissances théoriques des élèves sur les notions en jeu et leurs évolutions ?

Dans cette partie, nous présentons les connaissances théoriques des élèves sur les notions en jeu et leurs évolutions. D'abord nous présentons les résultats du pré-test, connaissance par connaissance, pour mettre en évidence l'état des connaissances théoriques des élèves avant l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Ensuite nous présentons l'évolution des connaissances théoriques entre pré et post-test. Enfin nous rechercherons des informations dans l'expérimentation avec le logiciel pour savoir si les accès effectués par les élèves à la partie cours théorique lors de l'expérimentation les aident de façon positive concernant l'évolution des connaissances théoriques.

Il est nécessaire de rappeler que nous avons travaillé avec 56 élèves au pré-test et 49 élèves au post-test. Nous avons pris en compte les 49 élèves lors de l'évolution des connaissances théoriques à la fois au pré-test et au post-test. Nous n'avons donc pas pris en compte les 7 élèves absents au post-test.

### I. Résultat Global

Nous présentons le nombre des réponses correctes des élèves pour chaque connaissance théorique dans le tableau ci-dessous.

Connaissance Théorique	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
T1 (concentration)	40/49	77	43/49	88
T2 (homogénéité)	35/49	71	37/49	76
T3 (longueur d'onde)	41/49	84	45/49	92
T4 (spectre d'absorbance)	39/49	79	40/49	82
T5 (loi Beer-Lambert)	32/49	65	38/49	78
T6 (additivité des absorbances)	26/49	53	34/49	69
T7 (absorbance)	37/49	76	37/49	76

Tableau 28 : Réponses correctes des élèves aux questions QT1, QT2a, QT3, QT4b, QT5b, QT6, QT7 au pré-test et post-test

Les élèves avec lesquels nous avons travaillé maîtrisent majoritairement la plupart des connaissances théoriques avant l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*, comme nous

pouvons voir dans le tableau ci-dessus. Ceci est un accord avec une partie de l'hypothèse formulée, à savoir que le travail de construction de protocole expérimental, pour les élèves possédant des connaissances théoriques sur les notions en jeu leurs permet de construire des connaissances procédurales. Nous verrons dans la partie suivante le détail des réponses données par les élèves pour chaque question du questionnaire.

Une autre information donnée par ce tableau concerne l'évolution des connaissances théoriques. Globalement, les résultats montrent qu'il existe une petite évolution des connaissances entre le pré-test et post-test.

Nous abordons l'évolution des connaissances théoriques en utilisant les graphiques ci-dessous. Ces graphiques ont été construits selon les possibilités d'évolution des réponses des élèves. Ils nous permettront d'évaluer l'évolution élève par élève et non plus globalement.

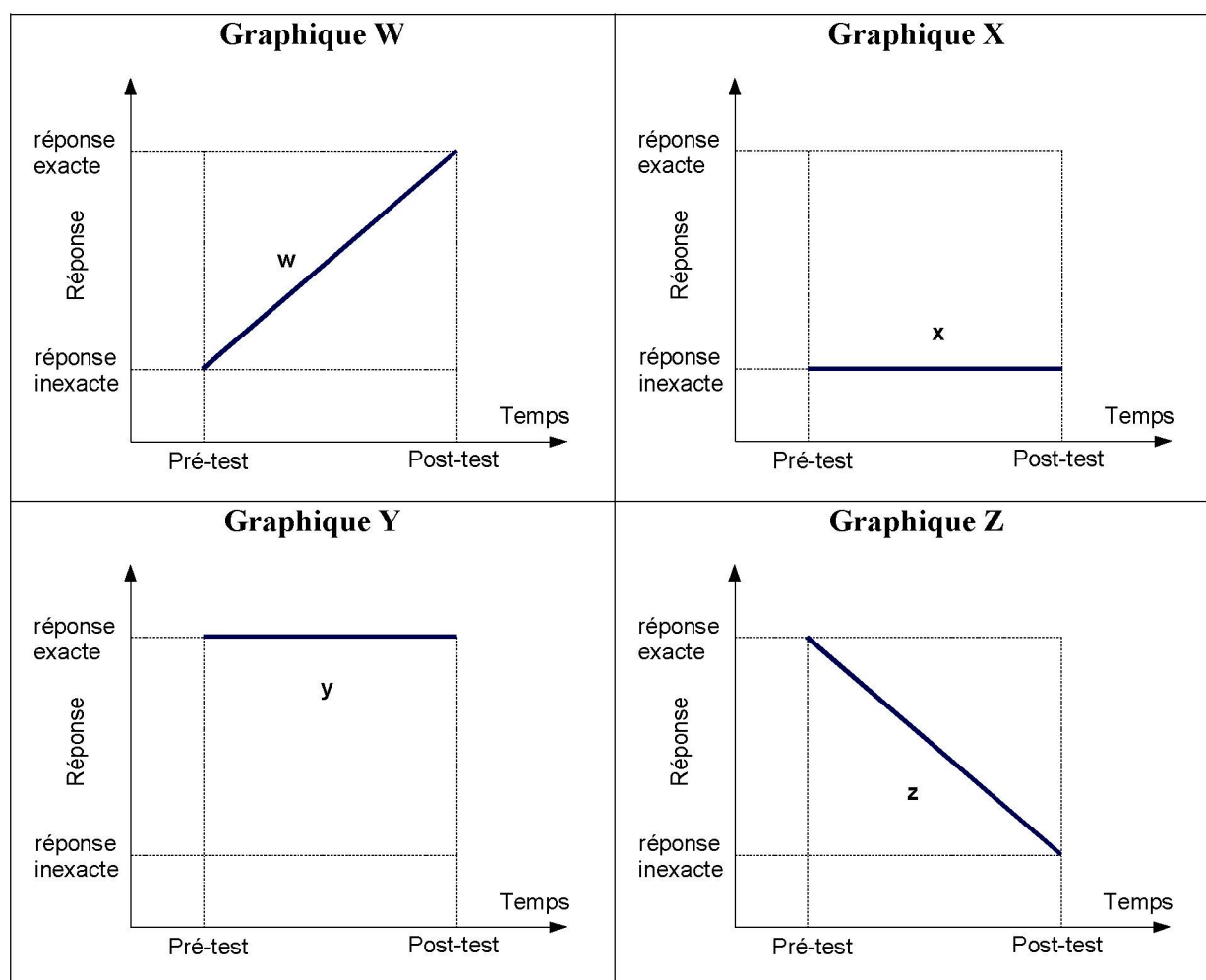


Figure 23 : Graphiques employés pour caractériser l'évolution des connaissances théoriques

Nous avons abordé l'évolution des connaissances théoriques de façon individuelle pour chaque élève. L'avantage d'aborder l'évolution des connaissances théoriques de cette façon nous permet de constater l'évolution des connaissances théoriques individuellement chez les élèves au lieu de prendre en compte la moyenne des résultats de tous les élèves.

Le graphique W signifie que l'élève n'a pas répondu correctement à la question concernée au pré-test et il a répondu correctement au post-test, ce qui nous permet de dire qu'il s'agit d'une évolution positive de cette connaissance théorique du pré-test au post-test chez l'élève. Pour le graphique Y, nous pouvons dire que cette connaissance théorique est acquise dès le pré-test

par l'élève et maîtrisée aussi au post-test. Concernant le graphique X, nous pouvons dire que la connaissance théorique concernée n'est pas acquise non seulement au pré-test mais également au post-test. Le graphique Z correspond à l'élève qui a répondu correctement à la question concernée au pré-test mais il a répondu de façon inexacte au post-test, à savoir l'évolution négative.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous les résultats concernant l'évolution des connaissances théoriques de chaque élève, en utilisant les graphiques W à Z.

Connaissance Théorique	Graphique w (acquisition connaissance entre pré et post-test)		Graphique x (connaissance non acquise pré et post-test)		Graphique y (connaissance acquise pré et post-test)		Graphique z (connaissance acquise pré/non acquise au post-test)	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T1 (concentration)	6/49	12	3/49	6	37/49	76	3/49	6
T2 (homogénéité)	7/49	14	7/49	14	30/49	61	5/49	10
T3 (longueur d'onde)	5/49	10	3/49	6	40/49	82	1/49	2
T4 (spectre d'absorbance)	6/49	12	4/49	8	34/49	69	5/49	10
T5 (loi Beer-Lambert)	9/49	18	8/49	16	29/49	59	3/49	6
T6 (additivité des absorbances)	9/49	18	14/49	29	25/49	51	1/49	2
T7 (absorbance)	4/49	8	8/49	16	33/49	67	4/49	8

*Tableau 29 : Evolution de chaque connaissance théorique entre les pré et post-tests*

De façon générale, nous pouvons parler d'une petite évolution positive pour la plupart des connaissances théoriques parce qu'entre 8 et 18% des élèves ont fait évoluer de manière positive leurs connaissances théoriques.

Nous discuterons de façon détaillée l'évolution individuelle des élèves pour chaque connaissance dans la présentation des résultats détaillés.

## II. Résultats Détaillés

### 9.1.1. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T1

#### 9.1.1.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T1

*Connaissance théorique (T1) : concentration molaire ;  $C=n/V$ .*

Dans notre questionnaire, nous avons posé aux élèves une question ouverte (QT1) concernant la connaissance théorique T1 pour savoir s'ils sont capables d'utiliser la formule de la concentration molaire pour calculer la concentration d'une solution aqueuse. Dans cette question, nous leur avons demandé de calculer la concentration molaire de 400 mL d'une solution de diiode préparée à partir de 12 mmol de cristaux de diiode.

Nous présentons dans le tableau ci-dessous les réponses des élèves avec les pourcentages correspondants. Dans tous les tableaux, similaires à celui-ci, nous présenterons toujours la réponse des élèves la plus citée au début du tableau et la réponse exacte en italique et souligné.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
<i><u>0,03</u></i>	<i><u>40/49</u></i>	<i><u>77</u></i>	<i><u>43/49</u></i>	<i><u>88</u></i>
3	2/49	4	0/49	0
0,3	2/49	4	1/49	2
0,0048	1/49	2	3/49	6
0,00048	1/49	2	0/49	0
0,06	1/49	2	1/49	2
0,01	1/49	2	0/49	0
ne sait pas	1/49	2	1/49	2

*Tableau 30 : Réponses des élèves à la question sur la concentration molaire (QT1) au pré et post-test*

D'après les résultats du pré-test, 40 élèves sur 49 (77%) ont calculé correctement la concentration molaire de la solution de diiode en trouvant  $0,03 \text{ mol.L}^{-1}$ . Nous avons trouvé 6 concentrations différentes dans leurs réponses inexactes au pré-test. Nous avons constaté deux types d'erreurs principales dans l'utilisation de la formule de la concentration molaire. Dans le premier type d'erreur, 2 élèves sur 49 ont utilisé la formule de concentration molaire comme ceci :  $C = n \times V$  (réponses 0,0048, 0,00048). Dans le deuxième type d'erreur, 4 élèves sur 49 (8%) ont mal maîtrisé la puissance de 10 lors du calcul algébrique (réponses 3 et 0,3).

D'après les résultats du pré-test, nous avons constaté que la plupart des élèves sont capables d'utiliser la formule de concentration molaire pour trouver la concentration demandée avant le travail de la construction du protocole expérimental avec le logiciel.

Quant aux résultats du post-test, nous avons constaté une faible augmentation de la bonne réponse (de 77% à 88%) et également une diminution de la difficulté liée à la puissance 10 dans les réponses des élèves (de 8% à 2%).

### 9.1.1.2. Evolution de la connaissance théorique T1

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T1 (concentration)	6/49	12	3/49	6	37/49	76	3/49	6

Quant à l'évolution individuelle de cette connaissance théorique chez les élèves, du pré-test au post-test (comparaison C1), nous avons constaté que 37 élèves sur 49 (76%) ont répondu correctement à la question QT1 à la fois dans le pré-test et le post-test comme montre le graphique Y, ce qui correspond à l'acquisition de la connaissance concernée dans les deux cas.

Nous avons constaté, à partir de la comparaison individuelle des réponses des élèves, que 6 élèves sur 49 (12%) ont fait évoluer leurs réponses à la question QT1 dans le post-test par rapport au pré-test (graphique W). L'analyse des résultats pour chaque élève nous a également montré que parmi les 6 élèves correspondant au graphique W, 3 élèves avaient commis une erreur de calcul (puissance 10) et l'ont corrigée au post-test. Pour ces 6 élèves (12%), ayant fait évaluer cette connaissance théorique de façon positive, nous avons analysé leurs actions effectuées lors de l'utilisation du logiciel *Educ@ffix.net*, notamment l'accès à la partie cours concernant la « dilution » où ils peuvent trouver des informations sur la notion de concentration molaire (T1).

A partir des traces logicielles nous avons constaté que, parmi les 6 élèves, 4 élèves ont accédé au moins une fois à la partie « dilution » en utilisant l'onglet cours, ce qui signifie que cet accès est décidé par l'élève et n'est pas conseillé par le tuteur artificiel. D'après les brouillons récupérés nous avons constaté que, parmi les 6 élèves, 3 ont calculé correctement la concentration de la solution à diluer lors de la deuxième étape du TP. Pour le reste nous n'avons trouvé aucun calcul algébrique dans leurs brouillons, à savoir que ceci ne signifie pas qu'ils ont fait faux lors de la deuxième étape du TP.

Les résultats que nous venons de montrer nous permettent de dire que 4 élèves ayant accédé à la partie « dilution » ont fait évoluer leur connaissance théorique T1.

## 9.1.2. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T2

### 9.1.2.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T2

*Connaissance théorique (T2) : homogénéité ; la valeur de la concentration est identique en toute partie d'un volume.*

Nous avons posé aux élèves deux questions sur la notion de solution homogène et celle d'homogénéisation dans le questionnaire. Dans la première question ouverte (QT2), nous leur avons demandé de définir une solution homogène. Dans la deuxième question (QP1), nous avons demandé de choisir la solution homogène parmi les deux présentations schématiques et d'expliquer comment on peut avoir une solution homogène à partir d'une solution non-homogène.

La définition attendue pour la première question (QT2) est de prendre en compte la notion de concentration au niveau microscopique telle que nous l'avons définie ci-dessus. Les réponses des élèves à la première question au pré-test étaient très variées en fonction de la formulation de leurs idées sur la définition d'une solution homogène. Etant donné que cette question était ouverte, nous sommes obligés de regrouper leurs réponses par catégories pour pouvoir

analyser et décider s'ils connaissent la notion d'homogénéité. Nous avons divisé leurs réponses en les quatre catégories suivantes :

- (1) élèves qui ont parlé de la notion de concentration (microscopique)
- (2) élèves qui ont parlé de la notion de phase (macroscopique)
- (3) élèves qui ont parlé de la notion de mélange sans parler de la notion de concentration
- (4) élèves qui ont coché la case « *ne sait pas* ».

Pour montrer comment nous les avons catégorisées, nous donnons dans le tableau ci-dessous 3 exemples correspondant à chaque catégorie citée ci-dessus.

Catégories	Définitions	Exemples de réponses
notion de concentration	la valeur de la concentration est identique en toute partie d'un volume (Niveau microscopique)	une solution où la concentration est la même partout
notion de phase (solide/liquide, liquide/liquide)	une solution où il n'y a qu'une phase (une solution dont on ne distingue pas les constituants à l'œil nu / où il n'y a pas ni de précipité, ni de solide / où toutes les espèces sont dissoutes) (Niveau macroscopique)	une solution homogène est une solution dont tous les réactifs fusionnent et se confondent, il n'y a pas de distinction de phase
notion de mélange sans notion de concentration	une solution bien mélangée	c'est une solution où toutes les espèces chimiques la composant se mélangent parfaitement entre elles

Tableau 31 : Catégorisation des réponses à la question QT2

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
<u>notion de phase</u>	<u>29/49</u>	<u>59</u>	<u>26/49</u>	<u>53</u>
notion de mélange sans notion de concentration	9/49	18	7/49	14
<u>notion de concentration</u>	<u>6/49</u>	<u>12</u>	<u>11/49</u>	<u>23</u>
ne sait pas	5/49	10	5/49	10

Tableau 32 : Réponses des élèves à la question sur l'homogénéité (QT2) au pré et post-test

Comme nous pouvons voir dans le tableau ci-dessus, d'après les résultats du pré-test seulement 6 élèves sur 49 (12%) ont pris en compte la notion de concentration dans leur définition. 29 élèves sur 49 (59%) ont pris en compte la notion de phase. Etant donné que cette question était ouverte et que nous n'avions pas posé cette question de façon détaillée, nous avons pris en compte ces deux réponses comme exactes même si la réponse impliquant la notion de concentration nous semble plus précise.

Nous aurions peut-être dû poser cette question sous la forme de QCM en proposant trois catégories différentes, comme ci-dessus, afin de savoir vraiment ce que les élèves pensent de la notion d'homogénéité.

Comme dans le cas du pré-test, les réponses au post-test sont majoritairement au niveau macroscopique. Cependant, il y a d'avantage de réponse au niveau microscopique. Il y a 5 élèves sur 49 (10%) qui n'ont toujours pas répondu à cette question à la fois au pré-test et au post-test.

A partir de ces résultats nous avons constaté que la plupart des élèves ne prennent pas en compte la notion de concentration pour définir spontanément une solution homogène. Nous avons alors pris en compte leurs réponses données à la première partie de la deuxième question (QP1) sur cette notion pour décider s'ils connaissent la notion d'homogénéité. La réponse attendue à la première partie de la deuxième question (QP1) sur cette notion est de choisir la représentation schématique B parce que cette solution contient des particules solides dissoutes ayant la même distance entre elles. Le tableau ci-dessous résume les résultats obtenus.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
<u>B</u>	<u>45/49</u>	<u>92</u>	<u>47/49</u>	<u>96</u>
A	3/49	6	2/49	4
ne sait pas	1/49	2	0/49	0

Tableau 33 : Réponses des élèves à la question sur l'homogénéisation (QP1) au pré et post-test

A partir des résultats du pré-test sur cette notion (T2), nous avons constaté que presque la totalité des élèves sont capables de choisir une solution homogène parmi les représentations schématiques car 45 élèves sur 49 (92%) ont répondu correctement à cette question. Au post-test, il y a globalement 2 réponses correctes supplémentaires.

D'après ces résultats, nous pouvons dire que les élèves connaissent la notion de solution homogène dès le pré-test. Même si leurs réponses spontanées se sont situées au niveau macroscopique (notion de phase), une représentation proposée au niveau du microscopique nous a permis de vérifier qu'ils connaissent cette notion théorique.

### 9.1.2.2. Evolution de la connaissance théorique T2

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T2 (homogénéité)	7/49	14	7/49	14	30/49	61	5/49	10

Si nous comparons les réponses des élèves à la question sur l'homogénéité (QT2), nous ne pouvons pas vraiment parler d'une évolution parce que les nombres d'élèves ayant répondu de façon exacte sont très proches. La seule remarque que nous pouvons faire sur cette notion est la diminution de la manière de définir une solution homogène au niveau macroscopique et l'augmentation de la définition ayant pris en compte la notion de concentration dans le post-test.

D'après l'analyse individuelle de la réponse de chaque élève à la question (QT2) sur l'homogénéité (comparaison C1), nous avons constaté que 30 élèves sur 49 (61%) ont répondu correctement à la fois au pré-test et au post-test (graphique Y).

7 élèves sur 49 (14%) n'ont pas répondu correctement à cette question au pré-test mais ils ont répondu de façon correcte au post-test ce qui correspond au graphique W. Il y a 7 élèves sur 49 (14%) qui n'ont pas répondu correctement non seulement au pré-test mais également au post-test (graphique X).

Nous avons trouvé 5 élèves sur 49 (10%) ayant répondu correctement à la question concernée au pré-test qui n'ont pas répondu de façon exacte au post-test.

Grâce aux traces logicielles, nous avons constaté que, parmi les 7 élèves ayant fait évoluer leur connaissance théorique T2 de façon positive, 3 élèves ont accédé une fois au cours concernant l'« *homogénéisation* » après avoir reçu un message d'erreur lié à cette notion.

D'après ces résultats, nous pouvons dire qu'il s'agit d'une évolution assez significative concernant la connaissance théorique T2 parce que 7 élèves l'ont faite évoluer.

### 9.1.3. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T3

#### 9.1.3.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T3

*Connaissance théorique (T3) : longueur d'onde ; grandeur caractéristique de la couleur d'une solution (absorbant dans le visible) / caractéristique de l'énergie d'une lumière (dans un milieu défini)*

Dans le questionnaire, nous avons posé une question ouverte (QT3) « *qu'est-ce qui caractérise deux radiations monochromatiques différentes ?* » ayant pour but de savoir si les élèves connaissent la notion de longueur d'onde telle que nous l'avons définie ci-dessus. La réponse attendue pour cette question était d'utiliser le terme longueur d'onde ou couleur car ces derniers caractérisent deux radiations monochromatiques.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
<i>longueur d'onde</i>	<u>39/49</u>	<u>80</u>	<u>41/49</u>	<u>84</u>
ne sait pas	6/49	12	2/49	4
<i>couleur</i>	<u>2/49</u>	<u>4</u>	<u>4/49</u>	<u>8</u>
fréquence	1/49	2	1/49	2
domaine d'absorbance	1/49	2	1/49	2

Tableau 34 : Réponses des élèves à la question sur la longueur d'onde (QT3) au pré et post-test

D'après les résultats du pré-test, les élèves ont répondu de façon très majoritaire en utilisant les termes attendus. Parmi les deux termes, la notion de longueur d'onde est celle employée majoritairement alors que très peu utilisent le terme de couleur. Nous avons trouvé deux termes inexacts dans les réponses des élèves au pré-test, ceux de fréquence et domaine d'absorbance.

D'après les réponses des élèves à cette question au pré-test, nous pouvons donc dire que la grande majorité des élèves connaît déjà la notion de longueur d'onde avant l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*.



Le post-test montre des résultats très proches de ceux du pré-test. Nous avons constaté qu'il s'agit d'une diminution des élèves qui ne savaient pas la réponse au pré-test et d'une petite augmentation de bonnes réponses pour les deux termes.

### 9.1.3.2. Evolution de la connaissance théorique T3

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves.	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T3 (longueur d'onde)	5/49	10	3/49	6	40/49	82	1/49	2

Quant à l'évolution individuelle de cette connaissance théorique du pré-test au post-test (comparaison C1), nous pouvons dire que 5 élèves sur 49 (10%) ont fait évoluer leur connaissance théorique T3 selon le graphique W.

Les accès réalisés à la partie cours, concernant les « *principes physiques du spectrophotomètre* » où les élèves peuvent trouver l'information sur la caractéristique de la longueur d'onde, nous ont permis de constater que, parmi les 5 élèves, 4 ont accédé à cette partie avant l'intervention du tuteur lors de l'utilisation du logiciel.

D'après ces résultats nous pouvons dire qu'il s'agit d'une évolution significative de cette connaissance théorique parce que 5 élèves ont fait évoluer leur connaissance théorique T3. Ils ont peut-être progressé grâce à l'accès au cours disponible dans le logiciel.

### 9.1.4. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T4

#### 9.1.4.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T4

*Connaissance théorique (T4) : spectre d'absorbance ; l'absorbance d'un composé varie de manière non aléatoire avec la longueur d'onde. Cela définit un spectre d'absorbance*

Nous avons posé trois questions sur la notion de spectre d'absorbance dans notre questionnaire. La réponse attendue à la première question (QT4a) est de confirmer que l'absorbance d'une solution colorée dépend de la longueur d'onde. La réponse attendue à la deuxième question (QT4b) est de nommer le graphique d'absorbance en fonction de la longueur d'onde comme spectre d'absorbance. La réponse attendue à la troisième question (QT4c) qui a été présente seulement au post-test est d'infirmer que l'absorbance d'une solution de colorant E124 est la même quelle que soit la longueur d'onde.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
<i>vrai</i>	<u>40/49</u>	<u>82</u>	<u>46/49</u>	<u>94</u>
faux	7/49	14	2/49	4
ne sait pas	2/49	4	1/49	2

Tableau 35 : Réponses des élèves à la question sur le spectre d'absorbance (QT4a) au pré et post-test

Les réponses des élèves à la première question sur cette notion nous permettent de dire que la plupart des élèves connaissent la notion de spectre d'absorbance dès le pré-test parce que 40 élèves sur 49 (82%) ont répondu correctement.

Dans le post-test, d'avantage d'élèves ont répondu correctement. Parmi les 6 élèves supplémentaires ayant répondu correctement au post-test par rapport au pré-test, nous pouvons dire que 2 élèves n'ont pas répondu de façon exacte et 1 élève n'a pas répondu au pré-test.

Quant aux réponses des élèves à la deuxième question (QT4b), nous avons eu 7 réponses différentes qui sont résumées dans le tableau ci-dessous.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
<i>courbe d'absorbance en fonction de la longueur d'onde</i>	<u>19/49</u>	<u>39</u>	<u>13/49</u>	<u>27</u>
<i>spectre d'absorbance</i>	<u>15/49</u>	<u>30</u>	<u>19/49</u>	<u>39</u>
<i>courbe d'absorbance</i>	<u>4/49</u>	<u>8</u>	<u>8/49</u>	<u>16</u>
courbe d'étalonnage	4/49	8	4/49	8
ne sait pas	3/49	6	3/49	6
spectrographe (spectrophotographe)	2/49	4	1/49	2
<i>courbe d'absorption</i>	<u>1/49</u>	<u>2</u>	<u>0/49</u>	<u>0</u>
graphique d'absorptiomètre	1/49	2	0/49	0
Total des réponses considérées exactes	39/49	80	40/49	82

Tableau 36 : Réponses des élèves à la question sur le spectre d'absorbance (QT4b) au pré et post-test

Nous avons considéré les 4 réponses comme exactes. Le spectre d'absorbance est la réponse attendue. Nous avons accepté trois autres formulations parce que les explications données par les élèves à cette question définissent autrement la notion du spectre d'absorbance tout en restant exacte.

Au total 39 élèves sur 49 (80%) ont répondu de façon exacte à cette question au pré-test. Pour les élèves ayant nommé le graphique donné comme une courbe d'absorbance en fonction de la longueur d'onde (19 élèves), une courbe d'absorbance (4 élèves) et une courbe d'absorption (1 élève) dans leurs réponses, nous pouvons dire qu'ils connaissent la notion de spectre d'absorbance mais ils ne la formulent pas comme nous l'attendions. Parmi les réponses fausses, nous avons trouvé les notions de « *courbe d'étalonnage* », « *spectrographe* », « *graphique d'absorptiomètre* ». La courbe d'étalonnage est une courbe que les élèves rencontrent assez fréquemment dans l'enseignement de chimie notamment en Terminale. En ce qui concerne le spectrographe, il se peut que les élèves pensent que le spectrophotomètre donne le spectrographe.

Presque le même nombre d'élèves a répondu correctement dans le post-test. Nous avons constaté une petite augmentation pour la façon de nommer graphique comme spectre d'absorbance. Il y a 4 mêmes élèves qui ont continué à définir le graphique comme une courbe d'étalonnage. 3 élèves sur 49 (6%) n'ont pas répondu à cette question non seulement au pré-test mais également au post-test.

Les réponses des élèves à la troisième question sur cette notion nous montrent que 43 élèves sur 49 (88%) ont affirmé que l'absorbance d'une solution colorée est la même quelle que soit la longueur d'onde. 5 élèves sur 49 ont confirmé cette affirmation même si elle est incorrecte.

D'après les résultats de deux premières questions, nous pouvons dire que la majorité des élèves avec lesquels nous avons travaillé ont acquis la notion de spectre d'absorbance avant le travail de la construction de protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

#### 9.1.4.2. Evolution de la connaissance théorique T4

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T4 (spectre d'absorbance)	6/49	12	4/49	8	34/49	69	5/49	10

Concernant l'évolution de cette connaissance théorique (T4) du pré-test au post-test (comparaison C1), nous pouvons dire que 6 élèves sur 49 n'ayant pas répondu correctement à la question QT4b au pré-test ont fait évoluer leur réponse dans le post-test (graphique W). 34 élèves ont répondu de façon exacte à la fois dans le pré-test et post-test. Il y a 4 élèves qui n'ont pas répondu correctement dans le pré-test et ni dans le post-test.

Nous avons cherché dans les traces logicielles les accès réalisés par ces 6 élèves à la partie cours concernant les « *dosages par spectrophotométrie* » où les élèves peuvent voir le spectre d'absorbance et obtenir plus d'informations sur cette connaissance théorique. Nous avons constaté que, parmi les 6 élèves, 5 élèves ont accédé eux-mêmes à cette partie au moins deux fois lors du travail avec le logiciel.

Ces résultats nous permettent de dire que la majorité des élèves connaissent la notion de spectre d'absorbance dès le pré-test et que 6 élèves ont acquis cette connaissance au moment de l'expérimentation avec le logiciel. Il semble que l'accès au cours lors du travail avec le logiciel les ait aidés.

#### 9.1.5. Résultats détaillés sur la connaissance théorique T5

##### 9.1.5.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T5

*Connaissance théorique (T5) : loi de Beer-Lambert  $A = \epsilon_{\lambda}.l.C$  (ou  $A = k.C$ ) ; à une longueur d'onde donnée, l'absorbance d'une solution est proportionnelle à sa concentration.*

Nous avons posé trois questions sur cette connaissance théorique (T5) dans notre questionnaire. Dans la première question (QT5a), nous avons demandé aux élèves de répondre à sept sous-questions, portant sur les paramètres associés à la loi de Beer-Lambert. Dans la deuxième question (QT5b), nous avons demandé de désigner la formule de la loi de Beer-Lambert parmi cinq possibilités. Dans la dernière question sur cette notion (QT5c), nous avons demandé aux élèves d'utiliser la formule de la loi de Beer-Lambert pour montrer la relation entre l'absorbance et la concentration d'une solution colorée.

Les réponses attendues à la première question sont les suivantes : la grandeur de l'absorbance dépend de l'épaisseur de la solution traversée, de la concentration molaire de la solution et de

l'espèce chimique. Elle ne dépend pas de la température. Elle se mesure avec un spectrophotomètre et elle est proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante.

Nous présentons les résultats des élèves à la question QT5a au pré-test et post-test dans le tableau ci-dessous. Il est nécessaire de rappeler que nous n'avons pas posé les sous-questions ayant le taux de réussite de plus de 90% dans le post-test comme nous avons expliqué dans la partie méthodologie.

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

	Réponses	Pré-test		Post-test	
		Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
a. dépend de l'épaisseur de la solution traversée	<u>vrai</u>	<u>33/49</u>	<u>67</u>	<u>45/49</u>	<u>92</u>
	faux	13/49	27	4/49	8
	ne sait pas	3/49	6	0/49	0
b. dépend de la concentration molaire de la solution	<u>vrai</u>	<u>46/49</u>	<u>94</u>	---	--
	faux	1/49	2	---	--
	ne sait pas	2/49	4	---	--
c. dépend de la température	vrai	8/49	16	9/49	18
	<u>faux</u>	<u>37/49</u>	<u>76</u>	<u>39/49</u>	<u>80</u>
	ne sait pas	4/49	8	1/49	2
d. dépend de l'espèce chimique	<u>vrai</u>	<u>47/49</u>	<u>96</u>	---	--
	faux	1/49	2	---	--
	ne sait pas	1/49	2	---	--
e. se mesure avec un conductimètre	vrai	0/49	0	---	--
	<u>faux</u>	<u>48/49</u>	<u>98</u>	---	--
	ne sait pas	1/49	2	---	--
f. se mesure avec un spectrophotomètre	<u>vrai</u>	<u>49/49</u>	<u>100</u>	---	--
	faux	0/49	0	---	--
	ne sait pas	0/49	0	---	--
g. est inversement proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante	vrai	14/49	29	9/49	18
	<u>faux</u>	<u>29/49</u>	<u>59</u>	<u>36/49</u>	<u>74</u>
	ne sait pas	6/49	12	4/49	8

Tableau 37 : Réponses des élèves à la question sur la loi de Beer-Lambert (QT5a) au pré et post-test

D'après les résultats du pré-test à ces sous-questions, nous avons constaté que la plupart des élèves savent de quoi dépend l'absorbance d'une solution colorée, et que le spectrophotomètre

sert à mesurer cette grandeur. Il y a 13 élèves qui pensent que l'épaisseur de la cuve du spectrophotomètre n'est pas liée à l'absorbance d'une solution colorée. Il se peut que l'on utilise toujours une cuve de 1 cm épaisseur et que l'on ne le prenne pas en compte lors du calcul. Presque la totalité des élèves sont d'accord sur le fait que la concentration molaire de la solution et l'espèce chimique soient liées à la grandeur d'absorbance.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
c. $A = \varepsilon.l.C$	<u>32/49</u>	<u>65</u>	<u>38/49</u>	<u>78</u>
a. $A = \frac{\varepsilon.C}{l}$	8/49	16	5/49	10
b. $\varepsilon = \frac{A.l}{C}$	0/49	0	0/49	0
d. $\varepsilon = A.l.C$	1/49	2	0/49	0
e. $C = \frac{A.\varepsilon}{l}$	1/49	2	2/49	4
f. ne sait pas	7/49	14	4/49	8

Tableau 38 : Réponses des élèves à la question sur la loi de Beer-Lambert (QT5b) au pré et post-test

Les réponses des élèves au pré-test à la deuxième question (QT5b) nous permettent de dire qu'il y a des élèves qui ne connaissent pas la formule de la loi de Beer-Lambert en tant que telle. Ce résultat peut être considéré comme un reflet du programme officiel où l'on ne parle pas de la formule de la loi de Beer-Lambert en tant que telle. Nous avons constaté une augmentation concernant la désignation de cette formule au post-test (+13%). 3 élèves n'ayant pas désigné la formule au pré-test ont désigné de façon exacte au post-test par rapport au pré-test.

Réponses	Pré-test	
	Nombre d'élèves	%
<u>b</u>	<u>43/49</u>	<u>88</u>
a	3/49	6
c	0/49	0
ne sait pas	3/49	3

Tableau 39 : Réponses des élèves à la question sur la loi de Beer-Lambert (QT5c) au pré-test

En ce qui concerne les réponses des élèves à la troisième question (QT5c) au pré-test, nous avons constaté que 43 élèves sur 49 (88%) ont calculé correctement l'absorbance d'une solution colorée diluée en utilisant la formule de la loi de Beer-Lambert dans leurs réponses. 3 élèves sur 49 (6%) n'ont pas pu calculer l'absorbance de cette solution diluée. 3 élèves sur 49 (6%) n'ont pas répondu à cette question au pré-test. Nous n'avons pas posé cette question au

post-test parce que nous en avons posé deux autres sur la même notion (T5) au post-test et le taux de réussite de cette question était presque de 90%.

### 9.1.5.2. Evolution de la connaissance théorique T5

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T5 (loi Beer-Lambert)	9/49	18	8/49	16	29/49	59	3/49	6

Lors de l'évolution de la connaissance théorique T5, nous avons pris en compte les résultats de la question QT5b parce que c'est dans cette question que nous avons demandée le plus explicitement aux élèves d'utiliser leur connaissance théorique T5.

Concernant l'évolution de cette connaissance théorique des élèves du pré-test au post-test (comparaison C1), nous pouvons dire que 9 élèves ont fait évoluer leur connaissance théorique T5 (graphique W). 29 élèves ont désigné correctement la formule de la loi de Beer-Lambert à la fois dans le pré-test et le post-test. Il y a 8 élèves qui n'ont toujours pas répondu à cette question de manière exacte non seulement au pré-test mais également au post-test.

Pour les élèves ayant fait évoluer leur connaissance théorique T5, nous avons analysé leurs actions effectuées lors de l'utilisation du logiciel, notamment l'accès au cours concernant « la loi de Beer-Lambert » où ils peuvent trouver des informations sur cette notion. A partir des historiques des actions effectuées par les élèves lors du TP, nous avons constaté que, parmi les 9 élèves ayant fait évoluer leur connaissance théorique T5, 6 élèves ont accédé à la partie cours sur « la loi de Beer-Lambert » avant l'intervention du tuteur, ce qui signifie que ce sont des élèves qui ont choisi de lire les informations sur cette notion.

Les résultats que venons de présenter nous permettent de dire qu'il y a une évolution chez plusieurs élèves concernant la connaissance théorique T5 et que la plupart de ces élèves ont accédé à la partie « la loi de Beer-Lambert » dans le cours du logiciel.

### 9.1.6. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T6

#### 9.1.6.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T6

*Connaissance théorique (T6) : additivité des absorbances ; l'absorbance d'un mélange est égale à la somme des absorbances des différents composants du mélange.*

Dans le questionnaire, nous avons posé un QCM (QT6) sur la notion d'additivité des absorbances (T6). Nous avons demandé aux élèves de choisir le spectre d'absorbance d'un mélange contenant deux solutions différentes. La réponse attendue à cette question est de choisir le graphe B parce qu'il représente la somme des absorbances ( $A_1+A_3$ ,  $A_2+A_4$ ,  $2A_5$ ) aux longueurs d'onde correspondantes ( $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ ,  $\lambda_3$ ).

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
<u>b</u>	<u>26/49</u>	<u>53</u>	<u>34/49</u>	<u>69</u>
a	1/49	2	0/49	0
c	20/49	41	15/49	31

d	2/49	4	0/49	0
ne sait pas	0/49	0	0/49	0

Tableau 40 : Réponses des élèves à la question sur l'additivité des absorbances (QT6) au pré et post-test

D'après les résultats du pré-test, nous pouvons dire qu'environ la moitié des élèves connaît la notion d'additivité des absorbances avant le travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Un peu moins de l'autre moitié préfère superposer les deux spectres d'absorbance pour obtenir celui du mélange (réponse C).

Dans le post-test, environ 2 élèves sur 3 ont choisi le spectre d'absorbance exact. Par contre 1 élève sur 3 a choisi le spectre d'absorbance inexact comme nous voyons dans le tableau ci-dessus.

### 9.1.6.2. Evolution de la connaissance théorique T6

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T6 (additivité des absorbances)	9/49	18	14/49	29	25/49	51	1/49	2

En ce qui concerne l'évolution de la connaissance théorique du pré-test au post-test (comparaison C1), 25 élèves ont toujours répondu correctement à la fois dans le pré-test et le post-test (graphique Y). Il est intéressant de noter que 9 élèves sur 49 ont fait évoluer positivement leur réponse à la question QT6, ce qui correspond au graphique W. Il existe 13 élèves qui n'ont pas répondu comme il faut non seulement dans le pré-test mais également dans le post-test (graphique X).

Nous avons analysé les actions effectuées par les élèves qui ont fait évoluer de façon positive leur connaissance théorique T6 dans le post-test par rapport au pré-test. Nous avons recherché les accès réalisés à la partie cours concernant les « *dosages par spectrophotométrie* ».

A partir des traces logicielles nous avons constaté que, parmi les 9 élèves, 8 élèves ont accédé au moins une fois à la partie cours concernée. Il existe des élèves, parmi les 8, ayant accédé à cette partie concernée plusieurs fois lors du travail avec le logiciel avant et/ou après l'intervention du tuteur.

Cela nous permet de constater qu'il y a une évolution concernant la connaissance théorique T6 parce que 9 élèves l'ont faite évoluer et que presque la totalité de ces élèves ont accédé à la partie cours sur les « *dosages par spectrophotométrie* » lors du travail avec le logiciel.

## 9.1.7. Résultats détaillées sur la connaissance théorique T7

### 9.1.7.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance théorique T7

Connaissance théorique (T7) : absorbance ; grandeur caractéristique de la quantité de lumière absorbée par une solution

Nous avons posé une question dans le questionnaire (QT7) pour savoir si les élèves connaissent la grandeur de l'absorbance. La réponse attendue à ce QCM est de cocher la case « vrai » pour la sous-question « la grandeur de l'absorbance d'une solution colorée est une grandeur sans unité ».

La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée :	Réponses	Pré-test		Post-test	
		Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
a. a pour unité $L^{-1}.mol.m^{-1}$	<u>faux</u>	<u>38/49</u>	<u>78</u>	<u>37/49</u>	<u>76</u>
	vrai	7/49	14	7/49	14
	ne sait pas	4/49	8	5/49	10
b. a pour unité $L^{-1}.mol.cm^{-1}$	<u>faux</u>	<u>42/49</u>	<u>86</u>	<u>43/49</u>	<u>88</u>
	vrai	3/49	6	2/49	4
	ne sait pas	4/49	8	4/49	8
c. est une grandeur sans unité	<u>vrai</u>	<u>37/49</u>	<u>76</u>	<u>37/49</u>	<u>76</u>
	faux	10/49	20	11/49	22
	ne sait pas	2/49	4	1/49	2

Tableau 41 : Réponses des élèves à la question sur l'absorbance (QT7) au pré et post-test

37 élèves sur 49 (76%) ont affirmé au pré-test que la grandeur de l'absorbance d'une solution colorée est une grandeur sans unité. Le reste (20%) n'était pas d'accord sur sa grandeur. Les résultats du post-test sont globalement très proches de ceux du pré-test.

D'après les résultats, nous avons constaté que la plupart des élèves connaissent la grandeur d'absorbance avant le travail avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

### 9.1.7.2. Evolution de la connaissance théorique T7

Si nous prenons en compte les réponses globales des élèves, comme dans le tableau ci-dessus, nous pouvons dire qu'il n'y a pas d'évolution. Mais l'analyse individuelle des réponses pour chaque élève nous montre qu'il existe 4 élèves qui ont fait évoluer leur connaissance théorique T7 du pré-test au post-test (graphique W).

Connaissance Théorique	Graphique w		Graphique x		Graphique y		Graphique z	
	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%	Nb d'élèves	%
T7 (absorbance)	4/49	8	8/49	16	33/49	67	4/49	8

Nous avons également constaté que 33 élèves ont répondu correctement la question QT7 à la fois dans le pré-test et post-test (graphique Y). Il y a 8 élèves qui ne l'ont pas toujours répondu correctement non seulement dans le pré-test mais également dans le post-test.

Nous avons analysé les actions effectuées notamment l'accès à la partie cours sur les « principes physiques » par les élèves, pour savoir si cet accès les aide à faire évoluer la connaissance théorique T7. Grâce aux traces logicielles, nous avons constaté que parmi les 4 élèves, 3 élèves ont accédé une fois à la partie concernée avant l'intervention du tuteur.



En conclusion nous pouvons dire que la façon dont nous avons analysé les réponses des élèves a montré que 4 élèves ont fait évoluer leur connaissance théorique T7 et 3 élèves parmi eux ont accédé à la partie cours concernée lors de la construction du protocole expérimental avec le logiciel.

### **III. Conclusion**

A partir des résultats du pré-test, nous avons constaté que la plupart des élèves avec lesquels nous avons travaillé ont acquis la plupart des connaissances théoriques telles que nous les avons définies avant le travail de la construction du protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous pouvons donc dire qu'ils ont les outils théoriques pour résoudre la question que nous avons posée lors de l'expérimentation avec le logiciel. Quant à l'hypothèse que nous avons formulée (H5), nous pouvons dire que la plupart des élèves peuvent construire des connaissances procédurales lors du travail de la construction de protocole expérimental parce que ces derniers possèdent des connaissances théoriques sur les notions en jeu.

Si nous prenons en compte seulement les réponses exactes pour l'ensemble des élèves, nous ne pouvons pas parler d'une évolution pour la plupart des connaissances théoriques car le nombre d'élèves ayant répondu de façon exacte est très proche entre les pré et post-tests.

Par contre, la comparaison des réponses des élèves de façon individuelle nous a permis de constater que pour la plupart des connaissances théoriques, quelques élèves ont fait évoluer ces connaissances théoriques (4 à 9 élèves).

Presque la totalité des élèves ayant fait évoluer leurs connaissances théoriques ont accédé à la partie cours théoriques concernée lors du travail avec le logiciel. Peut-être ils ont eu besoin d'informations sur les connaissances théoriques qu'ils ne maîtrisaient pas totalement. C'est la raison pour laquelle nous pouvons dire qu'il est nécessaire de fournir aux élèves le cours théorique sur les notions en jeu lorsqu'ils travaillent avec l'EIAH.

#### **9.2. Quelles sont les connaissances procédurales des élèves sur les notions en jeu, leurs évolutions et leurs constructions ?**

Nous présentons dans ce chapitre, les résultats relatifs aux connaissances procédurales sur les notions en jeu. Nous les présentons en suivant l'ordre des connaissances procédurales telles que nous les avons définies précédemment. Nous présentons ces résultats de la façon suivante.

D'abord nous présentons les résultats du pré-test pour mettre en évidence l'état de ces connaissances procédurales avant l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net* chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé.

Puis nous abordons l'évolution de ces connaissances en deux temps :

Dans un même tableau, nous présentons l'évolution de ces connaissances procédurales du pré-test au post-test (comparaison C1).

Puis nous mettons en œuvre les résultats de l'expérimentation réalisée avec le logiciel pour savoir d'une part s'ils ont bien utilisé ces connaissances procédurales lors de l'utilisation du logiciel (comparaison C2) et pour avoir une vision globale de l'éventuelle construction des connaissances (comparaison C1 + comparaison C2).

Après la présentation de l'évolution de ces connaissances nous recherchons à comprendre comment les élèves ont construit des connaissances procédurales lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net* afin d'élaborer un protocole expérimental permettant de répondre au problème posé. Dans ce dernier cas, nous nous intéressons à la mise en relation avec les connaissances théoriques liées aux connaissances procédurales.

Il est nécessaire de rappeler que nous considérons que l'apprenant a construit une connaissance procédurale lors de notre expérimentation lorsqu'il n'a pas utilisé correctement la connaissance procédurale concernée non seulement au pré-test mais aussi avant l'intervention du tuteur et il l'a utilisée correctement à la fois dans son protocole final et au post-test. Ceci correspond à la somme de la comparaison C1 et la comparaison C2.

## I. Résultat Global

Avant de présenter les résultats relatifs aux connaissances procédurales de façon détaillée, nous présentons le nombre des réponses correctes des élèves pour chaque connaissance procédurale dans le tableau ci-dessous.

### Comparaison pré-test / post-test

Connaissance Procédurale	Pré-test		Post-test	
	Nombre d'élèves	%	Nombre d'élèves	%
P1 (homogénéisation)	19/49	39	35/49	71
P2 (dilution)	47/49	96	46/49	94
P3 (rinçage)	21/49	43	34/49	70
P4 (domaine de concentration)	25/49	51	32/49	65
P5 (solution de référence)	26/49	53	27/49	55
P6 (longueur d'onde de mesure)	13/22	60	17/22	77
	11/22	50	15/22	68

Tableau 42 : Evolution de connaissances procédurales selon les résultats du questionnaire (comparaison C1)

Selon une brève comparaison des résultats à partir du tableau ci-dessus, nous pouvons dire qu'il y a une évolution pour la plupart des connaissances procédurales entre les pré et post-tests.

### Comparaison questionnaire et élaboration du protocole avec le logiciel

Dans cette partie, nous allons combiner les résultats du questionnaire avec ceux obtenus lors de l'utilisation du logiciel. L'évolution des connaissances procédurales comprend alors les 4 types de données que nous avons recueillies lors de notre étude. Le premier recueil de données est le résultat du pré-test. Le deuxième concerne les actions effectuées par l'élève avant l'intervention du tuteur lorsqu'il utilise le logiciel *Educ@ffix.net*. Le troisième est l'état final du protocole expérimental de l'élève à la fin du travail avec le logiciel. Et le dernier recueil de données concerne le résultat du post-test. Ces 4 recueils de données ont été analysés de façon individuelle pour chaque élève lors de l'évolution des connaissances procédurales. Etant donné que les élèves ont travaillé en binôme lorsqu'ils utilisent le logiciel, nous avons

pris en compte toutes les actions effectuées par le binôme pour les deux élèves lors de l'évolution de leurs connaissances procédurales. Par exemple, si le binôme n'a pas rincé le matériel avant l'intervention du tuteur ou bien n'a pas rincé de façon exacte dans son protocole final, nous avons pris en compte cette action inexacte pour les deux élèves du binôme lors de l'évolution individuelle de leurs connaissances procédurales.

Selon les possibilités des réponses du questionnaire et des actions effectuées avec le logiciel, nous avons utilisé les graphiques ci-dessous pour catégoriser l'évolution des connaissances procédurales, comme nous l'avons expliquée dans la partie analyse *a priori* de la construction des connaissances procédurales. Voici quelques exemples des types de graphiques rencontrés lors de l'analyse de l'évolution des connaissances procédurales. Nous présenterons tous les graphiques rencontrés pour chaque connaissance procédurale lorsque nous les abordons de manière détaillée dans les parties suivantes.

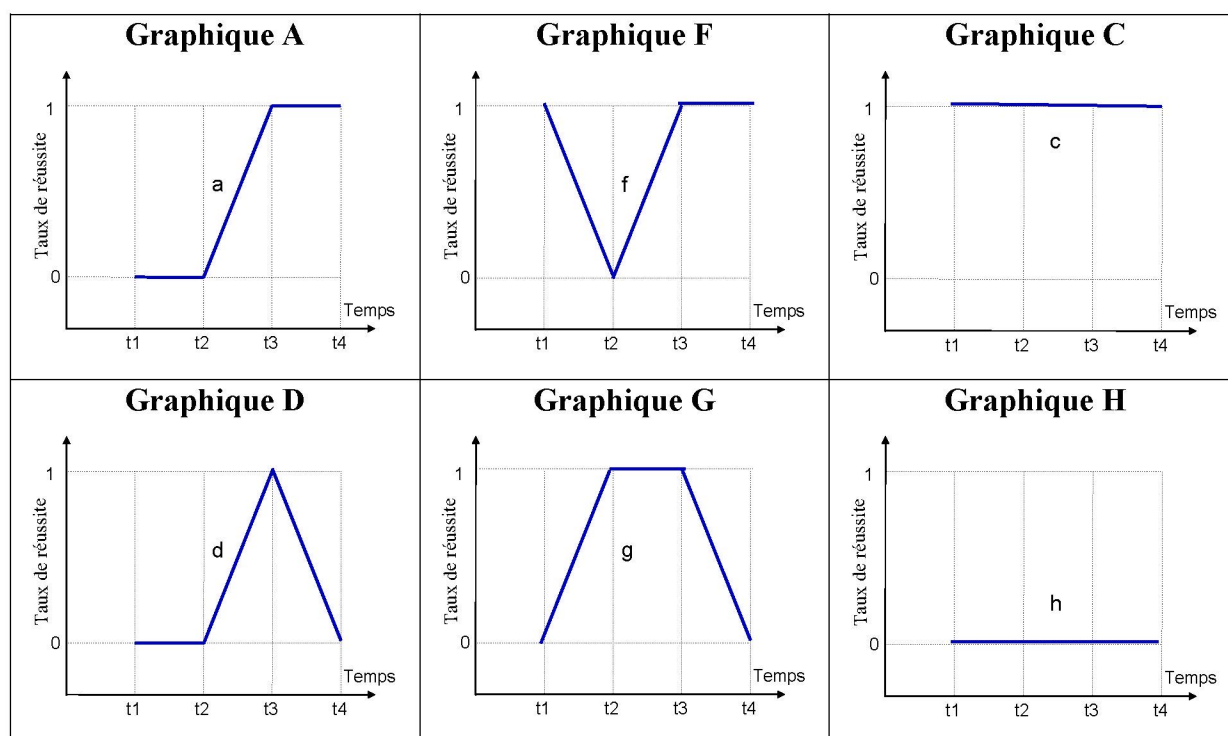


Figure 24 : Quelques types de graphiques rencontrés lors de l'analyse de l'évolution de connaissances procédurales

En ce qui concerne le graphique A, nous pouvons dire que l'élève n'a pas répondu correctement à la question au pré-test, il n'a pas mobilisé la connaissance procédurale de façon exacte avant l'intervention du tuteur lorsqu'il utilise le logiciel, il l'a construite de façon attendue dans son protocole final à la fin du travail avec le logiciel et il a répondu correctement à la même question au post-test. Dans ce seul cas, nous pouvons parler de la construction significative d'une connaissance procédurale.

Pour le graphique F, nous pouvons parler d'une progression positive de la connaissance procédurale pendant l'expérimentation avec le logiciel mais la connaissance concernée est déjà utilisée correctement au pré-test. Étant donné que la connaissance concernée a été utilisée de manière exacte dans le post-test, nous pouvons penser que l'élève avait du mal à la mobiliser avant l'intervention du tuteur.

Dans le graphique D, l'élève construit la connaissance procédurale lors de l'expérimentation avec le logiciel mais ne l'a pas utilisée de façon exacte dans le post-test. Dans ce cas, nous

considérons qu'il n'y a pas eu d'apprentissage à long terme. Il s'agit peut-être d'une réussite grâce à une sorte de « compagnonnage du tuteur ».

Pour l'élève qui suit le chemin comme dans le graphique G, nous pouvons dire qu'il n'a pas pu utiliser la connaissance procédurale pour répondre à la question du questionnaire mais il l'a utilisée correctement dans l'expérimentation avec le logiciel. Dans ce cas, nous pouvons envisager un problème de méthodologie : difficulté de la question posée au questionnaire, ou facilité de la situation avec le logiciel.

Comme nous pouvons voir dans le graphique C, la connaissance procédurale est utilisée de manière exacte à la fois dans le questionnaire et dans l'expérimentation avec le logiciel. Dans le cas l'inverse, à savoir le graphique H, l'élève n'arrive pas utiliser la connaissance procédurale non seulement au questionnaire mais également lors de l'expérimentation avec le logiciel. Pour ces deux cas, nous ne pouvons pas parler d'une évolution d'une connaissance procédurale.

Nous récapitulons dans le tableau ci-dessous des résultats concernant l'évolution des connaissances procédurales de chaque élève selon la méthodologie présentée auparavant. Nous présentons 6 types de graphiques que nous avons abordés précédemment et nous présenterons tous les graphiques selon la fréquence rencontrée dans chaque connaissance procédurale dans les parties suivantes.

Connaissance Procédurale	Graphiques					
	A	C	D	F	G	H
P1 (homogénéisation)	12/49	7/49	4/49	11/49	7/49	0/49
P3 (rinçage)	10/49	0/49	0/49	13/49	0/49	3/49
P5 (solution de référence)	6/49	13/49	5/49	3/49	3/49	6/49
P6 (longueur d'onde de mesure)	3/22	6/22	0/22	2/22	1/22	3/22

*Tableau 43 : Evolution des connaissances procédurales chez les élèves (49 élèves au total) selon le graphique suivi*

D'après les résultats de l'évolution des connaissances procédurales de façon individuelle pour chaque élève, nous pouvons dire que certains élèves construisent des connaissances procédurales (6 à 12 élèves selon les connaissances).

Nous avons également constaté qu'un quart d'élèves a utilisé la connaissance procédurale P5 de manière adéquate à la fois lors du travail avec le logiciel et dans le questionnaire (graphique C).

Il y a très peu d'élèves (pas plus de 6 élèves) n'ayant toujours pas utilisé correctement les connaissances procédurales ni au questionnaire ni lors du travail avec le logiciel (graphique H).

Quand aux élèves n'ayant pas pu utiliser les connaissances procédurales de manière adéquate avant l'intervention du tuteur (graphique F), ils sont relativement importants. Nous pensons qu'il s'agit d'un problème lié soit au changement du matériel soit au contrat de la classe pour les connaissances P1 et P3.

Il y a très peu d'élèves (5 au maximum par connaissance) qui ont fait évoluer de façon positive les connaissances procédurales lors du travail avec le logiciel (graphique D). Cette évolution positive peut être liée à l'intervention du tuteur ou la consultation de la partie cours mais cela n'est pas significatif en terme d'apprentissage parce que ces élèves n'ont pas pu utiliser correctement les connaissances procédurales au post-test, notamment P1 et P5.

## II. Résultats Détaillés

### 9.2.1. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P1

#### 9.2.1.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance procédurale P1

*Connaissance procédurale (P1) : comment homogénéiser une solution diluée ; homogénéiser, c'est agiter pour rendre la concentration égale en toute partie de la solution.*

Dans le questionnaire, nous avons posé aux élèves une question ouverte (QP1) sur la connaissance procédurale P1 pour savoir s'ils connaissent la notion d'homogénéisation ainsi que la façon d'homogénéiser. Nous leur avons demandé d'expliquer comment passe-t-on d'une solution non homogène à une solution homogène. La réponse attendue à cette question était d'utiliser l'un des verbes suivants : agiter, mélanger, remuer, mélanger avec agitateur.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
<i><u>agiter</u></i>	<i><u>8/49</u></i>	<i><u>16</u></i>	<i><u>15/49</u></i>	<i><u>31</u></i>
<i><u>homogénéiser</u></i>	<i><u>0/49</u></i>	<i><u>0</u></i>	<i><u>5/49</u></i>	<i><u>10</u></i>
<i><u>remuer</u></i>	<i><u>1/49</u></i>	<i><u>2</u></i>	<i><u>1/49</u></i>	<i><u>2</u></i>
<i><u>mélanger</u></i>	<i><u>8/49</u></i>	<i><u>16</u></i>	<i><u>12/49</u></i>	<i><u>25</u></i>
<i><u>mélanger avec l'agitateur</u></i>	<i><u>2/49</u></i>	<i><u>4</u></i>	<i><u>2/49</u></i>	<i><u>4</u></i>
chauffer	4/49	8	2/49	4
diluer	4/49	8	2/49	4
ajouter de l'eau	3/49	6	2/49	4
ajouter du solvant	2/49	4	1/49	2
dissoudre le solide	2/49	4	1/49	2
ne sait pas	15/49	30	6/49	12

Tableau 44 : Réponses des élèves à la question sur homogénéisation (QP1) au pré et post-test

Avant d'aborder les résultats du pré-test, nous soulignons que, dans le tableau ci-dessus comme tous les autres, les réponses correctes sont en italiques et soulignées. D'après les réponses des élèves au pré-test, 19 élèves sur 49 (39%) ont utilisé l'un des verbes attendus dans leurs réponses. Presque un tiers des élèves n'a pas répondu à cette question (30%) et cela signifie qu'ils ne maîtrisent pas bien la connaissance procédurale P1 telle que nous l'avons définie. Ce taux de non-réponse peut être lié à une difficulté à comprendre la question et à la relier à une pratique de classe vécue. Le reste a utilisé différents verbes pour rendre homogène une solution non-homogène, même si ces derniers n'expliquent pas correctement la façon d'homogénéiser.

En ce qui concerne l'état de la connaissance procédurale P1 chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé, nous pouvons dire, à partir des résultats du pré-test, que la plupart des élèves ne sont pas capables d'expliquer la façon d'homogénéiser avant le travail de la construction du protocole expérimental avec le logiciel *Educ@ffix.net*.

Dans le post-test, 35 élèves sur 49 (71%) ont utilisé les mots attendus (y compris celui d'« homogénéiser ») dans leur réponse. Nous n'avions pas prévu de rencontrer ce verbe comme réponse. Nous pouvons considérer le verbe « homogénéiser » comme une réponse correcte parce que d'une part sa définition est liée de façon générale à l'action de mélanger<sup>10</sup> et d'autre part ce verbe est apparu après le travail de la construction du protocole expérimental avec le logiciel, dans lequel le terme « homogénéiser » est proposé. Il existe une augmentation importante sur l'utilisation des mots « agiter » et « mélanger » au post-test. Seulement 6 élèves sur 49 (12%) n'ont pas répondu à cette question.

### 9.2.1.2. Résultat moyen sur l'évolution de la connaissance procédurale P1

Nous présentons dans le tableau ci-dessous, l'évolution de la connaissance procédurale P1 de façon globale. Les chiffres correspondent à l'utilisation correcte de la connaissance lors des pré et post-tests et pendant l'expérimentation avec le logiciel.

	Pré-test		Post-test		Avant l'intervention du tuteur		Protocole final	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%	Nombre binômes	%	Nombre binômes	%
P1 homogénéisation	19/49	39	35/49	71	12/28	43	28/28	100

*Tableau 45 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P1 (homogénéisation) à la fois entre les pré et post-tests et lors de l'expérimentation avec le logiciel.*

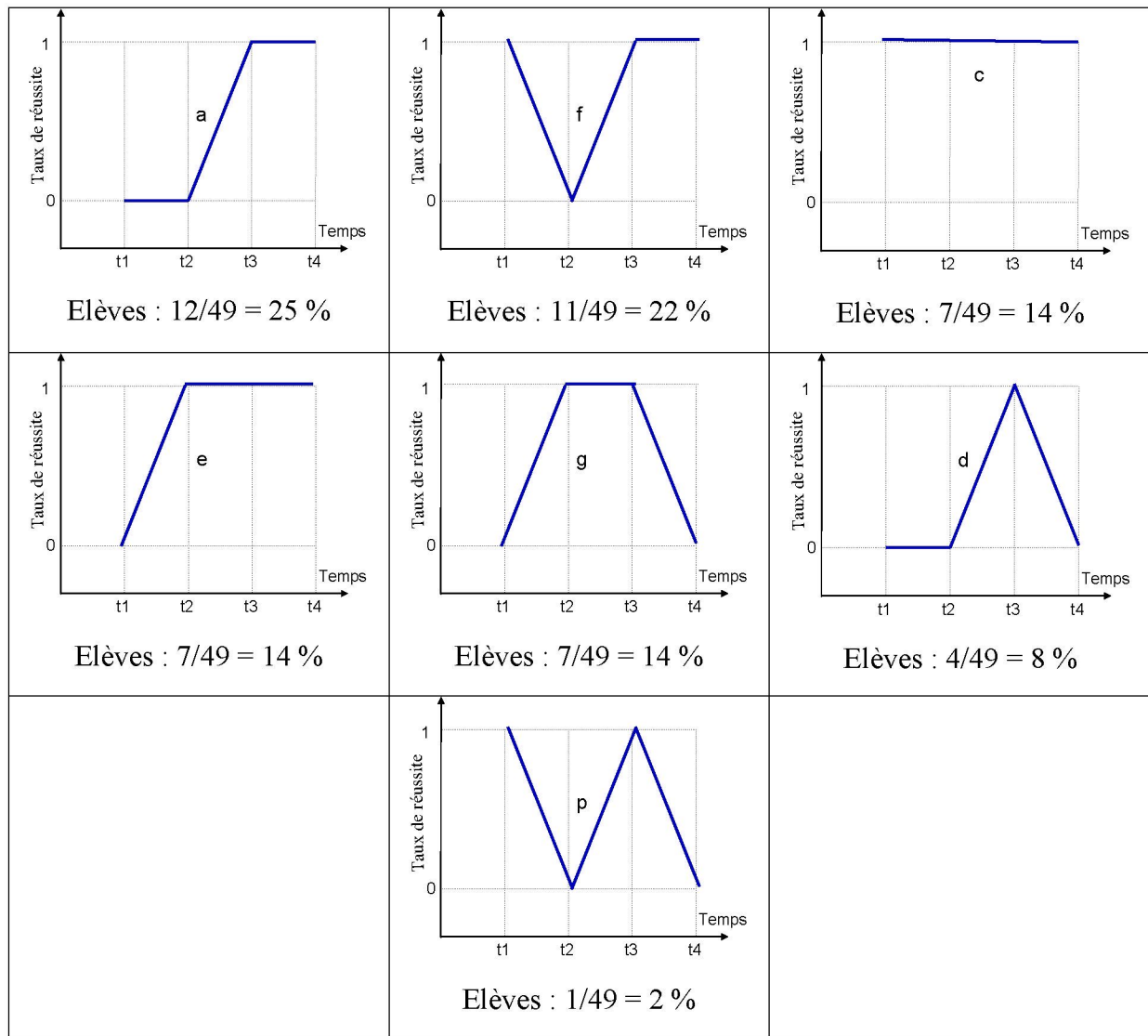
D'après les résultats du questionnaire, il s'agit globalement d'une évolution pour cette connaissance procédurale (P1) parce que 19 élèves sur 49 (39%) ont proposé une homogénéisation acceptable au pré-test et 35 élèves sur 49 (71%) ont homogénéisé une solution non-homogène comme nous l'attendions au post-test (comparaison C1). L'augmentation de la proportion d'élèves ayant répondu correctement à la question concernée au post-test à la suite de l'expérimentation avec le logiciel peut être liée d'une part aux interventions du tuteur comme le message d'erreur suivant : « à chaque fois que vous préparez une solution, il est nécessaire de l'homogénéiser avant de l'utiliser » et d'autre part à l'accès au cours qui rappelle aux élèves que « l'homogénéisation consiste à agiter la solution ». Nous soulignons l'impact du guidage du tuteur concernant la notion d'homogénéisation (100% réussite) car les messages d'erreurs étaient plus explicites que ceux des autres notions.

D'après les actions effectuées par les élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net*, il s'agit aussi d'une amélioration de l'utilisation de cette connaissance procédurale chez eux parce que 16 binômes sur 28 (57%) n'ont pas mobilisé cette connaissance procédurale avant l'intervention du tuteur, ce qui signifie qu'ils n'ont pas homogénéisé les solutions préparées avant l'intervention du tuteur. Au niveau du protocole final, tous les binômes ont homogénéisé toutes les solutions préparées (comparaison C2).

<sup>10</sup> Dictionnaire Petit Robert nouvelle édition 1993. La définition donnée pour le verbe « homogénéiser » est la suivante : rendre homogène, en mélangeant les éléments ou en éliminant les éléments non conformes.

### 9.2.1.3. Résultats d'évolution individuelle de la connaissance procédurale P1

Pour bien montrer l'évolution de cette connaissance procédurale chez les élèves, nous avons analysé pour chaque élève différents corpus (pré-test, post-test, protocole final, traces logiciels). Nous présentons ci-dessous tous les types de graphique obtenus lors de l'analyse de l'évolution la connaissance procédurale P1.



Parmi les 16 binômes (32 élèves) ayant fait évoluer de façon positive la connaissance procédurale P1 lors de l'expérimentation avec le logiciel, comme nous pouvons le voir ci-dessus, 12 élèves sur 49 (25%) correspondent au graphique A qui correspond à la construction et l'acquisition de la connaissance procédurale lors de notre expérimentation.

11 élèves sur 49 (22%) correspondent au graphique F ce qui signifie qu'ils ont du mal à mobiliser cette connaissance procédurale avant l'intervention du tuteur. Dans ce cas, nous ne pouvons pas parler d'une construction de cette connaissance procédurale lors de l'expérimentation chez ces élèves parce qu'ils l'ont déjà utilisée de manière correcte au pré-test. Il se peut que ces élèves aient oublié d'homogénéiser les solutions diluées avant l'intervention du tuteur, comme dans l'extrait de dialogue des élèves ci-dessous.

Les élèves (C12 et C21) n'ont pas homogénéisé les solutions diluées dans leur cahier du laboratoire avant l'intervention du tuteur. Ces deux élèves ont répondu correctement à la question QP1 au pré-test et post-test.	
C12 et C12 parlent des résultats de l'évaluation sur l'homogénéisation	... C12 : une erreur d'homogénéisation C21 : ouais, on a pas homogénéisé C12 : on a oublié d'homogénéiser les trucs
Après la conversation ci-dessus, les élèves (C12 et C21) ont homogénéisé toutes les solutions diluées.	

*Extrait de conversation des élèves (C12 et C21) sur l'homogénéisation*

Une autre cause pour ne pas homogénéiser les solutions préparées avant l'intervention du tuteur peut être liée au contrat de la classe selon lequel les élèves homogénéisent toutes les solutions diluées une fois les dilutions terminées, comme nous l'avons expliqué dans la partie « difficultés liées au contrat didactique sur la notion d'homogénéisation ». Ces élèves auraient fait appel au tuteur avant la fin de l'étape concernée.

Il existe 7 élèves sur 49 (14%) qui ont toujours mobilisé la connaissance procédurale P1 du début à la fin de notre étude (graphique C). Ceci signifie qu'ils possèdent la connaissance procédurale P1 de façon stable et l'utilisent correctement.

Nous avons trouvé 7 élèves sur 49 (14%) qui n'ont pas pu utiliser correctement la connaissance procédurale P1 au pré-test et qui l'ont utilisé de manière adéquate à la fois lors de l'expérimentation avec le logiciel et du post-test (graphique E). Nous avons choisi de ne pas considérer ces élèves comme ayant construit la connaissance procédurale, même si leurs résultats du questionnaire indiquent une amélioration par rapport au pré-test. Dans ce cas, nous pouvons dire que peut-être l'interaction des élèves au sein du binôme leur a permis d'utiliser de façon adéquate la connaissance procédurale P1. Voici un extrait d'un binôme ayant utilisé la connaissance procédurale correctement lors du travail avec le logiciel avant l'intervention du tuteur. Il est nécessaire de souligner que l'un de deux élèves (C4) n'a pas répondu correctement à la question concernée au pré-test et l'autre (C15) a répondu correctement.

Ils (C15 et C4) n'ont pas encore homogénéisé la solution diluée (S1) dans leur cahier du laboratoire et le dialogue ci-dessous se passe avant l'intervention du tuteur.
... C15 : on a oublié de mélanger C4 : de quoi ? C15 : la solution S1... il faut homogénéiser C4 : d'accord, tu l'homogénéise...

*Extrait de conversation des élèves (C15 et C4) sur l'homogénéisation*

Il y a 4 élèves sur 49 (8%) qui ont fait évoluer de manière positive cette connaissance procédurale lors de l'expérimentation avec le logiciel (graphique D). Ceci signifie qu'ils n'ont pas pu réinvestir les acquis de la conception de protocole avec le logiciel lors du post-test. Pour ces élèves, nous pouvons parler d'une envie de remplir un contrat parce que le tuteur indique le type d'erreur commise suite à l'évaluation volontaire et les élèves essaient de faire ce qui manque dans leur cahier du laboratoire. Cela correspond à une réussite ponctuelle, probablement fortement aidée par le tuteur mais n'est pas significative en terme d'apprentissage. Voici le message d'erreur probablement reçu par les élèves : « à chaque fois



que vous préparez une solution, il est nécessaire de l'homogénéiser avant de l'utiliser ». Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue des élèves (C30 et c31) qui nous permet de voir comment ils ont réussi à mobiliser la connaissance procédurale P1 lors du travail avec le logiciel. Dans cet exemple, il s'agit d'un binôme qui homogénéise les solutions diluées sans avoir conscience de l'importance de cette opération indispensable.

...

C30 : on détermine...

C31 : pour un volume total de 5 mL ...

C30 : 2,5... il faut homogénéiser, je sais pas pourquoi mais ils disent un moment

C31 : attends... ok

*Extrait de conversation des élèves (C30 et C31) sur l'homogénéisation*

Comme le dialogue ci-dessus le montre, les élèves ont homogénéisé les solutions diluées avant de les utiliser afin de remplir le contrat implicite sans être capable d'expliquer pourquoi ils le font. Ainsi, ces deux élèves n'ont pas répondu correctement à la question QP1 au pré-test ni au post-test. Cela nous permet de dire que même si les élèves ont homogénéisé les solutions diluées dans leur protocole final, ils n'ont pas construit la connaissance procédurale P1 telle que nous l'avons définie.

#### 9.2.1.4. Construction de la connaissance procédurale P1

La construction de la connaissance procédurale P1 consiste à mettre en œuvre le fait d'homogénéiser une solution diluée avec la connaissance théorique de concentration (T1). En effet, l'utilisation du verbe « *homogénéiser* » ou un autre équivalent (agiter, remuer, mélanger, secouer) pour que la concentration de la solution diluée soit égale en toute partie de la solution est un indicateur qui nous permet de constater la construction de la connaissance procédurale P1 chez les élèves qui ne la possèdent pas.

Dans le but de mettre en évidence la construction de cette connaissance procédurale, nous avons utilisé les traces logicielles et les enregistrements audio comme corpus. Les traces logicielles nous ont permis de savoir à quel moment les élèves ont ajouté et/ou modifié l'action d'homogénéisation telle que avant et/ou après l'intervention du tuteur, avant et/ou après l'accès au cours. Nous avons recherché dans les enregistrements audio des indicateurs verbaux de la construction de cette connaissance.

Acquisition de connaissance procédurale	Indicateur de la construction de connaissance procédural lors du travail avec logiciel	Corpus
Construction de la connaissance P1 : comment homogénéiser	Verbalisation comprenant la nécessité d' <b>homogénéiser</b> ou verbes équivalents la solution diluée après l'intervention du tuteur <b>pour que la concentration soit égale</b> en toute partie de la solution	Enregistrements audio Traces logicielles

Nous avons vu précédemment que 12 élèves sur 49 (25%) ont construit la connaissance procédurale P1 lors de notre étude. Parmi ceux-ci, nous avons enregistré la conversation de 10 binômes. La plupart des élèves enregistrés n'a pas parlé explicitement sur l'homogénéisation et a corrigé l'erreur commise sur cette connaissance procédurale après l'intervention du tuteur.

Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue des élèves ayant construit la connaissance procédurale P1 comme dans le graphique A. Dans cet exemple, il s'agit d'un binôme qui vient de terminer la préparation de six solutions. Les homogénéisations des solutions préparées ne figurent pas dans leur cahier du laboratoire avant l'intervention du tuteur. Nous soulignons que les deux élèves (M2 et M8) n'ont pas répondu de façon exacte à la question QP1 au pré-test et l'un de ces deux élèves (M8) a défini une solution homogène en prenant en compte la notion de phase, l'autre (M2) l'a défini en utilisant la notion de concentration. Nous donnons l'extrait de ce binôme qui est train de consulter la partie cours concernant l'« *homogénéisation* » après l'intervention du tuteur et avant d'ajouter six homogénéisations dans leur cahier du laboratoire.

...

M2 : une erreur d'homogénéisation, c'est quoi ça ?

M8 : attends qu'est-ce que c'est homogénéiser ?

M2 : regarde... préparer une solution avec dilution, c'est pas marqué ça ?

M8 : si... c'est quoi homogénéiser ?

M2 : **secouer**, non ?

M8 : oui...

Lorsqu'ils consultent la partie cours sur l'« *homogénéisation* »

M2 : une solution préparée doit être toujours homogénéisée avant d'utiliser...ça c'est pour la **concentration identique**...mec il faut mettre homogénéiser

M8 : ok, on fait

*Extrait de conversation des élèves (M2 et M8) sur l'homogénéisation*

Comme nous l'avons vu dans l'extrait ci-dessus, les élèves (M2 et M8) ont constaté la nécessité d'homogénéiser toutes les solutions préparées après avoir utilisé le bouton « *évaluer* ». Dans un premier temps, le retour du tuteur leur a indiqué le type d'erreur commise et ils ont commencé à parler sur la notion d'homogénéisation. A ce moment-là, l'un élève de ce binôme a utilisé le verbe « *secouer* ». Dans un deuxième temps, le tuteur leur a proposé la partie cours où ils peuvent trouver des informations sur la notion d'homogénéisation. Lorsqu'ils consultent la partie cours sur l'« *homogénéisation* », ils ont constaté la nécessité d'homogénéiser les solutions diluées pour que ses concentrations soient identiques dans un volume défini. Cet exemple nous permet de dire que les élèves n'ayant pas acquis la connaissance procédurale concernée peuvent la construire à l'aide du tuteur et de la partie cours mise à leur disposition et ils font la relation entre une connaissance procédurale et la connaissance théorique associée.

A partir des historiques des actions effectuées par les élèves notamment l'accès au cours, nous avons constaté que, parmi les 12 élèves, seulement 2 élèves ont accédé à la partie cours concernant l'« *homogénéisation* » juste après l'intervention du tuteur. Le reste ayant construit la connaissance P1 n'a pas accédé à cette partie cours lors de l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous ne savons donc pas s'ils ont fait la relation entre le fait d'homogénéiser et la notion de concentration. Etant donné que nous n'avons pas eu des indicateurs explicatifs, nous ne sommes pas sûr de la manière de construire la connaissance procédurale P1 telle que nous l'avons définie.

Le deuxième exemple que nous avons trouvé dans les conversations des élèves concerne un binôme n'ayant pas homogénéisé les solutions préparées avant l'intervention du tuteur. Les élèves de ce binôme M5 et M17 correspondent aux graphiques A et F respectivement. C'est-à-dire que l'un de ces deux élèves a utilisé la connaissance procédurale P1 de façon adéquate au pré-test et l'autre ne l'a pas utilisée. Au moment où ils ont constaté une erreur commise sur

l'homogénéisation, les deux en ont parlé. Nous donnons ci-dessous ce dialogue passé sur l'action d'homogénéisation.

...

M17 : on a oublié les petites homogénéisations

M5 : où ça ?... je sais pas qu'est-ce que ça veut dire...

M17 : la première solution...

M5 : la première solution quoi ?

M17 : c'est elle qu'il faut...

M5 : pourquoi ?

M17 : pour la concentration

M5 : il faut mettre avant, c'est pas avant non ?

M17 : on fait après avoir fait la dilution

M5 : mais non avant de... c'est bon c'est bon...

*Extrait de conversation des élèves (M5 et M17) sur l'homogénéisation*

Comme nous l'avons vu dans la conversation ci-dessus, l'un de deux élèves (M5) n'arrive pas à mobiliser la connaissance procédurale P1 lors de la discussion parce qu'il n'en a pas. C'est l'autre élève (M17) qui lui explique la raison d'homogénéiser une solution diluée avant de l'utiliser et qui l'aide afin de construire la connaissance procédurale P1 telle que nous l'avons définie. Nous soulignons ici le fait qu'un élève a construit la connaissance procédurale P1 grâce à l'interaction avec l'autre élève du binôme.

En ce qui concerne la construction de la connaissance procédurale P1 chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé, nous pouvons dire qu'ils confrontent des problèmes pratiques à des connaissances théoriques lors du travail de l'élaboration du protocole expérimental. Le retour du tuteur leur donne le raisonnement afin de les aider à acquérir la connaissance procédurale concernée. Finalement très peu d'élèves verbalisent la relation entre la connaissance procédurale P1 et la connaissance théorique de concentration (T1).

## **9.2.2. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P2**

### **9.2.2.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance procédurale P2**

*Connaissance procédurale (P2) : comment diluer; diluer, c'est ajouter du solvant pour rendre la concentration plus faible.*

Nous avons posé aux élèves deux questions à choix multiples (QP2a et QP2b) dans le pré-test pour savoir s'ils connaissent la notion de dilution en terme de changement de concentration de la solution. La réponse attendue pour la question QP2a est de cocher la case « vrai » pour la réponse « elle sera le tiers de la concentration initiale » parce que nous avons demandé la concentration d'une solution venant de tripler son volume avec de l'eau. Nous avons posé cette question à la fois dans le pré-test et post-test. Par contre, nous n'avons posé la question QP2b que dans le pré-test. La réponse attendue pour la question QP2b est de cocher la case « vrai » pour la réponse « le papa devra prendre 20mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau » parce que nous avons demandé de préparer une solution de 100 mL contenant de concentration 20 g.L<sup>-1</sup>.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
<i>c. elle sera le tiers de la concentration initiale</i>	<u>47/49</u>	<u>96</u>	<u>46/49</u>	<u>94</u>
b. elle sera identique	1/49	2	0/49	0
a. elle sera le triple de la concentration initiale	1/49	2	2/49	4
d. ne sait pas	0/49	0	1/49	2

Tableau 46 : Réponses des élèves à la question sur la dilution (QP2a) au pré et post-test

Selon les résultats du pré-test, 47 élèves sur 49 (96%) ont répondu correctement à la question QP2a. Comme nous le voyons dans le tableau ci-dessus, 46 élèves sur 49 (94%) ont répondu correctement à la même question (QP2a) dans le post-test. 2 élèves ont répondu que la concentration de la solution diluée sera triplée par rapport à la concentration initiale après la dilution.

Quant aux résultats des élèves à la question QP2b au pré-test, nous avons constaté que 44 élèves sur 49 (90%) ont répondu correctement en décidant le volume à prélever comme 20 mL de la solution concentrée. 4 élèves sur 49 (8%) ont choisi le volume à prélever comme 5 mL de la solution concentrée et ceci ne correspond pas à la concentration demandée. Seulement 1 élève sur 49 (2%) n'a pas répondu à cette question au pré-test. Comme nous l'avons expliqué dans la partie méthodologie, nous n'avons pas posé cette question dans le post-test.

En ce qui concerne l'état de cette connaissance procédurale (P2) chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé, nous pouvons dire que d'après les résultats du pré-test presque la totalité des élèves sont conscients du changement de la concentration après la dilution et capables d'utiliser la formule suivante :  $C_1.V_1=C_2.V_2$ .

### 9.2.2.2. Résultat moyen sur l'évolution de la connaissance procédurale P2

Nous présentons dans le tableau ci-dessous la comparaison des résultats sur la connaissance procédurale P2 chez les élèves entre les pré et post-tests. Comme nous l'avons expliqué dans la partie analyse a priori, nous n'avons pas réussi à obtenir des indicateurs explicites lorsque les élèves utilisent le logiciel *Educ@ffix.net* afin de construire le protocole expérimental demandé.

	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
P2 dilution	47/49	96	46/49	94

Tableau 47 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P2 (dilution) à la fois lors de l'expérimentation avec le logiciel et entre les pré et post-tests

Pour l'évolution de cette connaissance procédurale du pré-test au post-test (comparaison C1), nous pouvons dire qu'il ne s'agit pas vraiment d'une évolution chez les élèves parce qu'ils connaissaient déjà très bien cette connaissance procédurale au pré-test. Selon les résultats du post-test, nous pouvons également dire que le travail de construction du protocole expérimental dans le logiciel n'a pas permis l'amélioration de l'utilisation de cette connaissance procédurale, chez les 2 élèves qui ont répondu correctement au pré-test.

## 9.2.3. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P3

### 9.2.3.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance procédurale P3

*Connaissance procédurale (P3) : comment rincer ; rincer, c'est éliminer les impuretés en choisissant le bon liquide pour ne pas modifier la concentration de la solution prélevée.*

Nous avons posé une question ouverte (QP3) dans le questionnaire pour savoir si les élèves connaissent la notion du rinçage et sa place dans le TP. La réponse attendue à cette question est de rincer la pipette avec laquelle on prélève la solution mère de permanganate de potassium et de rincer la fiole jaugée dans laquelle on dilue, avec l'eau.

Rinçage de la pipette	Pré-test		Post-test		
	Réponses	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
eau distillée		22/49	45	3/49	6
<i>KMnO<sub>4</sub></i>		<u>20/49</u>	<u>41</u>	<u>34/49</u>	<u>70</u>
eau		6/49	12	9/49	18
<i>eau puis KMnO<sub>4</sub></i>		<u>1/49</u>	<u>2</u>	<u>0/49</u>	<u>0</u>
ne sait pas		0/49	0	2/49	4
HCl		0/49	0	1/49	2

Tableau 48 : Réponses des élèves à la question sur le rinçage (QP3) au pré et post-test

D'après les résultats du pré-test, 20 élèves sur 49 (41%) ont rincé la pipette avec la solution adéquate. Nous avons rencontré une réponse dans laquelle l'élève a proposé de rincer la pipette d'abord avec l'eau ensuite avec la solution de permanganate de potassium. Ceci correspond à la meilleure réponse possible mais rarement exigée auprès des élèves. 28 élèves sur 49 (57%) ont rincé la pipette avec l'eau ou l'eau distillée dans leur réponse. Cela signifie que d'une part ces élèves proposent une réponse inexacte et d'autre part il y a une différence entre l'eau et l'eau distillée quand il s'agit du rinçage. Cette différenciation peut être liée à un abus de langage parce que l'on parle souvent d'eau dans le laboratoire alors qu'il s'agit de l'eau distillée en chimie.

Selon les résultats du post-test il y a une évolution des bonnes réponses car 34 élèves sur 49 (70%) ont rincé la pipette avec la solution de permanganate de potassium. Seulement 12 élèves sur 49 (24%) l'ont rincée avec l'eau ou l'eau distillée. L'élève ayant proposé le double rinçage de la pipette n'a pas répondu pareil qu'au pré-test dans le post-test. Par contre, 1 élève sur 49 a rincé la pipette avec la solution d'acide chlorhydrique, même si cette solution acide n'a rien à voir avec la question posée.

Rinçage de la fiole jaugée	Pré-test		Post-test		
	Réponses	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
<i>eau</i>		<u>16/49</u>	<u>33</u>	<u>21/49</u>	<u>43</u>
<i>eau distillée</i>		<u>28/49</u>	<u>57</u>	<u>19/49</u>	<u>39</u>
KMnO <sub>4</sub>		3/49	6	7/49	14
NaOH		1/49	2	0/49	0

ne sait pas	1/49	2	1/49	2
HCl	0/49	0	1/49	2

Tableau 49 : Réponses des élèves à la question sur le rinçage (QP3) au pré et post-test

Les résultats du pré-test concernant le rinçage de la fiole jaugée nous montrent que 44 élèves sur 49 (90%) l'ont rincée avec l'eau ou l'eau distillée. 3 élèves ont rincé la fiole jaugée avec la solution mère (KMnO<sub>4</sub>). Il y a 1 élève qui a rincé la fiole jaugée avec une solution d'hydroxyde de sodium (NaOH) même si ceci n'a rien à voir avec la question posée. Seulement 1 élève n'a pas répondu au pré-test.

Comme nous pouvons voir dans le tableau ci-dessus, 40 élèves sur 49 (82%) ont rincé la fiole jaugée avec l'eau ou l'eau distillée dans leur réponse au post-test. 7 élèves ont proposé de la rincer avec la solution de permanganate de potassium. Il existe 1 élève ayant rincé la fiole jaugée avec la solution d'acide chlorhydrique comme le rinçage de la pipette au post-test.

Il faut noter qu'il y a une légère augmentation entre les pré et post-test de la réponses fausse : rinçage avec la solution de permanganate de potassium. Nous discuterons d'avantage dans la partie suivante les causes éventuelles pouvant correspondre à ce type de comportement.

D'après les résultats du pré-test concernant le rinçage du matériel avant de l'utiliser, nous pouvons dire que la plupart des élèves savent comment rincer la fiole jaugée mais la moitié des élèves ne sont pas capables de choisir la solution adéquate pour rincer la pipette avec laquelle ils prélèvent la solution mère.

### 9.2.3.2. Résultat moyen sur l'évolution de la connaissance procédurale P3

Pour comparer les résultats entre le questionnaire et le travail avec le logiciel sur la connaissance procédurale P3, nous avons seulement pris en compte la réponse donnée par les élèves concernant le rinçage de la pipette parce que ce matériel est proche de l'aiguille de prélèvement dans le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous présentons dans le tableau ci-dessous l'évolution de la connaissance procédurale P3 chez les élèves, à la fois pendant l'expérimentation avec le logiciel et entre les pré et post-test. Nous soulignons que les chiffres correspondent d'une part au nombre d'élèves ayant rincé la pipette de façon exacte dans le questionnaire et d'autre part au nombre de binôme ayant rincé l'aiguille et la cuve de manière adéquate pendant l'expérimentation avec le logiciel.

	Pré-test		Post-test		Avant l'intervention du tuteur		Protocole final	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%	Nombre binômes	%	Nombre binômes	%
P3 rinçage	21/49	43	34/49	70	1/28	3	20/28	71

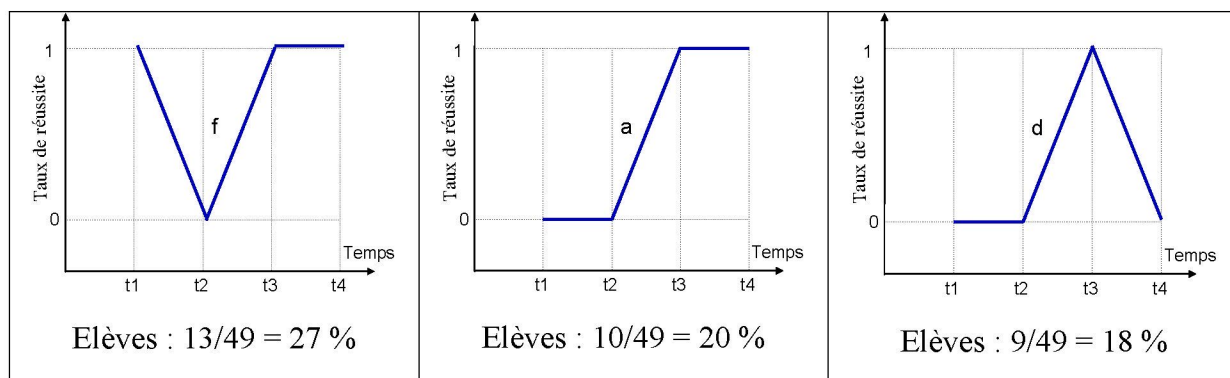
Tableau 50 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P3 (rinçage) à la fois entre les pré et post-tests et lors de l'expérimentation avec le logiciel

En ce qui concerne l'évolution de la connaissance procédurale P3 du pré-test au post-test (comparaison C1), nous pouvons dire qu'il s'agit d'une évolution pour le rinçage de la pipette parce que 21 élèves sur 49 (43%) l'ont rincée correctement au pré-test contre 34 élèves sur 49 (70%) l'ont rincée au post-test. Nous avons vu précédemment que le taux de réussite du rinçage de la fiole jaugée a tendance à diminuer lors du post-test (82%), puisque d'avantage d'élèves rincent la fiole avec la solution de permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ), 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 où ils ont dû rincer l'aiguille de prélèvement avec la solution à prélever. Ils ont peut-être répondu « l'eau » lors du pré-test par habitude (eau = solvant habituel) et ne sont pas certains de leur réponse initiale, quoique correcte.

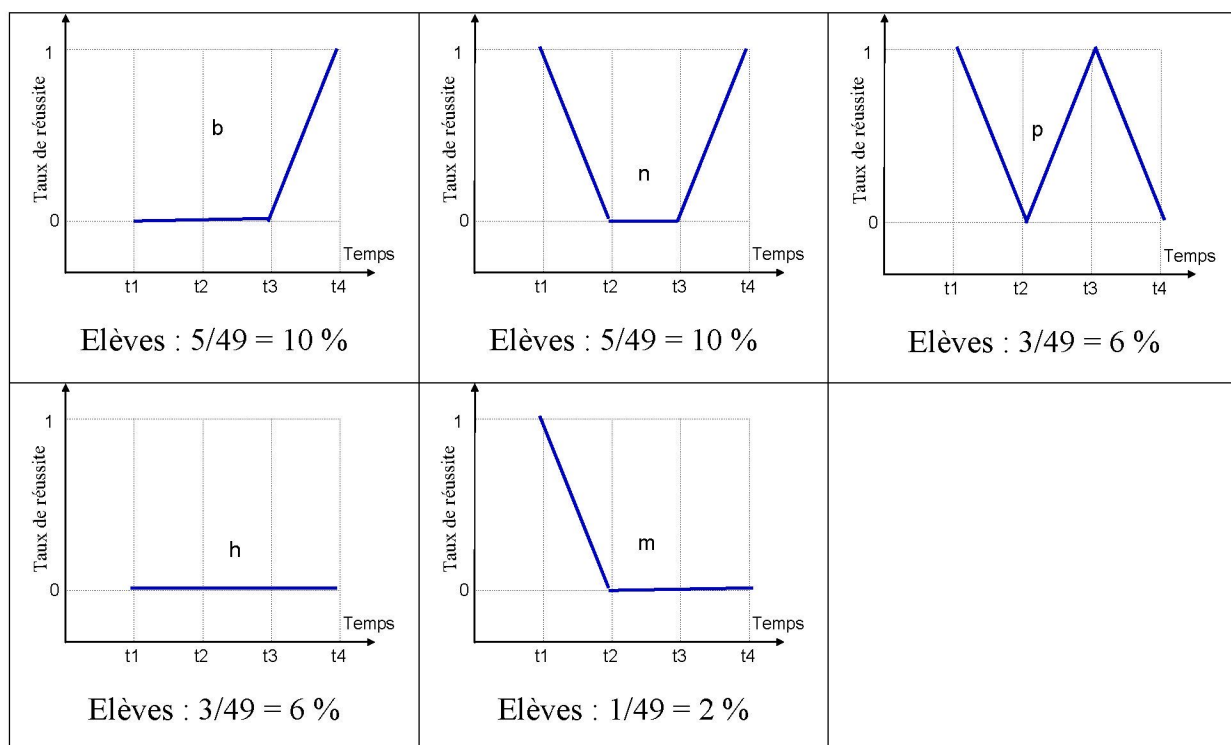
A partir des historiques des actions effectuées par les élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel, nous avons constaté qu'il s'agit d'une évolution significative parce que seulement 1 binôme sur 28 (3%) a mobilisé correctement cette connaissance procédurale avant l'intervention du tuteur. Au niveau du protocole final, 20 binômes sur 28 (71%) l'ont mobilisée correctement (comparaison C2). Ceci signifie que la plupart des élèves n'ont pas pris en compte le rinçage du matériel avant l'intervention du tuteur et le rinçage n'a pas été spécifié spontanément. Pour les élèves, il s'agissait peut-être d'une tâche implicitement comprise dans l'action de préparation de solution ou les actions de spectrophotométrie. Néanmoins une action de rinçage était proposée, donc un contrat était implicite avec le logiciel. Cette amélioration est probablement 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 ». Cependant, il est surprenant que 8 binômes ne rincent pas correctement malgré les interventions du tuteur. 71% de réussite pour le rinçage du matériel nous permet de dire que la compréhension des messages d'erreur sur cette notion n'est pas à la même hauteur que celle de la notion d'homogénéisation.

### 9.2.3.3. Résultats d'évolution individuelle de la connaissance procédurale P3

Nous avons rencontré différents types de graphiques concernant l'évolution de cette connaissance procédurale chez les élèves lors de notre étude. Nous discuterons seulement de 4 graphiques rencontrés fréquemment.







Selon l'analyse de l'évolution de cette connaissance procédurale chez les élèves de façon individuelle, nous pouvons dire que 10 élèves sur 49 (20%) ont construit la connaissance procédurale P3, ce qui correspond au graphique A. Cette évolution peut être liée aux retours du tuteur qui guide les élèves et aux accès au cours par les élèves lors de l'expérimentation avec le logiciel. En ce qui concerne la manière dont cette connaissance a été construite chez ces élèves, nous en discuterons d'avantage dans la partie suivante.

13 élèves n'ont pas pu utiliser correctement cette connaissance procédurale avant l'intervention du tuteur mais ils l'ont mobilisée à la fois lors du questionnaire et dans le protocole final (graphique F). Nous avons déjà identifié deux types de difficultés liées au contrat de la classe concernant le rinçage ; ces élèves peuvent avoir rencontré l'une des deux avant l'intervention du tuteur. Rappelons que ces difficultés sont liées au nombre de rinçage (rincer une seule fois le matériel tout au long du travail) et au fait de ne pas rincer le matériel au début du travail. Nous constatons également des élèves qui ont oublié de rincer le matériel avant l'intervention du tuteur. Nous donnons ci-dessous un extrait d'un dialogue passé entre deux élèves ayant bien répondu à la question concernée au pré-test et qui n'ont pas rincé le matériel avant l'intervention du tuteur.

Il n'y a aucun rinçage dans le cahier du laboratoire des élèves (C8 et C16) avant l'intervention du tuteur qui a listé le type d'erreur commise.

...

C8 : liste d'erreur... une erreur de rinçage...

C16 : ouais, on n'a pas rincé parce que...

C8 : on a oublié

C16 : il faut pas rincer au tout début ?

C8 : il faut pas rincer entre chaque solution ?

C16 : non c'est pas la même chose...



C8 : est-ce qu'on n'a pas l'eau distillée pour rincer ?... non rince avec ça (E124) parce qu'on prélève dedans

C16 : ouais... il faut rincer dès le début...

Après la discussion ci-dessus, ils ont rincé le matériel avec la solution adéquate (E124) au début de l'étape et entre chaque solution diluée.

*Extrait de conversation des élèves (C8 et C16) sur le rinçage de l'aiguille*

Nous avons constaté 9 élèves qui ont eu une évolution de type D. Ceci peut être expliqué par le guidage du tuteur et la motivation des élèves afin de résoudre le problème posé. Cependant les élèves ne réinvestissent pas ce qu'ils ont appris au post-test et ne sont pas toujours capables de rincer la pipette avec la solution à prélever. Nous ne pouvons pas considérer cette connaissance procédurale comme acquise au cours de l'apprentissage.

En ce qui concerne le type de graphique N, nous pouvons dire qu'il s'agit d'un problème que les élèves ont rencontré car la situation expérimentale proposée par le logiciel diffère de la situation classique. Ce problème peut venir des difficultés liées au contrat de la classe parce que d'une part les élèves confondent les termes rinçage et lavage et d'autre part ils ont l'habitude de rincer le matériel une fois au début de leur travail. Cependant, à l'inverse des élèves ayant une évolution de type F, ceux-ci n'ont pas réussi à utiliser correctement les retours du tuteur pour mener à bien la tâche demandée.

#### 9.2.3.4. Construction de la connaissance procédurale P3

La construction de la connaissance procédurale P3 consiste à mettre en relation la connaissance théorique de la notion de concentration (T1) avec la tâche proposée. Les enregistrements audio nous ont permis de vérifier si les élèves ont verbalisé cette mise en relation. Les traces logicielles permettent de situer cette verbalisation par rapport à l'ensemble de leur travail, dont les interventions du tuteur.

Acquisition de connaissance procédurale	Indicateur de la construction de connaissance procédural lors du travail avec logiciel	Corpus
Construction de la connaissance P3 : comment rincer le matériel	Verbalisation comprenant la nécessité de <b>rincer</b> avec la solution adaptée pour <b>ne pas modifier la concentration</b> de la solution concernée	Enregistrements audio Traces logicielles

Parmi les 10 élèves sur 49 (20%) qui ont construit la connaissance procédurale P3 à la fin du notre étude (graphique A), nous avons enregistré 8 élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous donnons ci-dessous différents extraits de dialogue des élèves concernant la manière de construire cette connaissance procédurale (P3). Nous donnons également leur cahier du laboratoire pour montrer où ils sont au moment où ils ont utilisé le bouton « évaluer ».

Dans le premier exemple, il s'agit d'un binôme qui n'a rincé le matériel qu'avec l'eau du début à la fin de la deuxième étape du TP avant l'intervention du tuteur. Nous donnons ci-dessous son cahier du laboratoire avant l'intervention du tuteur.

...

#### **Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon**

- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : eau.

- Pour préparer la solution s1, je prélève avec l'aiguille 0.5 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : s1.
- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : eau.
- Pour préparer la solution s2, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : s2.
- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : eau.
- Pour préparer la solution s3, je prélève avec l'aiguille 1.5 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- J'homogénéise la solution : s3.
- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : eau.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (C34 et C32) avant évaluation*

Après l'évaluation de leur cahier du laboratoire ci-dessus, les élèves (C34 et C32) ont reçu le message d'erreur suivant : « *réfléchissez à quelle solution utiliser pour le rinçage, afin de ne pas contaminer ni diluer votre solution prélevée* ». Nous donnons ci-dessous l'extrait de dialogue des élèves sur le message d'erreur reçu.

...

C34 : j'ai toujours rincé avec l'eau

C32 : oui mais, quand tu prélèves une solution, tu rinces avec la solution... je crois que pour pas qu'il y ait d'eau, s'il y a de l'eau... s'il y a des molécules d'eau... ça peut...

C34 : pourquoi t'as mis l'eau ?

C32 : tu vois ce que je veux dire ? c'est toi qui as rincé avec l'eau ?

C34 : oui mais tu enlèves l'eau

C32 : quand tu rinces justement pour mettre... tu mets l'eau et tu enlèves après...

C34 : attends... quand tu as un tube, tu rinces bien avec de l'eau même si tu ajoutes une autre solution

C32 : oui mais après il faut rincer avec la solution à prélever...

C34 : ok c'est bon

*Extrait de conversation des élèves (C32 et C34) sur le rinçage*

Ils ont modifié la solution du rinçage avec E124 après la discussion ci-dessus. Nous n'avons pas trouvé de verbalisation comme nous l'avons proposée dans notre indicateur. Ces élèves ne parlent pas de modification de concentration de manière explicite mais nous pouvons percevoir l'idée sous-jacente à leur propos. En plus, l'élève C34 n'a pas répondu correctement à la question QP3 au pré-test, c'est le cas inverse de l'élève C32 (graphique type F). Nous pouvons dire pour ce binôme que la construction de la connaissance procédurale P3 s'est appuyée sur la connaissance théorique T1 que l'élève possédait auparavant et s'est effectué par la mise en relation avec la tâche proposée.

Dans le deuxième exemple, nous n'avons pas trouvé les indicateurs recherchés. Néanmoins leurs verbalisations nous ont semblé intéressantes. Il s'agit d'un binôme qui a rincé le matériel avec l'eau après la dilution, avant l'homogénéisation. Pour bien montrer ce que les élèves (C13 et C22) ont ajouté comme action dans leur cahier du laboratoire dans la deuxième étape du TP nous donnons ci-dessous un extrait du cahier.

...

### **Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon**

- Pour préparer la solution Sd1, je prélève avec l'aiguille 0.5 mL de E124, et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.
- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : eau.
- J'homogénéise la solution : Sd1.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (C13 et C22) avant évaluation*

Comme nous voyons ci-dessus, les élèves ont rincé l'aiguille du prélèvement avec l'eau et n'ont pas placé cette action correctement. En effet, il y a deux erreurs commises concernant la notion du rinçage : l'une est liée au rinçage avec la solution non adéquate et l'autre liée au rinçage au mauvais endroit. Les deux messages d'erreur qu'ils ont reçu à la suite de l'évaluation sont les suivants : « *réfléchissez à quelle solution utiliser pour le rinçage, afin de ne pas contaminer ni diluer votre solution prélevée* » et « *pensez à placer votre rinçage immédiatement avant l'action concernée* ». Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue de ce binôme pour montrer comment ils ont corrigé les erreurs commises sur la notion du rinçage.

...

C13 : une erreur sur la gamme étalon, deux erreurs de rinçage... vas dans le rinçage... la gamme étalon c'est là, il nous manque... réfléchissez à quelle solution utiliser pour le rinçage afin de ne pas... ah beuh oui, il faut rincer avec la solution... attends, quand tu prends, on fait en physique, quand tu tiens la burette, il faut que tu mettes du machin potassium dedans, il faut pas que tu rinces avec l'eau, après tu le contrôles, là on prélève quoi ? on prélève le... E124, il faut rincer avec E124... non ?

C22 : je sais pas... mais... qu'est-ce qu'il faut faire ? tu peux pas cliquer au-dessus... modifier

C13 : regarde tu mets ça

C22 : modification de la fiche...

*Extrait de conversation des élèves (C13 et C22) sur le rinçage*

Comme nous l'avons vu ci-dessus, le tuteur les a aidés afin de corriger les erreurs commises en montrant ce qui ne va pas dans leur protocole. Sans accéder à la partie cours théorique et en discutant entre eux ils se sont référés à une situation vécue, ensuite ils ont modifié la solution du rinçage avec E124 et déplacé ce rinçage au début de la deuxième étape. En ce qui concerne la construction de la connaissance procédurale P3 chez ce binôme nous pouvons dire qu'ils se sont référés à la situation dans laquelle ils effectuent habituellement le rinçage du matériel afin de remédier à l'erreur commise et c'est le tuteur qui les a orientés.

Dans le troisième exemple, les élèves M10 et M11 n'ont pas rincé la cuve du spectrophotomètre avant l'intervention du tuteur dans la troisième étape du TP. Nous voyons ci-dessous la troisième étape de leur cahier du laboratoire au moment où ils l'ont évalué.

...

### **Etape 3 - Obtention des points de la courbe étalon**

- 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 remplis la cuve du spectrophotomètre UV-visible avec la solution : E124

J'enregistre le spectre de la solution : E124 entre 400 et 800 nm.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (M10 et M11) avant évaluation*

Comme nous l'avons constaté à partir de leur cahier du laboratoire, ils n'ont pas rincé la cuve ni pour faire le blanc (avec l'eau) ni pour réaliser le spectre d'absorbance (avec E124) avant l'intervention du tuteur. Après l'évaluation du protocole expérimental ci-dessus, le message d'erreur qu'ils ont reçu concernant le rinçage est le suivant : « *vous devez rincer le matériel avec la solution adéquate avant de l'utiliser* ». Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue de ces élèves suite à cette évaluation.

...

M10 : deux erreurs sur la gamme étalon et une erreur de rinçage...

M11 : fais plus...

M10 : vous devez rincer... on rince la cuve ?

M11 : oui

M10 : avec quoi ?

M11 : avec l'eau...

M10 : pourquoi l'eau ? pourquoi pas E124 ?

M11 : **on a mis l'eau comme référence**... il faut rincer avec et avant...

M10 : on rince aussi avec ?...

M11 : attends... tu verras...

*Extrait de conversation des élèves (M10 et M11) sur le rinçage de la cuve*

Après cette discussion, ce binôme a rincé la cuve du spectrophotomètre avec l'eau et il l'a mis au début de la troisième étape. En ce qui concerne la construction de la connaissance procédurale P3, nous pouvons dire pour ce binôme qu'ils n'ont pas verbalisé explicitement les indicateurs que nous attendions dans leur discours mais ils ont mis en œuvre la connaissance procédurale P3 lors de la tâche proposée (la solution de référence et le rinçage de la cuve).

Dans le dernier exemple, il s'agit d'un binôme ayant rincé l'aiguille de prélèvement avec la solution à préparer (solution diluée) dans la deuxième étape du TP. Afin de montrer les actions effectuées par ce binôme avant d'évaluer son protocole expérimental, nous donnons ci-dessous son cahier du laboratoire.

...

**Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon**

- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : solution1.

- Pour préparer la solution solution1, je prélève avec l'aiguille 1 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.

- J'homogénéise la solution : solution1.

- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : solution2.

- Pour préparer la solution solution2, je prélève avec l'aiguille 2 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec le solvant : eau.

- J'homogénéise la solution : solution2.

- Je rince le matériel : aiguille avec la solution : solution3.

- Pour préparer la solution solution3, je prélève avec l'aiguille 3 mL de E124 et j'ajuste à 5 mL avec

le solvant : eau.

- J'homogénéise la solution : solution3.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (M5 et M15) avant évaluation*

Comme nous pouvons le voir ci-dessus dans leur cahier du laboratoire, les élèves (M6 et M15) n'ont pas rincé le matériel avec la solution adéquate (E124) avant l'intervention du tuteur. Au contraire ils l'ont rincé avec la solution qui va être préparée suite à ce rinçage. Ce type de rinçage avec la solution non adéquate est une difficulté liée à la déportation de la manipulation en temps, comme nous l'avons expliqué dans la première partie de nos résultats. Nous constatons à partir de traces logicielles que les élèves (M15 et M6) ont d'abord préparé des solutions filles ensuite rincé l'aiguille de prélèvement consécutivement avec les solutions préparées. En effet, il s'agit de l'utilisation des flèches au sein de la deuxième étape pour déplacer les actions du rinçage. Le message d'erreur reçu par ce binôme après l'intervention du tuteur concernant le rinçage est le suivant : « *réfléchissez à quelle solution utiliser pour le rinçage, afin de ne pas contaminer ni diluer votre solution prélevée* ». Nous donnons ci-dessous l'extrait de dialogue des élèves sur le rinçage après l'intervention du tuteur.

...

M15 : on n'a qu'une erreur...

M6 : on a rincé toutes les solutions !

M15 : vas-y fais plus...

Ils ont obtenu le message d'erreur puis ils ont accédé à la partie cours concernant le « rinçage » et lors de cette consultation :

M15 : ahh c'est cool...rincer avec la solution à prélever

M6 : beuh oui c'est normal c'est ce que j'ai mis... regarde...ah non...on prélève E124... essaye ça

M15 : t'as raison, je pense que c'est ça...

*Extrait de conversation des élèves (M6 et M15) sur le rinçage*

Après la discussion ci-dessus ils ont modifié la solution du rinçage avec E124, la solution adéquate dans cette étape. Cela nous permet de dire que le message d'erreur reçu par ce binôme était insuffisant pour remédier à l'erreur commise car ils sont allés voir le cours dans lequel la procédure a été donnée de façon explicite. Nous ne sommes pas certains que les élèves aient effectué une relation entre la tâche et la connaissance théorique T1. Il est possible qu'ils aient appliqué une méthode sans comprendre l'intérêt de rincer avec la solution à prélever. Quant aux réponses données par ces élèves à la question QP3 au pré-test, nous constatons qu'ils n'y ont pas répondu correctement mais ils ont utilisé cette connaissance procédurale de manière adéquate au post-test. En conséquence, nous pouvons dire pour ce binôme que la réalisation correcte de la tâche s'est faite à l'aide de la consultation du cours sur la notion du rinçage dans le logiciel.

En ce qui concerne la construction de la connaissance procédurale P3 chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé, nous avons constaté que des élèves mettent en relation la tâche proposée avec la connaissance théorique de la notion de concentration (T1). Cette relation peut s'effectuer grâce au tuteur. Pour ceux qui ont accédé au cours, nous ne savons pas ce qu'ils ont compris de la méthode proposée. La réussite modérée à cette tâche peut être s'expliquer par le fait que nous n'avons pas pu trouver un objectif d'apprentissage explicite dans le programme officiel et que les enseignants ne sont pas toujours rigoureux dans les termes employés.

## 9.2.4. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P4

### 9.2.4.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance procédurale P4

*Connaissance procédurale (P4) : comment choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert ; le choix de la concentration maximale dépend du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.*

Nous avons posé une question dans le questionnaire sous la forme de graphique (QP4) pour savoir si les élèves savent choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. La réponse attendue à cette question est d'hachurer la gamme de concentration entre 0 et 6 mmol.L<sup>-1</sup>.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
<u>0-6 mmol.L<sup>-1</sup></u>	<u>25/49</u>	<u>51</u>	<u>32/49</u>	<u>65</u>
ne sait pas	15/49	30	8/49	16
0-10 mmol.L <sup>-1</sup>	5/49	10	6/49	12
0-8 mmol.L <sup>-1</sup>	1/49	2	1/49	2
0-7 mmol.L <sup>-1</sup>	0/49	0	2/49	4
1-6 mmol.L <sup>-1</sup>	1/49	2	0/49	0
1-8 mmol.L <sup>-1</sup>	1/49	2	0/49	0
8-10 mmol.L <sup>-1</sup>	1/49	2	0/49	0

*Tableau 51 : Réponses des élèves à la question sur le domaine de concentration (QP4) au pré et post-test*

D'après les résultats du pré-test, la moitié des élèves a hachuré le domaine de concentration que nous attendions. 5 élèves sur 49 (10%) ont hachuré le domaine de 0-10 mmol.L<sup>-1</sup> qui correspond aux limites du graphique que nous avons proposé. Nous avons trouvé les domaines hachurés suivants : 0-8, 1-6, 1-8 et 8-10 mmol.L<sup>-1</sup> et chacun a un taux très faible (2%). Un tiers des élèves n'a pas répondu à cette question dans le pré-test, peut-être qu'ils n'ont pas bien compris la question ou bien ils n'ont jamais vérifié le domaine de concentration en fonction de la loi de Beer-Lambert sur une courbe d'étalonnage spectrophotométrique. Dans ce cas précis, nous nous référons aux entretiens que nous avons effectués auprès des enseignants avec lesquels nous avons travaillé. Les deux enseignants nous ont confirmé qu'ils ont enseigné à leurs élèves le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert lorsqu'ils abordent la loi de Beer-Lambert. Nous donnons ci-dessous un extrait de nos entretiens qui nous a permis de dire que les élèves devraient connaître ce domaine de validité de la loi de Beer-Lambert avant qu'ils travaillent avec nous.

Q : Pour le domaine de validité de loi de Beer-Lambert, est-ce que vos élèves le connaissent ?

E1 : ça c'est oui... le domaine de validité, on travaille beaucoup dessus, le domaine de validité d'une loi que ce soit celle-ci ou les autres. Ça on le fait tout le temps, la loi et son domaine de validité. Je pense que cela ne pose pas de problème.

Q : ils l'ont appris en Terminale ?

E1 : en Terminale, et déjà en seconde, quand on fait avec la loi  $P.V = n. R. T$  par exemple avec des gaz parfaits, on parle déjà du domaine de validité.

*Entretien avec l'enseignant E1 sur le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert*

Pour l'enseignant E2 nous avons eu la même confirmation sur le domaine de validité de cette loi.

Les réponses des élèves à cette question au post-test montrent que 32 élèves sur 49 (65%) ont répondu correctement. 6 élèves ont hachuré tout le graphique. Nous avons rencontré une réponse qui n'est pas apparue dans le pré-test, dans laquelle 2 élèves ont hachuré le domaine de  $0-7 \text{ mmol.L}^{-1}$ . Comme nous voyons dans le tableau ci-dessus, il existe encore des élèves (8 élèves) qui n'ont pas répondu à cette question dans le post-test.

Nous avons constaté une évolution importante qui concerne les élèves n'ayant pas répondu à cette question dans le questionnaire. Au pré-test, 30% des élèves n'étaient pas capables de choisir le domaine de concentration où la loi de Beer-Lambert s'applique à partir d'un graphique obtenu selon les résultats expérimentaux. La réponse « *ne sait pas* » n'a pas totalement disparu dans le post-test mais elle est plus faible (16%) par rapport au pré-test.

D'après les résultats du pré-test concernant l'état de connaissance procédurale P4 chez les élèves, nous pouvons dire que la moitié des élèves sont capables de choisir le domaine de concentration de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert à partir d'un graphique obtenu expérimentalement, avant l'expérimentation avec le logiciel.

#### 9.2.4.2. Résultat moyen sur l'évolution de la connaissance procédurale P4

Nous présentons dans le tableau ci-dessous, l'évolution de la connaissance procédurale P4 à la fois entre les pré et post-tests et pendant l'expérimentation avec le logiciel. L'indicateur que nous recherchons dans l'expérimentation avec le logiciel est de préparer des solutions ayant des concentrations dans le domaine de validité de la loi de Beer-Lambert.

	Pré-test		Post-test		Avant l'intervention du tuteur		Protocole final	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%	Nombre binômes	%	Nombre binômes	%
P4 domaine de concentration	25/49	51	32/49	65	13/28	46	13/28	46

*Tableau 52 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P4 (domaine de concentration) à la fois lors de l'expérimentation avec le logiciel et entre les pré et post-tests*

Pour l'évolution de la connaissance procédurale P4 du pré-test au post-test (comparaison C1) chez les élèves, nous pouvons dire qu'il s'agit d'une évolution parce que 1 élève sur 2 était capable de répondre correctement à la question QP4 au pré-test et 2 élèves sur 3 ont répondu correctement au post-test.

En ce qui concerne l'évolution de cette connaissance procédurale P4 lors de l'expérimentation avec le logiciel, nous avons constaté qu'il n'y a pas d'évolution parce que la réflexion sur la restriction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert n'a pas été imposée aux élèves par le logiciel lors de l'expérimentation. Le tuteur n'a pas évalué les concentrations de la gamme étalon en fonction du domaine de validité de la loi de Beer-Lambert et donc il n'envoie aucun message d'erreur par rapport à celle-là. Malgré tout, les élèves ont pu prendre en compte ce domaine de validité soit au début de leur travail en lisant la consigne qui donne des indices sur ce domaine, soit après avoir obtenu les résultats expérimentaux, un spectre d'absorbance qui montre éventuellement saturation d'une absorbance. 13 binômes sur 28 (46%) ont mobilisé correctement cette connaissance procédurale avant l'intervention du tuteur et les 15 autres binômes ne l'ont pas utilisée de façon adéquate.

Etant donné qu'il n'y a pas d'évolution pendant l'expérimentation avec le logiciel à cause du dysfonctionnement du tuteur, nous n'avons pas analysé l'évolution de la connaissance procédurale P4 individuellement chez les élèves, ni la manière de construire cette connaissance procédurale.

## 9.2.5. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P5

### 9.2.5.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance procédurale P5

*Connaissance procédurale (P5) : comment choisir la solution de référence ; choisir la bonne solution de référence, c'est identifier le ou les composés dont les absorbances sont susceptibles de s'ajouter à celle du E124.*

Dans le questionnaire, nous avons posé une question (QP5) ayant pour but de savoir si les élèves sont capables de choisir la solution de référence du spectrophotomètre dans le cadre d'un TP utilisant cet appareil de mesure. La réponse attendue à cette question est de choisir les deux composés permanganate de potassium ( $\text{KMnO}_4$ ) et chlorure de cobalt ( $\text{CoCl}_2$ ), parmi les trois proposés, pour la solution de référence afin que l'appareil mesure uniquement l'absorbance du dichromate de potassium ( $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ).

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
$\text{KMnO}_4$ et $\text{CoCl}_2$	26/49	53	27/49	55
ne sait pas	15/49	30	14/49	29
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	3/49	6	5/49	10
$\text{KMnO}_4$	2/49	4	1/49	2
eau	2/49	4	2/49	4
$\text{CoCl}_2$ et $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	1/49	2	0/49	0

Tableau 53 : Réponses des élèves à la question sur la solution de référence (QP5) au pré et post-test

D'après les résultats du pré-test, 26 élèves sur 49 (53%) ont choisi correctement les deux composants comme solution de référence. 3 élèves sur 49 (6%) ont choisi la solution de dichromate de potassium même si nous voulions mesurer son absorbance. Le fait de choisir la



solution d'eau en tant que solution de référence peut être lié à l'habitude de la classe où la solution de référence correspond généralement à l'eau. 15 élèves sur 49 (30%) n'ont pas répondu à cette question dans le pré-test.

Les résultats du post-test sont globalement très proches de ceux du pré-test. Il existe toujours des élèves n'ayant pas répondu à cette question dans le post-test comme nous voyons dans le tableau ci-dessus.

En ce qui concerne l'état de cette connaissance procédurale (P5) chez les élèves avant l'expérimentation avec le logiciel *Educ@ffix.net*, nous pouvons dire que la moitié des élèves sont capables de choisir la solution de référence quand il s'agit d'un mélange de composants.

### 9.2.5.2. Résultat moyen sur l'évolution de la connaissance procédurale P5

Nous présentons dans le tableau ci-dessous l'évolution de la connaissance procédurale P5 à la fois du pré-test au post-test et pendant l'expérimentation avec le logiciel. Au niveau des actions effectuées par les élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel, l'utilisation correcte de la connaissance procédurale signifie que l'élève fait le blanc avec la solution adéquate (eau) au début de la troisième étape avant l'intervention du tuteur et il le fait correctement dans son protocole final.

	Pré-test		Post-test		Avant l'intervention du tuteur		Protocole final	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%	Nombre binômes	%	Nombre binômes	%
P5 solution de référence	26/49	53	27/49	55	11/28	39	21/28	75

*Tableau 54 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P5 (solution de référence) à la fois entre les pré et post-tests et lors de l'expérimentation avec le logiciel*

Comme nous le voyons dans le tableau ci-dessus, s'il y a peu d'évolution du nombre de bonnes réponses entre les pré et post-test, en revanche l'augmentation des élèves ayant bien utilisé la connaissance procédurale P5 au cours de l'utilisation du logiciel est forte. Cette augmentation peut être expliquée par les interventions du tuteur lors de l'expérimentation avec le logiciel. En effet, les élèves ayant rencontrés la difficulté liée à la notion de solution de référence ont probablement reçu le message d'erreur suivant : « *vous enregistrez votre spectre de référence avec une solution qui n'est pas adaptée pour votre TP* ». Ce message les a probablement obligés à se poser des questions afin de trouver la bonne solution de référence. Parmi les 17 binômes, n'ayant pas enregistré la ligne de base avec la solution adéquate avant l'intervention du tuteur, 11 binômes n'ont pas choisi la bonne solution et 6 binômes n'ont pas enregistré cette ligne de base du spectrophotomètre, ce qui souligne une difficulté liée à penser à faire le blanc ou même savoir qu'il faut en faire un. Dans le protocole final, il reste 7 binômes qui n'ont toujours pas bien utilisé cette connaissance. Leur difficulté pour la plupart est liée au choix de la solution de référence.

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 procédurale, dans des situations plus complexes.

Nous donnons ci-dessous deux extraits de nos entretiens concernant la notion d'additivité des absorbances afin de montrer ce qui se passe dans la classe.

Q : Pour la notion d'additivité des absorbances, est-ce que vos élèves la connaissent ?

E1 : La notion d'additivité, on n'insiste pas beaucoup. C'est un des points sur lequel on n'insiste pas et c'est la limite du programme de Terminale d'ailleurs.

Q : Pourquoi ? Qu'est-ce qu'il dit le programme ? il ne faut pas insister sur cette notion ?

E1 : Je ne sais pas. Pas insister trop sur la notion d'additivité d'absorbance.

Q : Mais quand on fait le blanc, cette notion c'est déjà inclus dedans.

E1 : Oui oui, ça c'est déjà inclus dedans mais on n'insiste pas beaucoup. Ça inclut dedans tu as raison...

*Entretien avec l'enseignant E1 sur la notion d'additivité des absorbances*

Q : Pour la notion d'additivité des absorbances, est-ce que vos élèves la connaissent ?

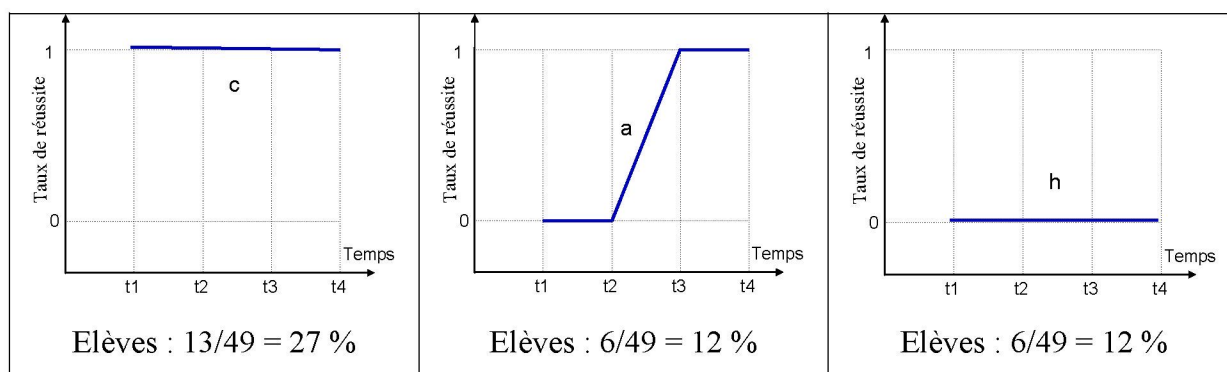
E2 : c'est vu en théorie mais c'est jamais vu en pratique. On dit que les absorbances s'ajoutent mais pour eux comme on part toujours de mesure d'absorbance de solution aqueuse, en générale le blanc se fait toujours avec de l'eau et on utilise une seule espèce chimique donc ils voient en théorie les absorbances c'est une grandeur additive mais ils n'utilisent jamais en pratique.

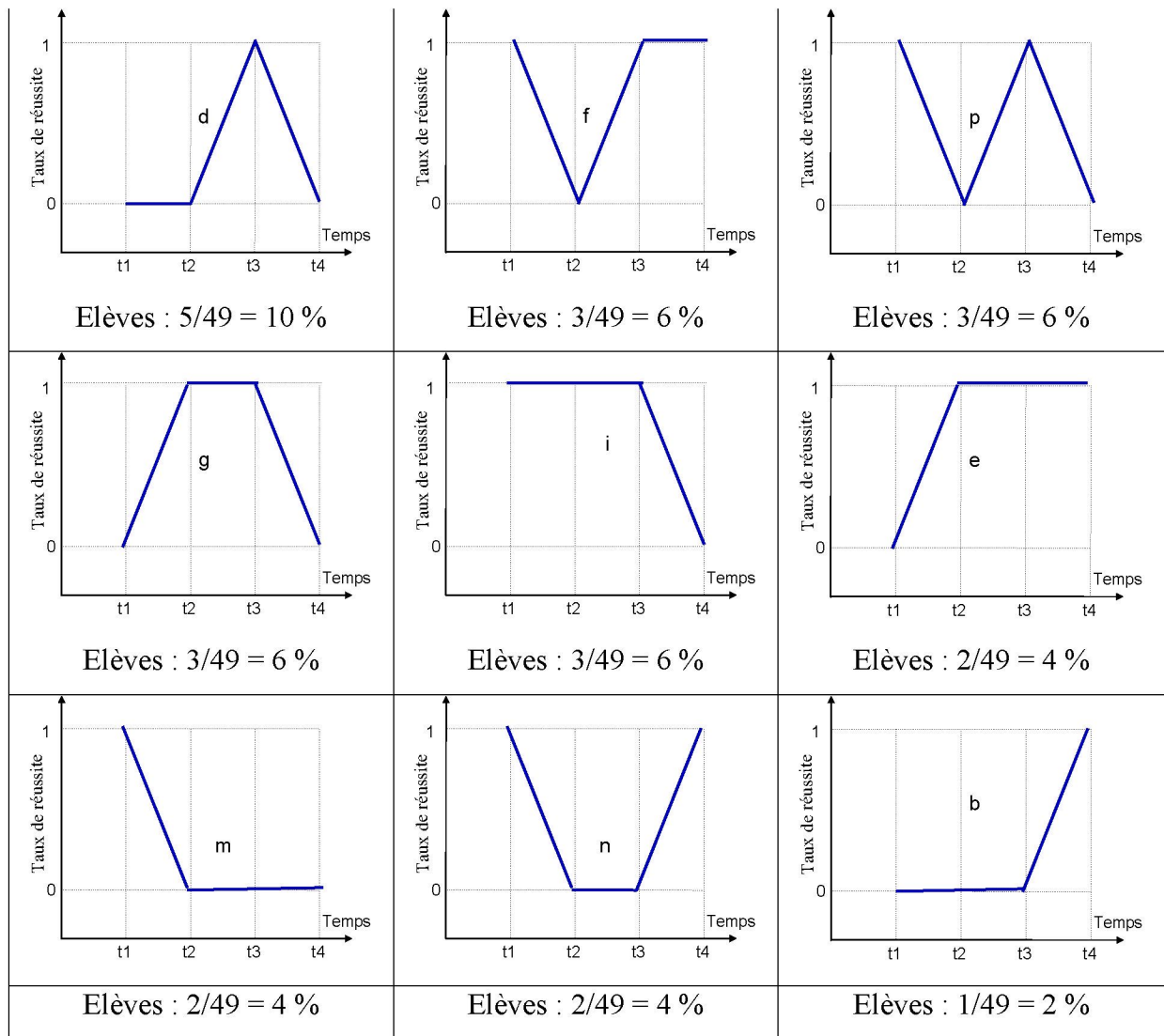
*Entretien avec l'enseignant E2 sur la notion d'additivité des absorbances*

Etant donné que le programme officiel de Terminale S n'aborde pas la notion d'additivité des absorbances et que les enseignants n'insistent pas beaucoup sur cette notion dans la classe lorsqu'ils utilisent le spectrophotomètre, il est possible de rencontrer un taux de réussite aussi faible dans les réponses des élèves au questionnaire et dans l'expérimentation avec le logiciel sur le choix de la solution de référence, même s'il existe des représentations schématiques sur cette notion dans le manuel que les élèves utilisent (cf. figure 11, chapitre 3.2.2.).

### 9.2.5.3. Résultats d'évolution individuelle de la connaissance procédurale P5

L'analyse individuelle des réponses des élèves et leurs actions effectuées lors du TP nous a montré qu'il y a 12 types de graphiques correspondants à l'évolution de la connaissance procédural P5. Nous les présentons ci-dessous.





Nous avons constaté que 13 élèves ont toujours utilisé correctement la connaissance procédurale P5 (graphique C). 6 élèves ont construit cette connaissance procédurale comme nous le voyons dans le graphique A.

Il existe 6 élèves qui n'ont jamais utilisé correctement la connaissance procédurale P5 lors de notre étude (graphique H). Peut-être que le fait de ne pas connaître le spectrophotomètre et son utilisation les a bloqués tout au long de notre étude à la fois lors du questionnaire et dans l'expérimentation avec cet appareil.

Pour les élèves ayant suivi une évolution comme dans le graphique D, nous pouvons souligner l'aide du tuteur et la réussite de la tâche demandée. Il ne s'agit pas de réinvestissement de la connaissance procédurale P5 au post-test car la situation était plus difficile.

Quant au graphique G, nous pouvons parler d'une part de la complexité de la question posée au questionnaire (QP5) parce qu'il y avait 3 composés dans l'échantillon et d'autre part de la facilité de choisir la solution de référence lors de l'expérimentation avec le logiciel parce qu'il y avait 2 composés dans l'échantillon et l'un était l'eau.

#### 9.2.5.4. Construction de la connaissance procédurale P5

La construction de la connaissance procédurale P5 consiste à mettre en relation la connaissance théorique de la notion d'additivité des absorbances (T6) avec la tâche proposée. La verbalisation qui comprend la nécessité de faire le blanc en s'appuyant sur la notion d'additivité des absorbances est un indicateur que nous avons recherché dans les enregistrements audio.

Nous avons utilisé les traces logicielles et les enregistrements audio comme corpus pour pouvoir mettre en évidence la construction de cette connaissance procédurale chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé. Les traces logicielles nous ont permis de savoir à quel moment les élèves ont enregistré la ligne de base et avec quelle solution. Les enregistrements audio nous ont permis de connaître la façon dont les élèves ont pu construire cette connaissance procédurale.

Acquisition de connaissance procédurale	Indicateur de la construction de connaissance procédural lors du travail avec logiciel	Corpus
Construction de la connaissance P5 : comment choisir la solution de référence	Verbalisation comprenant la nécessité de <b>faire le blanc</b> en s'appuyant sur la notion <b>d'additivité des absorbances</b>	Enregistrements audio Traces logicielles

Comme nous l'avons expliqué dans les paragraphes précédentes, 6 élèves sur 49 (12%) ont construit la connaissance procédurale P5 à la fin de notre étude. Nous avons enregistré 4 élèves parmi les 6 élèves ayant construit cette connaissance procédurale et nous donnons deux exemples concernant la construction de la connaissance procédurale P5 lors du TP avec le logiciel.

Dans le premier exemple, il s'agit d'un binôme qui a réalisé un spectre de référence avec la solution diluée avant l'intervention du tuteur dans la troisième étape du TP. Nous donnons ci-dessous son cahier de laboratoire pour montrer ce qu'il a fait comme action dans cette étape-là.

...

#### **Etape 3 - Obtention des points de la courbe étalon**

- Je remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : S1.
- J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (C10 et C5) avant d'évaluer*

Après avoir ajouté ce spectre de référence effectué avec la solution diluée, les élèves (C10 et C5) ont évalué leur cahier de laboratoire. Ils ont reçu deux messages d'erreur suite à cette évaluation. Le message d'erreur reçu sur la notion du blanc est le suivant : « *vous enregistrez votre spectre de référence avec une solution qui n'est pas adaptée pour votre TP* ». Nous donnons ci-dessous l'extrait de dialogue des élèves sur cette notion.

...

C5 : une erreur sur la gamme étalon et une erreur d'utilisation du spectrophotomètre...

C10 : c'est quoi ça ?

C5 : il faut faire une mesure d'absorbance sur chaque solution et...

C10 : oui...

C5 : votre spectre de référence avec une solution qui n'est pas adaptée

C10 : attends si c'est pas ça... ça doit être...

C5 : ça c'est l'histoire de blanc...

C10 : oui... il faut faire du blanc avec de l'eau **parce qu'on l'a utilisée pour diluer**, c'est ça ?

C5 : t'as tout compris... ça on supprime

*Extrait de conversation des élèves (C5 et C10) sur la notion du blanc*

Après la discussion ci-dessus, ils ont supprimé le spectre de référence réalisé avec la solution diluée et ont fait le blanc avec l'eau. Comme prévu, nous n'avons pas trouvé de verbalisation directement sur l'additivité mais la phrase « il faut faire du blanc avec de l'eau parce qu'on l'a utilisée pour diluer » montre une certaine compréhension du phénomène. Les résultats discutés au préalable sur la connaissance théorique T6 montrent qu'elle n'est pas bien connue par les élèves. Donc nous vérifions si ces élèves possédaient la connaissance théorique T6 et celle procédurale P5 au pré-test. Les réponses données par ces élèves à la question QP5 au pré-test nous montrent que l'élève C10 y a répondu correctement et l'élève C5 n'a pas répondu de manière adéquate. Leurs réponses données à la question QT6 nous montrent le même résultat qu'à la question QP5. La mise en relation d'une connaissance procédurale avec la connaissance théorique associée est plus facile chez l'élève ayant acquis la connaissance théorique que chez l'élève ne l'ayant pas acquise.

Dans le deuxième exemple, il s'agit d'un binôme qui a réalisé un spectre de référence avec la solution mère (E124) avant l'intervention du tuteur dans la troisième étape du TP. Nous donnons ci-dessous le cahier du laboratoire des élèves (M3 et M22).

...

### **Etape 3 - Obtention des points de la courbe étalon**

- Je remplis la cuve du spectrophotomètre avec la solution : E124.

- J'enregistre le spectre comme ligne de base sur toute la gamme de longueur d'onde.

*Etat du cahier de laboratoire des élèves (M3 et M22) avant d'évaluer*

Avant d'effectuer un spectre de référence avec la solution mère (E124) ils ont consulté la partie cours concernant la « *spectrophotométrie* ». Nous donnons ci-dessous l'extrait de dialogue des élèves pour pouvoir comprendre comment ils ont procédé dans cette étape.

...

Ils consultent la partie cours « spectrophotométrie »

M22 : attends, spectre de référence... c'est pas ça ? c'est... un spectre de...

M3 : on fait ça, on fait avec que E124

M22 : oui

Ils ont réalisé un spectre de référence avec E124 et ils ont évalué leur protocole expérimental

M3 : une erreur sur la gamme étalon et une erreur d'utilisation du spectrophotomètre

M22 : peut-être on n'a pas bien utilisé le spectrophotomètre (*M22 rit*)

M3 : attends... vous enregistrez votre spectre de référence avec une solution qui n'est pas adaptée pour votre TP... ah bon !

M22 : vas au cours

Ils consultent la partie cours « spectrophotométrie »

M22 : référence... c'est pareil... blanc... et la somme des absorbances... l'absorbance de l'échantillon et... l'absorbance de la référence... ok

M3 : mais il dit pas avec quoi on le fait

M22 : justement, il faut faire avec l'eau

M3 : pourquoi l'eau ?

M22 : parce qu'on a mis l'eau dans la solution étalon E124a, il n'y en a que 2

M3 : si t'en es sûr, pas de problème

M22 : oui je suis sûr, vas-y...

*Extrait de conversation des élèves (M3 et M22) sur la notion du blanc*

Comme nous pouvons le constater à partir de cette discussion, ils ont modifié la solution de référence après l'intervention du tuteur et après avoir accédé à la partie cours théorique sur la notion concernée. Ils ont également repris des mots qui sont données par le cours lors de celle-ci. Ces deux élèves n'ont pas répondu de manière exacte à la question QP5, ni à la question concernant la connaissance théorique T6 au pré-test. En lisant le cours, il semble que M22 a compris ce qu'il fait. Cela l'a aidé à faire la relation que nous recherchions.

En ce qui concerne la construction de la connaissance procédurale P5 chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé, nous pouvons dire que cette construction a eu lieu par la mise en relation de la connaissance théorique associée avec la tâche proposée, à l'aide du tuteur et du cours.

## 9.2.6. Résultats détaillés sur la connaissance procédurale P6

### 9.2.6.1. Réponses des élèves au questionnaire sur la connaissance procédurale P6

*Connaissance procédurale (P6) : comment choisir la longueur d'onde de mesure ; choisir la longueur d'onde de mesure, c'est repérer le maximum d'absorbance dans un spectre d'absorbance qui n'entraîne pas la saturation du spectrophotomètre.*

Nous avons posé deux questions (QP6a et QP6b) pour savoir si les élèves sont capables de choisir la longueur d'onde de mesure à partir d'un spectre d'absorbance. La réponse attendue pour la question QP6a est de nommer la lettre X comme la longueur d'onde où l'absorbance est maximale ( $\lambda_{\max}$ ), la lettre Y comme l'absorbance maximale à la longueur d'onde X ( $A_{\max}$ ). Nous avons posé cette question à la fois dans les pré et post-tests. Mais nous avons posé la question QP6b que dans le post-test comme nous l'avons expliqué dans la partie analyse *a priori* de cette question. La réponse attendue à la question QP6b est de choisir la longueur d'onde 510 nm pour le produit 1 et 460 nm pour le produit 2.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
longueur d'onde	24/49	49	20/49	41
<i>la longueur d'onde où l'absorbance est maximale</i>	<i>14/49</i>	<i>29</i>	<i>16/49</i>	<i>33</i>
$\lambda_{\max}$	<i>4/49</i>	<i>8</i>	<i>8/49</i>	<i>16</i>
ne sait pas	5/49	10	1/49	2

longueur d'onde maximale	2/49	4	4/49	8
--------------------------	------	---	------	---

Tableau 55 : Réponses des élèves à la question Q6a pour la lettre X au pré et post-test

D'après les résultats de la question QP6a au pré-test, 14 élèves sur 49 (29%) ont répondu comme nous attendions pour la lettre X et 4 élèves sur 49 (8%) ont répondu en écrivant la notation suivante :  $\lambda_{\max}$ . Nous pouvons considérer ces deux réponses comme exactes. La moitié des élèves a nommé la lettre X comme longueur d'onde. Nous ne pouvons pas considérer cette réponse comme exacte car tous les points sur l'axe vertical dans le graphique donné à cette question correspondent à une longueur d'onde.

Comme nous voyons dans le tableau ci-dessus, 16 élèves ont répondu comme nous attendions à cette sous-question et 8 élèves ont utilisé la notation  $\lambda_{\max}$  dans leur réponse au post-test. Il existe toujours des élèves (20 élèves) qui ont nommé cette lettre comme longueur d'onde au pré-test.

Réponses	Pré-test		Post-test	
	Nombre élèves	%	Nombre élèves	%
absorbance	23/49	47	16/49	33
<i>absorbance maximale</i>	<u>15/49</u>	<u>30</u>	<u>19/49</u>	<u>39</u>
<u><math>A_{\max}</math></u>	<u>4/49</u>	<u>8</u>	<u>6/49</u>	<u>12</u>
<u>absorbance maximale à la longueur d'onde X</u>	<u>4/49</u>	<u>8</u>	<u>6/49</u>	<u>12</u>
ne sait pas	3/49	6	2/49	4

Tableau 56 : Réponses des élèves à la question Q6a pour la lettre Y au pré et post-test

Quant à la lettre Y, nous avons accepté 3 réponses comme exactes, (absorbance maximale,  $A_{\max}$ , absorbance maximale à la longueur d'onde X) et elles correspondent à un total de 23 élèves sur 49 (46%). 23 élèves ont nommé la lettre Y comme absorbance mais cette réponse ne peut pas être acceptée comme exacte car tous les points sur cet axe correspondent à l'absorbance d'une solution colorée.

31 élèves sur 49 (63%) ont répondu correctement à la question QP6a au post-test concernant la lettre Y. Il y a 16 élèves au total qui l'ont nommée comme absorbance au post-test.

En ce qui concerne l'état de cette connaissance procédurale (P6) chez les élèves avant qu'ils utilisent le logiciel *Educ@ffix.net*, nous pouvons dire que la plupart des élèves n'arrivent pas à désigner la longueur d'onde de mesure sur le spectre d'absorbance comme nous l'attendions. Dans ce cas, il est nécessaire de souligner deux aspects de la connaissance procédurale P6. Cette connaissance procédurale est liée d'une part à la notion de maximum d'absorbance dans un spectre et d'autre part au fait de repérer ce maximum d'absorbance à partir d'un spectre d'absorbance. La question QP6a concerne le premier aspect de la connaissance procédurale qui consiste à être conscient qu'un maximum d'absorbance existe. La question QP6b concerne le deuxième aspect de la même connaissance procédurale qui consiste à repérer ce maximum d'absorbance à partir d'un spectre.

Réponses	Post-test	
	Nombre élèves	%
460	41/49	84
635	3/49	6
460 et 635	2/49	4
ne sait pas	2/49	4
555	1/49	2

Tableau 57 : Réponses des élèves à la question sur le choix de la longueur d'onde de mesure (Q6b) au post-test pour le produit 2

Quant aux résultats de la question QP6b, nous pouvons dire que la totalité des élèves (100%) a choisi correctement la longueur d'onde de mesure (510 nm) pour le produit 1 dans le post-test. Par contre, 41 élèves sur 49 (84%) ont répondu correctement en choisissant la longueur d'onde 460 nm pour le produit 2 dans le post-test. Il y a 2 élèves qui ont choisi les deux longueurs d'onde (460 et 635 nm). 3 élèves sur 49 (6%) ont choisi la longueur d'onde 635 nm comme la longueur d'onde de mesure même si son pic d'absorbance est moins fort que celui de 460 nm. Il existe 2 élèves qui n'ont pas répondu à cette question au post-test et cela nous permet de dire que le fait de repérer le maximum d'absorbance à partir d'un spectre d'absorbance n'est pas évident pour ces élèves, quand il y a deux pics dans un spectre d'absorbance. Ces résultats nous montrent que les élèves réussissent à choisir la bonne longueur d'onde à partir d'un spectre d'absorbance mais il existe quelques difficultés quand il y a deux pics dans un spectre fourni.

### 9.2.6.2. Résultat moyen sur l'évolution de la connaissance procédurale P6

Avant de comparer les résultats des pré et post-test avec ceux de l'expérimentation avec le logiciel, nous soulignons d'abord que nous avons exclu de nos résultats les élèves qui n'ont fait que des spectres d'absorbance dans leur protocole expérimental. En effet, cette stratégie valable suivie par ces élèves ne nécessite pas de mesurer une absorbance d'une solution colorée. Ils n'ont donc pas interagi avec cette connaissance procédurale. Après un calcul du nombre d'élèves qui étaient présents au pré et post-test et qui ont mesuré des absorbances dans leur travail avec le logiciel, nous avons trouvé 22 élèves.

Pour l'évolution de la connaissance procédurale P6 chez les élèves du pré-test au post-test (comparaison C1), nous pouvons dire qu'il s'agit d'une petite évolution parce que le nombre d'élèves ayant répondu correctement à la question QP6a a augmenté au post-test par rapport au pré-test, comme nous le voyons dans le tableau ci-dessous. En ce qui concerne l'expérimentation avec le logiciel, l'indicateur de réussite correspond au choix correct de la longueur d'onde de mesure (508+10 nm). Deux erreurs possibles ont été repérées. Dans le premier cas, l'élève choisit une longueur d'onde de travail sans faire de spectre d'absorbance, ce qui correspond au premier aspect de la connaissance procédurale P6 : non prise en compte du spectre d'absorbance, et donc d'un maximum d'absorbance. Dans le deuxième cas, l'élève n'arrive pas à analyser de manière adéquate le spectre d'absorbance fourni afin de choisir la bonne longueur d'onde de mesure, ce qui correspond au deuxième aspect de la connaissance procédurale P6. Ce deuxième cas est lié au domaine de validité de la loi de Beer-Lambert car un spectre saturé ne permet pas de voir la bonne longueur d'onde correspondante au maximum d'absorbance, comme le cas du spectre de la solution mère (E124) dans notre expérimentation.



		Pré-test		Post-test		Avant l'intervention du tuteur		Protocole final	
		Nombre élèves	%	Nombre élèves	%	Nombre binômes	%	Nombre binômes	%
P6 choisir longueur d'onde	X	13/22	60	17/22	77	5/11	45	8/11	72
	Y	11/22	50	15/22	68				

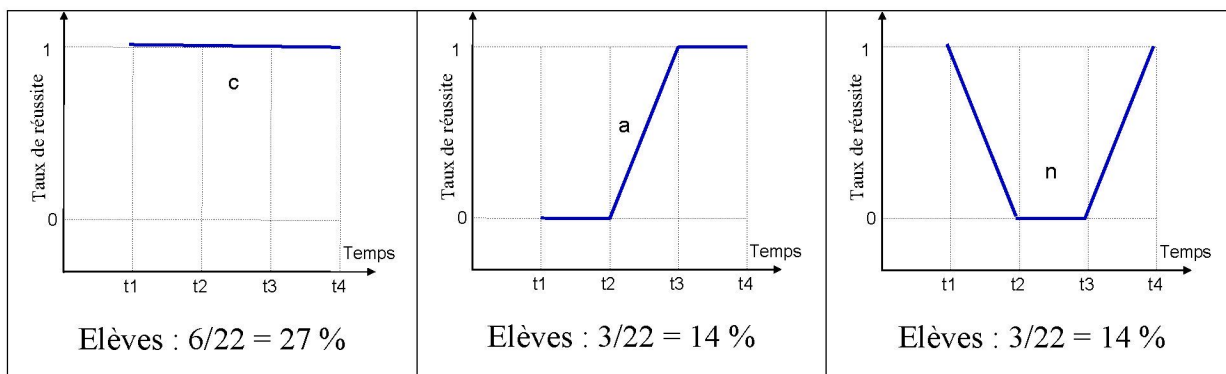
Tableau 58 : Nombre et pourcentage d'élèves ayant utilisé correctement la connaissance procédurale P6 (choisir longueur d'onde) à la fois entre les pré et post-tests (QP6a) et lors de l'expérimentation avec le logiciel.

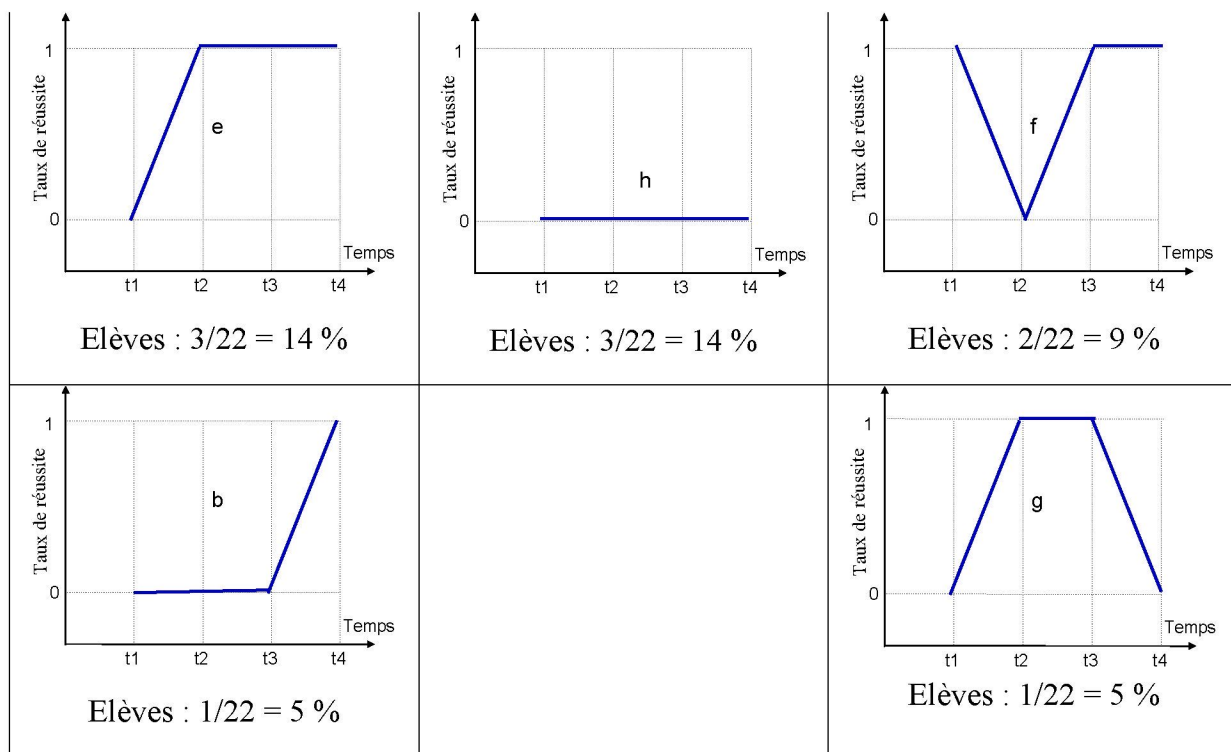
D'après les actions effectuées par les élèves lors de l'expérimentation avec le logiciel, nous pouvons dire qu'il existe une évolution de cette connaissance procédurale parce que 5 binômes sur 11 (45%) ont choisi correctement la longueur d'onde de travail avant l'intervention du tuteur et 8 binômes sur 11 (72%) ont choisi la bonne longueur d'onde de travail dans leur protocole final (comparaison C2). Cette augmentation peut être expliquée par des retours du tuteur parce que les élèves n'ayant pas choisi la bonne longueur d'onde lors du travail avec le logiciel ont reçu le message d'erreur suivant : « dans votre protocole, votre longueur d'onde de mesure est trop éloignée de  $\lambda$  ( $A_{max}$ ) » et ce dernier oblige les élèves à réfléchir afin de proposer une longueur d'onde adéquate. Parmi les 6 binômes qui n'ont pas choisi la bonne longueur d'onde avant l'intervention du tuteur, nous avons constaté que 3 binômes ont eu un spectre saturé lors de leur travail avec le logiciel. En ce qui concerne les 3 binômes qui n'ont toujours pas mesuré l'absorbance de(s) solution(s) préparée(s) à la bonne longueur d'onde lors du travail avec le logiciel, nous avons constaté que 2 binômes n'ont pas demandé un spectre d'absorbance et 1 binôme a eu le spectre saturé de la solution mère mais ne l'a pas exploité avant de mesurer des absorbances.

### 9.2.6.3. Résultats d'évolution individuelle de la connaissance procédurale P6

Lors de l'analyse individuelle des réponses de chaque élève nous avons pris en compte les deux réponses données à la question QP6a au pré et post-test. Nous avons attribué un taux de réussite de 1 uniquement lorsque l'élève a répondu correctement aux deux sous-questions de la question QP6a.

L'analyse individuelle de l'évolution de la connaissance procédurale P6 chez les élèves montre qu'il existe 8 types de graphiques.





Selon les résultats de l'analyse individuelle de chaque élève, nous avons constaté qu'il y a 3 élèves qui correspondent au graphique A, ce qui signifie qu'ils ont construit la connaissance procédurale P6 lors de notre étude.

3 élèves ont utilisé de façon exacte cette connaissance procédurale lors du questionnaire mais pas lors de l'expérimentation avec le logiciel, à savoir le graphique N. Nous illustrons ceci par un extrait de dialogue des élèves (M19 et M18) qui ont choisi une longueur d'onde de mesure inadaptée pour les mesures spectrophotométriques et qui n'ont pas changé cette longueur d'onde de mesure jusqu'à la fin du travail.

Les élèves (M19 et M18) ont répondu de façon exacte à la question QP6a au pré-test. Lors du travail avec le logiciel dans l'étape concernée, après avoir fait le blanc avec l'eau, ils ont réalisé un spectre d'absorbance avec la solution mère (E124). Ils demandent le spectre d'absorbance pour choisir la longueur d'onde de mesure.

M19 : il faut avoir le résultat de ça... Monsieur il nous faut un résultat là

E : qu'est-ce qu'il faut ?

M19 : il faudra la longueur d'onde de...

E : de...

M19 : longueur d'onde qu'on vient de mesurer là, la longueur d'onde maximale

E : pourquoi faire ?

M19 : pour travailler avec la longueur d'onde

E : il faut appeler Mustafa alors

M19 : le spectre d'E124

E : d'accord...

M : qu'est-ce que vous voulez ?

M19 : le spectre d'E124

M : quelle est sa concentration ?

M18 : c'est la première

M19 : la solution mère

M : tenez, le spectre d'E124

M18 : merci... c'est ça le pic ?

M19 : 450

Après avoir fourni le spectre d'absorbance d'E124, ils ont mesuré l'absorbance d'E124 à 450nm.

M18 : c'est la  $\lambda$  de la solution mère ?

M19 : oui

M18 : mais les autres ?

M19 : ça veut dire que normalement ça reste pareil, sauf que ça diminue comme ça

M18 : ok, d'accord

Puis ils ont mesuré les absorbances des autres solutions diluées à 450 nm.

*Extrait de conversation des élèves (M18 et M19) sur la longueur d'onde de mesure*

Comme nous l'avons vu dans le dialogue ci-dessus, les élèves ont choisi une longueur d'onde de travail (450 nm) à partir d'un spectre d'absorbance qui est saturé et ils ont mesuré toutes les absorbances à cette longueur d'onde. Cet exemple nous montre que même si les élèves répondent correctement aux questions posées dans le questionnaire, ils ont du mal à mobiliser la connaissance procédurale P6 lors de l'expérimentation avec le logiciel face à un spectre d'absorbance saturé à cause d'une autre connaissance liée au domaine de validité de la loi de Beer-Lambert. Ces élèves n'ont pas pu constater la nécessité de réaliser un autre spectre d'absorbance avec une solution plus diluée.

Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue d'un binôme n'ayant pas choisi de façon adéquate la bonne longueur d'onde de mesure tout au long de son travail. Les élèves (M13 et M14) correspondent à des graphiques type B et H. cependant, l'intérêt de cet exemple est d'illustrer un raisonnement d'élève qui n'évalue pas comme dans les graphiques types B, H et N.

Les élèves ont fait le blanc avec la solution mère (E124) avant la discussion ci-dessous. Actuellement il n'y a qu'un spectre de référence dans leur cahier du laboratoire. Ils n'ont pas réalisé un spectre ni mesuré d'absorbance. Après avoir évalué leur protocole expérimental, ils ont reçu deux messages d'erreurs : l'un est lié à la gamme étalon et l'autre est lié à l'utilisation du spectrophotomètre.

M13 : une erreur de gamme étalon... il faut que vous fassiez une mesure d'absorbance sur chaque solution de votre gamme étalon

M14 : 740 ?

M13 : pourquoi ?

M14 : je sais pas... généralement ça va être comme ça...

Ils lisent la consigne

M14 : et voilà...

M13 : entre 190 et 1100

M14 : oui ça va

M13 : on va mettre 200... attends c'est 190 1100 c'est pas très...

M14 : 750 c'est le milieu je crois...
Après la discussion ci-dessus, ils ont mesuré les absorbances de 4 solutions préparées à 750 nm. Ensuite ils ont consulté la partie « Educ@ffix », « spectro » et « dosages ». Avant la discussion ci-dessous, ils ont évalué leur protocole.
M14 : on va mettre un spectre plutôt que un truc... M13 : ahh... on va supprimer les trucs M14 : d'accord
Les élèves n'ont fait que des enregistrements de spectre pour chaque solution.

*Extrait de conversation des élèves (M13 et M14) sur la longueur d'onde de mesure*

Comme nous l'avons vu ci-dessus, les élèves ont choisi une longueur d'onde de mesure au hasard et ils n'ont pas mobilisé de façon adéquate la connaissance procédurale P6 lors de l'expérimentation. Dans ce cas, il est nécessaire de souligner le rôle du tuteur qui a peut-être induit en erreur les élèves qui ne sont pas conscients de la nécessité de réaliser un spectre avant de mesurer l'absorbance d'une solution colorée à une longueur d'onde.

#### 9.2.6.4. Construction de la connaissance procédurale P6

La construction de la connaissance procédurale P6 consiste à mettre en œuvre cette connaissance procédurale en se basant sur la connaissance théorique de spectre d'absorbance (T4), elle-même liée aux notions de longueur d'onde (T3) et d'absorbance (T7).

Afin de mettre en évidence la construction de cette connaissance procédurale, nous avons utilisé les traces logicielles et les enregistrements audio comme corpus. Les traces logicielles nous ont permis de savoir à quel moment les élèves ont mesuré l'absorbance de(s) la solution(s) diluée(s) et à quelle longueur d'onde. Les enregistrements audio nous ont permis de savoir comment ils ont choisi la longueur d'onde de mesure.

Acquisition de connaissance procédurale	Indicateur de la construction de connaissance procédural lors du travail avec logiciel	Corpus
Construction de la connaissance P6 : comment choisir la longueur d'onde de mesure	Verbalisation comprenant la nécessité de mesure d'absorbance à la longueur d'onde de travail en se référant au <b>spectre d'absorbance fourni</b>	Enregistrements audio Traces logicielles

D'après les résultats que nous avons obtenus, 3 élèves sur 22 (14%) ont construit la connaissance procédurale P6 comme dans le graphique A. Nous avons enregistré 2 élèves parmi les 3 élèves ayant construit cette connaissance procédurale.

Dans l'exemple suivant, il s'agit d'un binôme qui n'a pas choisi la bonne longueur d'onde de mesure avant l'intervention du tuteur. Il a choisi la longueur d'onde 750 nm en consultant la partie cours théorique du logiciel. Nous donnons ci-dessous un extrait de dialogue des élèves (C5 et C10) afin de montrer comment ils ont procédé lors du choix de la longueur d'onde de mesure.

C5 & C10 parlent des résultats de l'évaluation	<p>...</p> <p>C5 : attends, attends, longueur d'onde de travail</p> <p>C10 : c'est pas marqué derrière ?...</p> <p>C5 : tiens, zone rouge... on va chercher la longueur d'onde du rouge... ça doit être autour de 700 750</p> <p>C10 : là, ça avance pas</p> <p>C5 : essaye 750 et on verra bien</p> <p>C10 : moi je pense que ça doit aller</p>
Après la consultation des différentes parties cours théorique, ils ont choisi 750 nm comme la longueur d'onde de mesure pour une solution préparée. Et puis ils ont évalué leur protocole.	
C5 & C10 parlent des résultats de l'évaluation	<p>C10 : erreur d'utilisation du spectrophotomètre</p> <p>C5 : encore !</p> <p>C10 : dans votre protocole, votre longueur d'onde de mesure est trop éloignée de lamda</p> <p>C5 : on vient d'y aller dans le cours... utilisation de la spectrophotométrie...</p> <p>C10 : ouais</p> <p>C5 : non c'est pas 700... il faut faire les 3, faire avec toutes les solutions</p> <p>C10 : c'est aspect théorique plutôt, non ?</p> <p>C5 : j'ai pas lu aspect théorique correctement</p> <p>C10 : là... ahha...au niveau du maximum d'absorbance une valeur approché coefficient...</p> <p>C5 : mais il nous dit, c'est pas ça...</p> <p>C10 : <math>A = k \lambda</math>, il faut... c'est quoi lamda ?... modifier... mets 600</p>
Suite à cette discussion ils ont d'abord accédé à la partie cours concernant la « <i>spectrophotométrie</i> » ensuite ils ont modifié la longueur d'onde de mesure (c'était 750nm) avec 600 nm. Ils ont évalué leur cahier du laboratoire.	
C5 & C10 parlent des résultats de l'évaluation	<p>C5 : putain, on est con...</p> <p>C10 : tu vois...</p> <p>C5 : ça c'est toujours la même, ça c'est normal...</p> <p>C10 : il faut qu'on fasse d'autres choses...</p> <p>C5 : bien d'accord... on refait réaliser un spectre peut-être avec des machines et après...</p> <p>C10 : il faut peut-être avoir visualisé le spectre</p> <p>C5 : il faut demander au gars... il faut demander la longueur d'onde</p> <p>C10 : ou au moins le graphe</p> <p>Ils ont demandé le spectre d'absorbance de la première solution préparée et ils l'ont eu</p> <p>C10 : tu vois c'est 500... le truc maximal dont on a besoin c'est 500...</p> <p>C5 : non ça fait 510...</p> <p>C10 : donc réalisons une absorbance</p>

C5 : on va supprimer ça
-------------------------

Après avoir eu le spectre d'absorbance de la solution préparée, ils ont ajouté une mesure d'absorbance de cette solution à 510 nm.
--

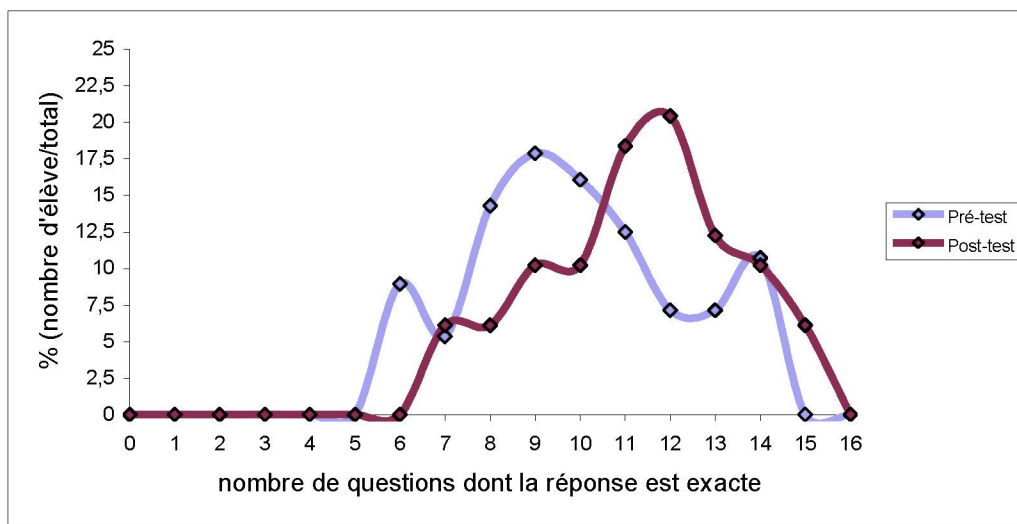
*Extrait de conversation des élèves (C5 et C10) sur la longueur d'onde de mesure*

Comme nous l'avons constaté à partir de l'extrait ci-dessus, les élèves ne pensent pas à réaliser un spectre pour choisir la longueur d'onde de mesure lorsqu'ils travaillent avec le spectrophotomètre. Nous pouvons dire pour ce binôme que la construction de la connaissance procédurale P6 a été rendue possible après des retours du tuteur et une suite de consultation du cours.

En ce qui concerne la construction de la connaissance procédurale P6, nous constatons que cette construction n'est pas évidente pour les élèves qui ne savent pas l'importance d'un spectre d'absorbance pour choisir la longueur d'onde de travail. Ainsi cette construction s'est basée sur la notion de spectre d'absorbance que les élèves possédaient auparavant.

### III. Conclusion

Selon les résultats du questionnaire (pré et post-test) concernant les connaissances théoriques et procédurales, nous pouvons dire qu'il s'agit d'une augmentation du nombre des réponses exactes chez les élèves avec lesquels nous avons travaillé. Nous présentons dans le diagramme ci-dessous le nombre des réponses exactes en moyenne. Comme nous pouvons le voir, la moyenne du nombre des réponses exactes a augmenté du pré-test au post-test. Ceci peut être expliqué d'une part par la construction des connaissances procédurales chez les élèves et d'autre part par la consultation de la partie cours théorique lors de l'expérimentation avec le logiciel.



En ce qui concerne les connaissances procédurales, nous pouvons dire que selon les résultats du pré-test, la moitié des élèves avec lesquels nous avons travaillé possédaient la plupart des connaissances procédurales avant qu'ils travaillent avec le logiciel pour construire un protocole expérimental.

Il est nécessaire de souligner que le fait de travailler en binôme lors de la résolution d'un problème posé et la disponibilité d'un tuteur artificiel lors de celui-ci ont joué un rôle positif pour les élèves ayant construit la(es) connaissance(s) procédurale(s) dans notre étude.

D'après les résultats du post-test concernant les connaissances procédurales, nous avons constaté qu'il s'agit d'une évolution pour toutes les connaissances procédurales du pré-test au post-test. Mais ces évolutions ne sont pas toujours significatives en terme d'apprentissage parce qu'il est nécessaire de prendre en compte non seulement les réponses données au questionnaire mais également les actions effectuées par les élèves lors de l'utilisation du logiciel afin de conclure sur l'acquisition de(s) connaissance(s) procédurale(s).

La manière dont nous avons analysé les réponses des élèves au questionnaire et leurs actions effectuées lors du travail avec le logiciel nous a permis de constater différents types d'évolution de leurs connaissances procédurales lors de notre étude. Cette analyse individuelle de l'évolution des connaissances procédurales nous a montré qu'il existe des élèves qui ont construit des connaissances procédurales et les ont acquises en terme d'apprentissage. Même si le nombre d'élèves ayant construit les connaissances procédurales (cf. graphique type A) n'est pas majoritaire (6 à 12 élèves), nous pouvons dire qu'ils les ont construites.

Pour élaborer le protocole expérimental demandé, les élèves ont essayé d'utiliser différentes connaissances procédurales, voire ils les ont construites. Ils ont parfois discuté entre eux,



accédé à la partie cours à la fois théorique et pratique pour décider l'opération à effectuer dans les différentes étapes du TP, ce qui a pu aider à construire les connaissances procédurales. Même si il n'y a pas d'indication précise sur l'erreur commise dans la partie cours, cette consultation a déclenché le dialogue entre les élèves au sein du binôme.

Il est nécessaire de souligner le rôle du tuteur lors du travail avec le logiciel. De façon majoritaire la construction des connaissances procédurales a été effectuée après l'intervention du tuteur, puisque la plupart des élèves ont pleinement profité de(s) message(s) d'erreur(s) qu'ils ont reçus, d'une part afin de corriger les erreurs commises et d'autre part pour décider l'opération à effectuer pour la suite du travail.

Grâce aux enregistrements audio et aux traces logicielles, nous avons essayé de mettre en évidence des raisonnements d'élèves appuyant la construction des connaissances procédurales chez ces élèves lorsqu'ils utilisent le logiciel. Le fait de travailler en binôme devant l'ordinateur nous a permis d'obtenir plus d'informations sur la manière de construire la connaissance procédurale. Mais souvent les élèves ne se sont pas exprimés explicitement au sein du binôme lors de leur travail. Une difficulté supplémentaire rencontrée concerne le nombre de binômes qui ont été enregistrés parmi ceux qui ont construit les connaissances procédurales.

En conclusion, nous avons constaté pour la construction des connaissances procédurales que :

- les connaissances théoriques nécessaires à la construction de connaissances procédurales ne sont pas toujours maîtrisées

- lorsque ces connaissances théoriques ne sont pas maîtrisées, les élèves consultent la partie cours théorique pour y remédier

- les retours du tuteur provoquent souvent une discussion au sein du binôme, qui aide à réussir la tâche et construire la connaissance procédurale

- un certain nombre d'élève a construit des connaissances procédurales. Malheureusement, peu de verbalisation ont été trouvées, afin de vérifier que les élèves relie la connaissance théorique avec la connaissance concernée.





## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES



## CHAPITRE 10. CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Notre thèse est une étude de l'apprentissage par la construction d'un protocole expérimental en chimie dans un environnement informatique et elle s'articule autour de deux axes :

(1) celui de la capacité d'un élève à concevoir un protocole expérimental avec l'EIAH  
*Educ@ffix.net*

(2) celui des apprentissages liés à la tâche de conception de protocole expérimental avec ce logiciel

Avant de dégager un bilan des résultats que nous avons obtenus et de souligner les pistes possibles pour la suite de notre étude, nous précisons d'abord les limites de notre étude.

### Limites de notre étude

La première limite tient à la durée que nous avons consacrée pour l'expérimentation avec le logiciel chez les élèves. En effet, à partir des résultats obtenus nous avons constaté que la durée laissée aux élèves pour qu'ils puissent répondre à la question posée dans le logiciel (1h30) n'était pas suffisante pour la moitié des élèves car ces derniers ne sont pas allés jusqu'à la dernière étape de la tâche demandée. Nous avons prévu initialement un temps de réalisation de deux heures. Cependant, le créneau horaire d'enseignement étant de deux heures, 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 d'une heure et demie. Cela peut aider à expliquer le fort taux de protocoles non terminés. Nous pensons qu'il serait intéressant de laisser deux heures aux élèves pour cette activité de construction du protocole expérimental dans *Educ@ffix.net*.

Une autre limite tient aux entretiens que nous avons réalisés auprès des enseignants avec lesquels nous avons travaillé. Nous avons travaillé avec eux pour préparer l'expérimentation. Ce travail avait pour but de savoir si les élèves connaissaient toutes les notions mises en jeu dans notre expérimentation et de savoir si la formulation des questions préparées pour le questionnaire était compréhensible par leurs élèves. Etant donné que nous avons effectué nos entretiens officiels après les trois premières phases (pré-test, expérimentation avec le logiciel et post-test), nous avons posé des questions plus précises sur les notions qui ont posé des problèmes pour les élèves lors de notre étude telles que rinçage, homogénéisation, utilisation de la spectrophotométrie, choix de la longueur d'onde. Il aurait été intéressant de poser les mêmes questions précises avant de commencer à travailler avec eux car il se peut que la façon de répondre à nos questions ait changé après avoir vu les travaux réalisés par leurs élèves. Le deuxième point à signaler est que la méthode d'entretien semi-directif ne permet pas toujours une interprétation approfondie comme le permet une analyse du discours.

Nous attendions des verbalisations chez les élèves travaillant en binôme, donnant des informations sur leurs raisonnements. Cependant, les élèves ont peu verbalisé spontanément. Nous pensons qu'il aurait été intéressant de réaliser des entretiens individuels avec les élèves ayant terminé la construction du protocole expérimental dans le logiciel (avant le post-test). Les opinions des élèves sur ce qu'ils ont fait dans ce logiciel peuvent être intéressantes du point de vue des difficultés rencontrées ainsi que de leurs raisonnements.

La dernière limite de notre étude est liée au nombre des élèves avec lesquels nous avons travaillé. Nous avons limité le nombre d'élèves pour notre étude à cause des contraintes de temps d'analyse des données recueillies. Nous pensons qu'il serait intéressant d'augmenter le

nombre d'échantillon d'un point de vue élèves et enseignants afin de savoir si les notions qui posent des problèmes pour les élèves existent à plus grande échelle.

## Résultats majeurs

Les principaux apports de notre recherche se situent au niveau de la capacité d'un élève de Terminale S à concevoir un protocole expérimental cohérent par rapport au problème posé en chimie dans un environnement informatique dédié. Notre étude a permis de mettre en évidence diverses difficultés rencontrées par les élèves lorsqu'ils construisent un protocole expérimental dans *Educ@ffix.net*. Nous avons montré qu'il existe des difficultés liées aux conceptions des élèves, au contrat didactique et au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation.

Nous avons identifié six conceptions qui n'avaient pas été reportées précédemment dans des travaux de recherche. La connaissance de ces différentes conceptions peut être le premier pas afin de mettre en place une situation adéquate pendant laquelle ces conceptions peuvent être déstabilisées.

En ce qui concerne les difficultés liées au contrat de la classe, le fait de demander aux élèves de préparer une manipulation qui sera réalisée par un robot, et par conséquent avec du matériel et des procédures différentes, entraîne une rupture de contrat. Certains des élèves n'ont pas identifié cette rupture de contrat, ou au moins n'ont pas su s'adapter.

Nous soulignons également l'importance d'un des résultats de notre étude qui concerne les difficultés liées au fait qu'il y ait déportation de l'expérimentation. D'une part, l'éloignement du matériel utilisé dans les activités expérimentales ne favorise pas la réflexion concernant son utilisation. D'autre part, il n'est pas facile pour les élèves d'anticiper sur les actions à réaliser.

Pour les élèves, la possibilité d'évaluer le travail qu'ils sont en train d'effectuer est importante. Elle permet dans un premier temps de mettre en évidence ce qui ne se passe pas bien dans leur travail et dans un deuxième temps de les pousser à réfléchir sur la cause de l'erreur commise. Même si le tuteur ne corrige pas une erreur commise, les élèves ont su profiter de l'explication de ce dernier et de la liste d'erreur affichée. La majorité des élèves a su utiliser correctement l'accès au tuteur, ce qui n'est pas toujours possible dans une situation de classe en raison d'un manque de disponibilité de l'enseignant. Néanmoins, un nombre important d'élèves a utilisé le tuteur pour vérifier immédiatement l'exactitude d'une action ajoutée dans leur cahier du laboratoire, ce qui correspond à une stratégie d'essai-erreur qui ne nous semble pas appropriée à l'apprentissage de connaissances procédurales.

La partie cours disponible concernant les concepts mis en jeu a aidé les élèves d'une part pour réviser leurs connaissances avant de construire le protocole expérimental car ils accèdent en moyenne 7 fois directement à la partie cours et majoritairement à la partie théorique. D'autre part le cours a aidé à remédier aux erreurs commises car les accès via le tuteur sont en moyenne 7 dont une préférence pour la partie pratique. Pour les enseignants qui veulent concevoir un TP dans un EIAH, nous leur conseillons, d'après nos résultats, de dédier une partie d'explication à la fois sur les notions mises en jeu et sur les appareils disponibles dans l'activité expérimentale.

Les travaux de la littérature ont montré que la conception du protocole est une tâche difficile pour les élèves. Notre étude a montré que malgré certaines difficultés, une majorité d'élèves a réussi à concevoir avec un logiciel adapté un protocole permettant de répondre au problème posé et ceci en partie grâce au tuteur et au cours.

En ce qui concerne les apprentissages par la construction du protocole expérimental dans *Educ@ffix.net*, nous pouvons souligner que :

- les connaissances théoriques sont dans l'ensemble maîtrisées par les élèves mais peuvent parfois manquer,
- selon les connaissances procédurales, 3 à 12 élèves ont réussi à les acquérir au cours du travail effectué pendant notre expérimentation. Nous considérons que ces élèves ont construit une connaissance procédurale lorsqu'ils ne répondent pas correctement à la question concernée au pré-test, ils ne réalisent pas correctement l'action concernée au début du travail avec le logiciel mais ils la réalisent à la fin de la conception du protocole et répondent de façon adéquate à la même question au post-test,
- nous attendions des verbalisations montrant que pour construire une connaissance procédurale, les élèves font la relation entre une action à réaliser et la connaissance théorique sous-jacente. Quelques verbalisations vont dans ce sens mais nous en avons trouvé trop peu pour confirmer cette hypothèse.

### **Perspectives**

Suite à ce travail, nous sommes convaincus de l'intérêt de faire concevoir des protocoles expérimentaux à des élèves, même si ce travail est négligé dans la plupart des cas à la fois au niveau secondaire et universitaire par les enseignants, à cause du manque du temps. Nous voulons continuer dans cette direction à la suite de ce travail.

Nous aimerions étudier d'avantage l'impact de diverses conditions sur la réussite de la tâche de conception du protocole et ainsi sur les apprentissages. Nous pourrions ainsi contrôler l'accès au cours et au tuteur et jouer sur la visibilité du matériel.

De telles situations pourraient être incluses dans le logiciel *Educ@ffix.net*. Nous avons identifié des conceptions faisant obstacle à la conception du protocole expérimental. Il serait intéressant de pouvoir utiliser un tuteur qui effectue un diagnostic plus fin ce qui permettrait de renvoyer les élèves vers une situation les aidant à dépasser ces conceptions.

Ce travail réalisé avec *Educ@ffix.net* pourrait être étendu à d'autres situations expérimentales. Le choix de TP pourrait être guidé par la connaissance préalable de conceptions (cf. les travaux de la littérature), ce qui permettrait de mettre en place une ingénierie prenant en compte ces conceptions.



# BIBLIOGRAPHIE





## Bibliographie

- Abimbola, I.O. (1988). The problem of terminology in the study of students' conceptions in science. *Science Education*, n° 72, p. 175-184.
- Arce, J. & Betancourt, R. (1997). Student-designed experiments in scientific lab instruction, *Journal of College Science Teaching*, vol. 27, p. 114-118
- Astolfi, J.-P. & Develay M. (1989). *La didactique des sciences*, Que sais-je, PUF, n° 2448, Paris
- Astolfi, J.-P. (1995). *L'école pour apprendre*, Paris, ESF
- Astolfi, J.-P. (2003). *L'erreur, un outil pour enseigner*, Paris, ESF
- Astolfi, J.-P., Darot E., Ginsburger-Vogel Y. & Toussaint J. (1997). *Mots-clés de la didactique des sciences*, De Boeck Université
- Bachelard, G. (1938). *La formation de l'esprit scientifique*, Ed. Librairie Philosophique J. Vrin.
- Balacheff, N. (1995). Conception, connaissance et concept. In: Denise Grenier (Ed.) *Séminaire Didactique et Technologies cognitives en mathématiques* (p. 219-244). Grenoble - IMAG.
- Balacheff, N., Baron, M., Desmoulins, C., Grandbastien & M. Vivet., (1997). Conception d'Environnements Interactifs d'Apprentissage avec Ordinateur. Tendances et perspectives, *In Actes des journées nationales du PRC Intelligence Artificielle*, édition Hermès, Grenoble, p. 315-338.
- Bascones, J. & Novak, J.D. (1985). Alternative instructional systems and the development of problem-solving skills in physics. *European Journal of Science Education*, vol.7, n°3, p.253-261.
- Bayram, Z. (2005). Contrôle de l'activité en chimie, Thèse de Doctorat, soutenue à l'école Normal Supérieure de Cachan.
- Bécu-Robinault, K. (1997). Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques, Thèse de Doctorat, soutenue à l'Université Claude Bernard (Lyon I).
- Beney, M. (1995). Essai de caractérisation et d'analyse des activités intellectuelles des étudiants en TP de DEUG, Actes du 5<sup>ième</sup> séminaire nationale de recherche en didactique des sciences physiques, 15-17 octobre, Reims, p. 87-105.

- Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silberstein, J. (1986). Is an atom of copper malleable?, *Journal of Chemical Education*, vol.63, 64-66.
- Ben-Zvi, R., Eylon, B. & Silberstein, J. (1987). Students' visualization of a chemical reaction, *Education in Chemistry*, p.117-120.
- Bernard, C. (1865). *Introduction à l'étude de la médecine expérimentale*, Flammarion, Paris, 1984, 320 pages.
- Beyerbach, B. A. (1988). Developing a technical vocabulary on teacher planning: preservice teachers' concept maps, *Teaching & Teacher Education*, vol.4, p. 339-347.
- Blanchet, A. (1985). *L'entretien dans les sciences sociales*, Paris : Dunod.
- Blanchet, A. (1991). *Dire et faire dire l'entretien*, Paris : Colin
- Bornarel, J. (1991). L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire. Rapport à la demande de la Société Française de Physique, Paris, SFP.
- Boschmann, E. (2003). Teaching Chemistry via Distance Education, *Journal of Chemical Education*, vol.80, n°6, p.704-708.
- Brousseau, G. (1980). Les échecs électifs en mathématiques dans l'enseignement élémentaire. In *Revue de Laryngologie otologie rhinologie*, 101, 3-4, pp 107-131.
- Brousseau, G. (1983). Les obstacles épistémologiques et les problèmes en mathématiques. In : *Recherches en didactique des mathématiques*. 4(2) 164-198.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, In *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol.7, n°2, p.33-115, la pensée sauvage, Grenoble
- Brousseau, G. (1988). Le contrat didactique, le milieu, In *Recherches en Didactique des Mathématiques*, vol.9, n°3, p.309-336, la pensée sauvage, Grenoble
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*, Ed. La Pensée Sauvage, Grenoble.
- Bruillard, E. & Vivet M. (1994). Concevoir des EIAO pour des situations scolaires. Approche méthodologique. In N. Balacheff et M. Vivet (la pensée sauvage éditions), *Didactique et intelligence artificielle. Recherche en didactique des mathématiques*, vol.14, n°1.2, p. 275-304.
- Bruillard, E., Delannoy, P. & Lehuen, J. (2000). Quinze ans de recherche informatique sur les sciences et techniques éducatives au LIUM, *Sciences et Techniques Educatives*, Hermès, vol. 7 n°1, p. 87-145.
- Buckley, J.G. & Kempa, R.F. (1971). Practical work in sixth-form chemistry courses: an enquiry, *School Science Review*, 53(182), p. 24.

- Burgot, G. & Burgot, J.L. (2002). Méthode instrumentales d'analyse chimique et applications : Méthodes chromatographiques, électrophorèses et méthodes spectrales, édition T.
- Butts, B. & Smith, R. (1987). HSC Chemistry Students' Understanding of the Structure and Properties of Molecular and Ionic Compounds. *Research in Science Education*, 17, 192 – 201.
- Canal J.L., Genzling J.C., Pierraed M.A., Sarrazin L., (1992). La modélisation à l'école élémentaire. In Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. Paris, INRP.
- Cassels, J.R.T. & Johnstone A.H. (1984). The effect of language on student performance on multiple choice tests in chemistry, *Journal of Chemical Education*, no°61, vol. 7, p.613-615.
- Chappaz, G. (1993). Représentation et conception sont dans un bateau..., *Cahiers Pédagogiques*, n°32 mars, p.29
- Chastrette, M. (1989). *Démarches et outils d'évaluation*, Université Lyon I.
- Chomat, A., Larcher C. & Méheut M., (1990). A la recherche d'une stratégie pédagogique pour modéliser la matière dans ses différents états. *Revue Française de pédagogie*, n°93, p.51-61.
- Clément, P. (1994). Représentations, conceptions, connaissances In : *Conceptions et connaissances*, sous la direction de A. Giordan, Y. Girault et P. Clément, Peter Lang, Berne, p.15-45.
- Confrey, J. (1986). "Misconceptions" across subject matters: charting the course from a constructivist perspective, *Annual meeting of the American Educational Research Association*. Document photocopié.
- Converse, J.M. & Presser, S. (1986). *Survey questions: Handcrafting the standardized questionnaire*, Beverly Hills, Sage.
- Cooper, M., Donnelly, A. & Ferreira, J. (2002). Remote controlled experiments for teaching over the internet: a comparison of approaches developed in the PEARL project. ASCILITE Conference, December 8-11, 2002, Auckland, New Zealand.
- Coquidé, M. (2003). Face à l'expérimental scientifique, in *Les difficiles transformations du métier d'enseignant*. Astolfi J.P. eds. Paris, ESF. p. 153-181
- d'Ham C., De vries E., Girault I. & Marzin P., (2004). Exploiting distance technology to foster experimental design as a neglected learning objective in labwork in chemistry, *Journal of Science Education and Technology*, vol.13, n°4, p. 425-434.
- Dalgarno, B., Bishop, A. & Bedgood, D., (2003). The potential of virtual laboratories for distance science education teaching: reflections from the initial development and evaluation

of a virtual chemistry laboratory, *Proceedings of the Improving Learning Outcomes Through Flexible Science Teaching, Symposium*, The University of Sydney, October 3, 2003, p. 90-95.

Darley, B. & Marzin P. (1998). Productions graphiques chez des élèves de première S. Apprendre à recueillir, traiter et interpréter des données expérimentales. Rapport interne INRP.

Darley, B. (1994). L'enseignement de la démarche scientifique dans les travaux pratiques de biologie à l'université: analyses et propositions, Thèse de Doctorat, Université Joseph Fourier.

Darley, B. (1996). Exemple d'une transposition didactique de la démarche scientifique dans un TP de biologie en DEUG 2ème année. *Didaskalia*, 9, 31-56.

de Jong, T. & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific discovery learning with computer simulations of conceptual domains, *Review of Educational Research*, vol. 63 p.179–201.

de Ketele, J.M. (1984). Observer pour éduquer. Peter Lang, Genève.

de Singly, F. (1992). L'enquête et ses méthodes : le questionnaire, Editions Nathan, Paris

de Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi N. (2002). *Faire vivre de véritables situations-problèmes*, Hachette-éducation, Paris, 251 pages.

de Vecchi, G. & Carmona-Magnaldi N., (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris, Edition Hachette.

Develay, M. (1993). Les trois coups sont frappés : la représentation peut commencer, *Cahiers Pédagogiques* n° 312 mars, p.9

Develay, M. (1998). Eduquer et Former, J.-C. Ruano-Borbalan (coordonné par), édition Sciences Humaines.

Dillon, A. & Gabbard, R. (1998). Hypermedia as an educational technology: A review of the quantitative research literature on learner comprehension, control and style, *Review of Educational Research*, vol.68, p.322-349.

Domin, S. (1999). A Review of Laboratory Instruction Styles, *Journal of Chemical Education*, vol. 76, n° 4, p.543-547.

Dupin J.-J. & Johsua S. (1993). Pertinence et Persistance : scène de classe ou scène de ménage ?, *Cahiers Pédagogiques*, n°312 mars, p.15

Durkheim, E., (1878). Représentation individuelle et représentation collective, *Revue métaphysique et social*, Paris

Fanguet, R., Jacquemin, J.-C., Karatchentzeff, M.-F., & Piganeau, E. (2004). Résultats de l'enquête sur le nouveau programme de Terminale S. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°860, p.1-14.

- Fastrez, P. (2002). La structuration d'un hypermédia éducatif influence-t-elle sur l'organisation des connaissances en découlant ?, Actes du Colloque Compréhension et Hypermédia Approches cognitives, communicationnelles et sémiotiques, Albi, France, 10-11 octobre 2002.
- Furio-Mas, J., Barrenetxea, J.I. & Reyes Martin J.V. (1994). La résolution de problèmes comme recherche : Une contribution au paradigme constructiviste de l'apprentissage des sciences. *Aster*, 19, 87-102.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A look to the future, *Journal of Chemical Education*, vol.76, n°4, p.548-553.
- Gangoli, S.G. & Gutumurthy, C. (1995). A study of the effectiveness of guided open-ended approach to students experiments, *International Journal of Science Education*, vol. 17, n° 2, p.233-241.
- Garratt, J. & Tomlinson, J. (2001). Experimental design – can it be taught or learned? *University Chemical Education*, vol.5 p.74-79.
- Ghiglione, R., & Matalon B., (1978). Les enquêtes sociologiques. Paris : Colin.
- Giordan, A. & Martinand, J-L. (1988). Etat des recherches sur les conceptions des apprenants à propos de la Biologie, *Annales de Didactique des Sciences*, 2, Publication Université Rouen, 140, p.11-63.
- Giordan, A. (1978). Observation-Expérimentation: Mais Comment les Elèves Apprennent-Ils ?, *Revue Française De Pédagogie*, n°44, p.66–73.
- Giordan, A. (1993). Apprendre, comprendre, s'approprier l'environnement, *Cahiers Pédagogiques*, n°312 mars, p.35
- Giordan, A. (1998). *Apprendre!*, Débats Belin
- Giordan, A., & de Vecchi G. (1987). *Les origines du savoir, des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, Neuchâtel Delachaux et Niestlé, Paris.
- Giordan, A., Girault, Y. & Clément P., (1994). *Conceptions et connaissances*, Peter Lang, Berne.
- Girault, I. d'Ham, C., Ergun M. (2005). Conception d'un protocole expérimental avec un logiciel dédié : apprentissages réalisés et difficultés rencontrées par des élèves de terminale S, MIEC, 2005.
- Giuseppin, M. (1996). Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques. *Didaskalia* n° 9, p.107-118.
- Gladwin, R.P., Margerison, D. & Walker S.M. (1990). Computers in teaching initiative, *Education in Chemistry*, vol.23 n°3, p.16-18.

- Gonzalez, F.M. (1997). Diagnosis of Spanish primary school students' common alternative science conceptions, *School Science and Mathematics*, vol. 97, p.68.
- Gorden, R.L., (1969). *Interviewing: Strategy, Techniques and Tactics*. Homewood : The Dorsey Press Irwin Dorsey.
- Grandbastien, M. (1991). Modélisation des connaissances en vue d'applications pédagogiques. in *Actes 13èmes Journées Francophones sur l'Informatique*. Genève p.145-155.
- Grémy, J.P. (1992). *La formulation des questions d'enquête : son effet sur les réponses*, La qualité de l'information dans les enquêtes, Paris : Dunod.
- Griffths, A.K. (1994). A critical analysis and synthesis of research on students' chemistry misconceptions. In Schmidt, H.-J. (Ed), *Proceedings of the 1994 International Symposium on Problem Solving and Misconceptions in Chemistry and Physics*, The International Council of Association for Science Education Publications, p.70-99.
- Griffths, A.K., Thomey, K., Cooke, B. & Normore, G. (1988). Remediation of student-specific misconceptions relating to three science concepts. *Journal of Research in Science Teaching* 25, 709-719.
- Guillaud, J.-C. (2001). Les photocopies du cours DEA (EIAH-D) à l'Université Joseph Fourier.
- Guillon, A. (1995). Démarches scientifiques en travaux pratiques de physique de DEUG à l'université de Cergy-Pontoise, *Didaskalia*, n° 7, p.113-127.
- Guin, D. (1991). Nécessité d'une spécification didactique des environnements informatiques d'apprentissage. Deuxième journée EIAO de Cachan p.253-261, Edition de l'ENS de Cachan.
- Hansen, E. (1999). The role of interactive video technology in higher education: case study and proposed framework, *Education Technology*, p.13-21.
- Hmelo, C.E., Holton, D.H. & Kolodner, J.L. (2000). Designing to learn about complex systems. *The Journal of the Learning Sciences*, vol. 9, p. 247-298.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: three decades of confusion and distortion, *Journal of Curriculum Studies*, vol. 82 n°2, p. 115.
- Hofstein, A. (1988). Practical work and science education, In: *P. Fensham (ed) Development and dilemmas in science education* (London: Farmer Press), p.169-188.
- Hood, B.J. (1994). Research on Computers in Chemistry Education: Reflections and Predictions, *Journal of Chemical Education*, vol.71, p.196-200.
- Hyman, H., (1954). *Interviewing in Social Research*. Chicago, Chicago University Press.

- Jaillet, A. (2003). Vingt-cinq années d'EIAH, Entretien avec Seymour Papert, In :Conférence (EIAH 2003) Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain, strasbourg 15-17 avril 2003, p.21-30.
- Johnstone, A.H. (1997). Chemistry teaching- science or alchemy? *Journal of Chemical Education*, vol. 74, n° 3, p.262-268.
- Johnstone, A.H., Reid, N. & Percival, F. (1981). Is knowledge enough? *Studies in Higher Education*, vol.6, n°1, p.77-83.
- Johsua, S. & Dupin J.-J. (2003). Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques, PUF.
- Jonnaert, Ph. (1993). *De l'intention au projet*. Bruxelles, De Boeck.
- Kerr, J.F. (1963). Practical work in school science: An account of an inquiry into the nature and purpose of practical work in school science teaching in England and Wales, Leicester University Press, Leicester.
- Kirschner, P.A. & Meester M.A.M. (1988). The laboratory in higher science education: problems, premises, and objectives. *Higher Education*, vol. 17, p. 31-98.
- Larcher, C. (2003). Expérience en travaux pratique. La pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques. Les actes de la DESCO. RDP basse-Normandie. p.45-49.
- Laugier, A. & Dumon, A., (2003). Résolution de problème et pratique expérimentale : analyse du comportement des élèves en début de seconde, *Chemistry Education : Research and Practice*, vol. 4, n°3, p.335-352.
- Le Maréchal, J.-F. (1999). Design of chemistry labwork activities aiming at teaching basic chemical concepts, In: *Méheut and Rebmann (Ed), Theory, Methodology and Results of Research in Science Education*. 4th ESERA Summer Scool, Marly le Roi, France, 26 August 2 September 1999, p.68-81.
- Lebeaume, J. (2002). De quelques enseignements expérimentaux... disparus, *Les cahiers pédagogiques*, n°409, p.11-14.
- Le Boterf, G. (1994). *De la compétence*. Les éditions d'organisation, Faire.
- Lynch, P.P. & Ndyetabura, V.L. (1983). Practical work in schools: an examination of teachers' stated aims and the influence of practical work according to students, *Journal of Research in Science Teaching*, vol.20, p.663-71.
- Malglaive, G. (1990). *Enseigner à des adultes*. Paris : PUF.
- Martinez-Jiménez, P., Pontes-Pedrajas, A., Polo, J. & Climent-Bellido, M.S. (2003). Learning in Chemistry with Virtual Laboratories, *Journal of Chemical Education*, vol.80, n°3, p.346-352.



- Meester, M.A. & Maskill R. (1995). First year chemistry practical at universities in England and Wales: organisational and teaching aspect. *International Journal of Science Education*, vol. 17, n°6, p.705-719.
- Mendelsohn P. (1994). Peut-on vraiment opposer « savoir » et « savoir-faire » quand on parle d'apprentissage ? In : *Les entretiens Nathan, savoir et savoir-faire*, Edition Nathan pédagogie, p.21-40.
- Michelat, G. (1975). Sur l'utilisation de l'entretien non directif en sociologie, *Revue Française de sociologie*, XVI, n°2, p.229-247.
- Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : Une approche fondée sur la connaissance, *Didaskalia*, 9, 9-30.
- Mintzes, J., Wandersee, J. & Novak, J. (1998). *Teaching Science For Understanding*, San Diego: Academic Press.
- Mintzes, J., Wandersee, J. & Novak, J. (2000). *Assessing Science Understanding*, San Diego: Academic Press
- Morgil, I., Arda, S., Seçken, N., Yavuz, S. & Oskay, Ö.Ö. (2004). The influence of computer-assisted education on environmental knowledge and environmental awareness. *Chemistry Education: Research and Practice*, vol.5, n°2, p.99-110.
- Morissette, D. (1984). *La mesure et l'évaluation en enseignement*. Sainte Foy. Presses de l'université Laval.
- Morozov, M, Tanakov, A., Gerasimov, A., Bystrov, D. & Cvirco E. (2004). Virtual Chemistry Laboratory for School Education, *Fourth IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT'04)*, p. 605-608.
- N'Tombela, G. M. (1999). A marriage of inconvenience? School science practical work and the nature of science. In J. Leach & A. C. Paulsen (Eds.), *Practical work in science education: The face of science in schools* (p. 118–133). Roskilde: University of Roskilde Press.
- Nakhleh, M.B. (1992). Why some students don't learn chemistry? Chemical misconceptions, *Journal of Chemical Education*, vol. 69, p.191-196.
- Nanard J. & Nanard M. (1998). La conception d'hypermédias. In A. Tricot et J.-F. Rouet (Eds), *Les hypermédias, approches cognitives et ergonomiques*, Paris : Hermes, p.15-34.
- Njoo, M., & deJong, T. (1993). Exploratory learning with a computer simulation for control theory: Learning processes and instructional support. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 30, p.821–844.
- Novak, J. D. (1990). Concept mapping: a useful tool for science education, *Journal of Research in Science Teaching*, vol.27, n°10, p. 937-949.

- Novak, J. D. (1991). Clarify with concept maps, *The Science Teacher*, 58(7):45-49.
- Novak, J.D. & Gowin D.B., (1984). *Learning How to Learn*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Novak, J.D. (1984). Application of advances in learning theory and philosophy of science to the improvement of chemistry teaching, *Journal of Chemical Education*, vol.61, n°7, p.607-612.
- Novak, J.D. (1988). Learning science and the science of learning, *Studies in Science Education* 15, 77-101.
- Orlandi, E. (1991). Conceptions des enseignants sur la démarche expérimentale. *Aster*, 13, p. 111-132.
- Özmen, H. (2004). Some student misconceptions in chemistry, *Journal of Science Education and Technology*, vol.13, N°:2, 147-159.
- Payne, S. (1951). *The art of asking questions*, Princeton, Princeton University, Press.
- Pernot, C. (1990). Contribution des travaux pratiques à la formation en chimie des étudiants de 1er cycle universitaire. Paris, Association Tour 123.
- Pernot, C. (1993). Une gestion de l'apprentissage de la chimie expérimentale en premier cycle universitaire, *Didaskalia*, n° 2, p. 101-110.
- Pfeiffer, H.G. & Liebafsky, H.A. (1951). The origins of Beer's law. *Journal of Chemical Education*, vol.28, p. 123.
- Pfundt, H. & Duit, R. (1994). *Bibliography: Students' Alternative Frameworks and Science Education*, 4th edition, Kiel, Germany: Institute for Science Education of the University of Kiel.
- Quéré, M. (1989). La recherche sur l'informatique dans l'éducation. In *Grandbastien M. (éd), les technologies nouvelles dans l'enseignement général et technique* p. 235-239.
- Raynal F. & Rieunier, A. (1997). *Pédagogie : dictionnaire des concepts clés, apprentissage, formation, psychologie cognitive*. Édition ESF.
- Richoux H., Saint-Georges M. & Criado M.T. (2004). Mais que font donc nos élèves pendant les séances de travaux pratique? *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°866, 1107-1120.
- Richoux, H. (2002). Instruments et techniques dans l'enseignement de la physique au lycée: Quelle image à travers les travaux pratiques? XXIVième journées internationales sur la communication, l'éducation et la culture scientifiques et industrielles. Chamonix 18-22 mars 2002, p.503-508.
- Richoux, H. (2003). Les objectifs des travaux pratiques, La pluridisciplinarité dans les enseignements scientifiques, Les actes de la DESCO. RDP Basse-Normandie. p.77-81.

- Richoux, H., Saint-Georges, M. & Simon C. (2005). Une question d'actualité: comment impliquer les élèves dans l'apprentissage en physique-chimie? Des outils pour aider les enseignants à analyser et concevoir des activités expérimentales. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°876, vol. 99, p.755-763.
- Robardet, G. & Guillaud, J.-C. (1997). *Eléments de didactiques des sciences physiques*, PUF.
- Roletto E. & Piacenza B., (1994). Faut-il construire le concept de substance ?, *Aster* n°18, p.63-75.
- Rollnick, M., Zwane, S., Stakun, M., Lotz, S. & Gree, G. (2001). Improving pre-laboratory preparation of first year university chemistry students, *International Journal of Science Education*, vol. 23 n° 10, p.1053-1071.
- Roth, W.M., Mcrobbie, C.J., Lucas, K.B. & Boutonné S. (1997). The local production of order in traditional science laboratories : a phenomenological analysis. *Learning and Instruction*, vol. 7, n° 2, p. 107-136.
- Rouessac, F. & Rouessac, A. (1994). Analyse chimique, méthodes et techniques instrumentales modernes, 4<sup>ième</sup> édition DUNOD.
- Rouet, J.F. & Passerault, J.M. (1999). Analysing learner-computer interaction, *Instructional Science*, vol. 27, issue 3-4, p.201-219.
- Rozier S. (1988). Le raisonnement linéaire causal en thermodynamique classique élémentaire. Thèse de doctorat. Université Paris 7.
- Schmidt, H.-J. (1997). Students' misconceptions-looking for a pattern, *Science Education*, vol. 81, p. 123-135.
- Schneeberger, P. & Rodriguez R. (1999). Des lycées face à une investigation à caractère expérimental : un exemple de Première S., *Aster*, n°28, p.79-107.
- Schwob, M. & Blondel F.-M. (1996). Questions posées par la conception et la réalisation d'un environnement d'aide à la résolution de problèmes en chimie, *Didaskalia*, n°8, p.111-137.
- Senach, B, (1990). Evaluation ergonomique des interfaces Homme/Machine : une revue de la littérature. Rapport INRIA n°1180, Sophia-Antipolis, Valbonne, 68 p.
- Senese, F.A., Bender, C. & Kile, J. (2000). The Internet chemistry set: web-based remote laboratories for distance education in chemistry. *Interactive Multimedia Electronic Journal of Computer-Enhanced Learning*, 2(2), [<http://imej.wfu.edu/index.asp>].
- Sequeira, M. & Leite, L. (1990). On Relating Macroscopic Phenomena to Microscopic Particles at the Junior High School Level. In P. L. Lijnse, H. M. C. Eijkelhof, P. Licht, W. de Vos, & A. J. Waarlo (Eds.), *Relating Macroscopic Phenomenon to Microscopic Particles* (p. 220-232). University of Utrecht.

- Séré, M.G. & Beney, M. (1997). Le fonctionnement intellectuel d'étudiants réalisant des expériences : observation de séances de travaux pratiques en premier cycle universitaire scientifique. *Didaskalia*, 11, p. 75-102.
- Séré, M.G. (1985). Analyse des conceptions de l'état gazeux qu'ont les enfants de 11 à 13 ans en liaison avec la notion de pression, et propositions de stratégies pédagogiques pour en faciliter l'évolution. Thèse de doctorat, Université Paris 6.
- Séré, M.G. (1986). Children's conceptions of gaseous state, prior to teaching, *International Journal of Science Education*, vol. 8(4), p. 413-424.
- Séré, M.G. (2002). Towards renewed research questions from the outcomes of the European project labwork in science education. *Science Education*, vol. 86, p. 624-644.
- Séré, M.G., Journeaux R. & Winther J. (1997). Enquête sur les objectifs des travaux pratiques dans les classes de seconde, de premières S et de terminales S. *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°796, vol. 91, p.1377-1389.
- Séré, M.G., Winter, J., Le Maréchal, J.F. & Tiberghien A. (2001). Le projet européen « Labwork in Science Education », les travaux pratiques dans l'enseignement des sciences en Europe, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, n°839, p.1727-1740.
- Sherratt, C. S. & Schlabach, M. L. (1990). The application of concept mapping in reference and information services, *RQ*, vol.30, p. 60-69.
- Skoog, West & Holler (1997). Chimie analytique, traduction par Buess-Herman, C., Dauchot-Weymer, S., Dumont, F., 7<sup>ième</sup> édition, Paris, Bruxelles, DeBoeck université
- Smith, K.J. & Metz, P. (1996). Evaluating Student Understanding of Solution Chemistry through Microscopic Representations, *Journal of Chemical Education*, vol.73, p. 233-235.
- Stavridou H. (1990). Le concept de réaction chimique dans l'enseignement secondaire. Etude des conceptions des élèves. Thèse de doctorat, Université Paris VII.
- Tardif, J. (1992). *Pour un enseignement stratégique*, Montréal, édition Logiques, p.49 à 53.
- Tchounikine, P. (2002). Quelques éléments sur la conception et l'ingénierie des EIAH, *In Actes du GDR I3*, p.233-245.
- Thibault, J., Davous, D., Hatzinikita, V. & Kastenbaum, M. (1997). Former et évaluer des enseignants du primaire à acquérir des savoir-fais expérimentaux en chimie. *Mesure et évaluation en éducation*, vol. 20, n°1, p.91-105.
- Tiberghien, A., Veillard, L., Le Maréchal, J.-F., Buty, C. & Millar, R. (2001). An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. *Science Education*, vol. 85, p.483-508.

- Tochon, F. V. (1990). Les cartes de concepts dans la recherche cognitive sur l'apprentissage et l'enseignement. *Perspectives documentaires en éducation*, vol. 21, p. 87-105.
- Treagust, D.F. (1988). Development and use of diagnostic tests to evaluate students' misconceptions in science, *International Journal of Science Education* 10, p. 159-169.
- Trgalová, J. (2003). Systèmes de formation à distance. Proposition d'une typologie. In C. Desmoulins, P. Marquet, & D. Bouhineau (Eds.), *Environnements Informatiques pour l'Apprentissage Humain*. EIAH 2003, Paris, I.N.R.P. p.563-566.
- Tricot, A. & Lafontaine J. (2002). Une méthode pour évaluer conjointement l'utilisation un outil multimédia et l'apprentissage réalisé avec celui-ci, *Le Français dans le Monde*, Janvier, 41-52.
- Tricot, A. & Plégat-Soutjis, F. (2003). Pour une approche ergonomique de la conception d'un dispositif de formation à distance utilisant les TIC, in *Sciences et Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation et la Formation*, v10.
- Tricot, A., Plégat-Soutjis, F., Camps, J.-F., Amiel, A., Lutz, G. & Morcillo, A. (2003). Utilité, utilisabilité, acceptabilité : interpréter les relations entre trois dimensions de l'évaluation des EIAH. In C. Desmoulins, P. Marquet & D. Bouhineau (Eds). *Environnements informatiques pour l'apprentissage humain* p. 391-402. Paris : ATIEF / INRP.
- Trincaz J, Millet J. (1990). Adaptation des étudiants de l'année de DEUG A leurs méthodes de travail et leurs projets professionnels. Annexe du rapport de J.Bornarel, L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire. Paris, SFP
- Vallée R, Ranson, Brault (1990). Enquête auprès des étudiantes de l'année de DEUG A, licence et maîtrise de physique d'Orléans. Annexe du rapport de J.Bornarel, L'enseignement de la physique en premier cycle universitaire. Paris, SFP.
- Verdejo, M.F, Barros, B., Anton, R.G. & Read T. (2003). The design and implementation of experimental collaborative learning in a distance learning context, ITHET conference proceedings 4th international conference on information, technology based higher education.
- Vergnaud, G. (1996). Au fond de l'action, la conceptualisation, In : Jean-Marie Barbier (coord.), *Savoirs théoriques et savoirs d'action*, Paris, PUF, p. 275-292.
- Veyrat D., Bataille L., Cazemajor H., Gasc J. & Viguier J.L. (1997). Savoir-faire expérimentaux : apprentissage et évaluation. MAFFPEN Toulouse, Crdp midi-Pyrénées.
- Wandersee, J. H. (1992). Concept mapping and the cartography of cognition, *Journal of research in science teaching*, vol. 27, n°10, p. 923-936.
- Watson, J.B. (1913). Psychology, As the Behaviorist Views It, *Psychological Review*, 20, p.158-177.

Welzel, M., Haller, K., Bandiera, M., Hammelev, D., Koumaras, P., Niedderer, H., Paulsen, A. C., Bécu-Robinault, K. & von Aufschnaiter, S. (1998). Teachers' objectives for labwork. Research tool and cross country results, Working paper 6, Labwork in Science Education Project.

Winitzky, N., Kauchak, D., & Kelly, M. (1994). Measuring teachers' structural knowledge. *Teaching and Teacher Education*, 10(2), 125-139.

Woolnough, B. E. (1983). Exercises, investigations and experiences, *Physics Education*, vol. 18, p.60-63.

Yalçınalp, S., Geban, Ö. & Özkan, I. (1995). Effectiveness of using computer-assisted supplementary instruction for teaching the mole concept, *Journal of Research in Science Teaching*, 32(10), 1083-1095.

Yarroch, W.L. (1985). Student understanding of chemical equation balancing, *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 22, p.449-459.

Zumdahl, S.S. (1999). *Chimie Générale*, De Boeck Université.

Tiberghien A. [1] <http://pistes.org/docrec/conceptions/index2.html> (accédé mars 2004)

Scanlon, E., Morris, E. & di Paolo, T. [2] Review of the pedagogy underlying the PEARL approach. <http://kmi.open.ac.uk/projects/pearl/publications/index.htm> (accéde mars 2004)



## ANNEXES.

Questionnaire (pré et post-test),

Consigne de l'expérimentation dans le logiciel,

Interface du logiciel Educ@ffix.net,

Manuel de Terminale S



## **Annexe A. Questionnaire (pré et post-test)**

Pré-test

Nom \_\_\_\_\_ Classe \_\_\_\_\_

Etablissement \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Ce questionnaire, qui vous prendra environ 20 minutes, a été établi dans le cadre d'une étude qui vise à évaluer un logiciel permettant de réaliser des travaux pratiques à distance. Nous vous remercions pour le temps que vous allez prendre pour répondre aux questions et du soin avec lequel vous le ferez. Si vous ne connaissez pas la réponse, cocher la case « ne sait pas ». Les résultats obtenus à ce questionnaire ne seront pas comptabilisés dans la moyenne. La calculatrice n'est pas autorisée.

**Question 1 :** 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 2 :** On va diluer une solution aqueuse de  $\text{KMnO}_4$  avec l'eau. On dispose d'une pipette, d'une fiole jaugée et d'un bécher. La solution de  $\text{KMnO}_4$  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 3 :** La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée :

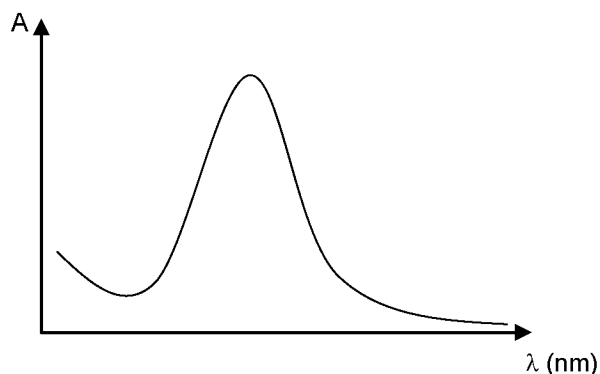
- a. dépend de l'épaisseur de la solution traversée  vrai  faux  ne sait pas
- b. dépend de la concentration molaire de la solution  vrai  faux  ne sait pas
- c. dépend de la température  vrai  faux  ne sait pas
- d. dépend de la longueur d'onde  vrai  faux  ne sait pas
- e. dépend de l'espèce chimique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

**Question 4 :** Qu'est-ce qui caractérise deux radiations monochromatiques différentes ?

Réponse :

.....  
.....  ne sait pas

**Question 5 :** Comment appelle-t-on le graphique ci-dessous ?



Réponse :

.....  
.....  
.....

ne sait pas

**Question 6 :** L'absorbance  $A$  d'une solution colorée, placée dans la cuve d'un spectrophotomètre, est reliée à la concentration  $C$  de la solution, à l'épaisseur  $l$  de la cuve et au coefficient d'extinction molaire  $\varepsilon$  de cette solution, par la relation :

a.  $A = \frac{\varepsilon \cdot C}{l}$

d.  $\varepsilon = A.l.C$

b.  $\varepsilon = \frac{A.l}{C}$

e.  $C = \frac{A.\varepsilon}{l}$

c.  $A = \varepsilon.l.C$

f. ne sait pas

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

Réponse :

.....  
.....  
.....  ne sait pas

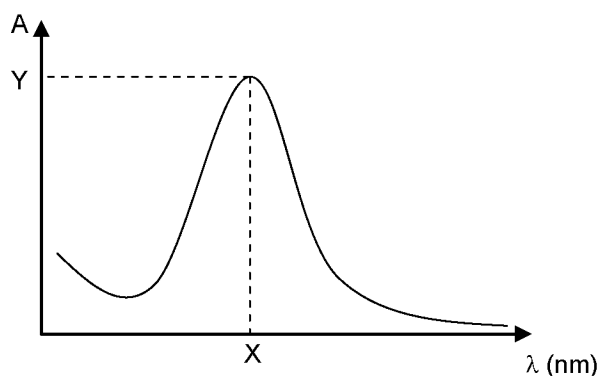
**Question 8 :** Si on triple le volume d'une solution avec de l'eau, qu'advient-il de sa concentration ?

- 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 9 :** Un jeune père doit préparer une solution de lait maternisé pour son bébé. N'ayant pas lu les instructions, il s'aperçoit que la solution obtenue, après dissolution de la poudre, est beaucoup trop concentrée ( $100 \text{ g.L}^{-1}$ ). Oh malheur! il est 4 heures du matin et plus de poudre! Comment ce papa fatigué va-t-il s'y prendre pour réparer sa gaffe et avoir 100 mL de lait à la bonne concentration :  $20 \text{ g.L}^{-1}$  ?

- a. Le papa devra prendre 5 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 95 mL d'eau  vrai  faux
- b. Le papa devra prendre 80 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 20 mL d'eau  vrai  faux
- c. Le papa devra prendre 20 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 80 mL d'eau  vrai  faux
- d. Le papa devra prendre 95 mL de la solution trop concentrée et compléter avec 5 mL d'eau  vrai  faux
- e.  ne sait pas

**Question 10 :** Que désignent les lettres X et Y sur les axes ?



Réponse :

X : \_\_\_\_\_

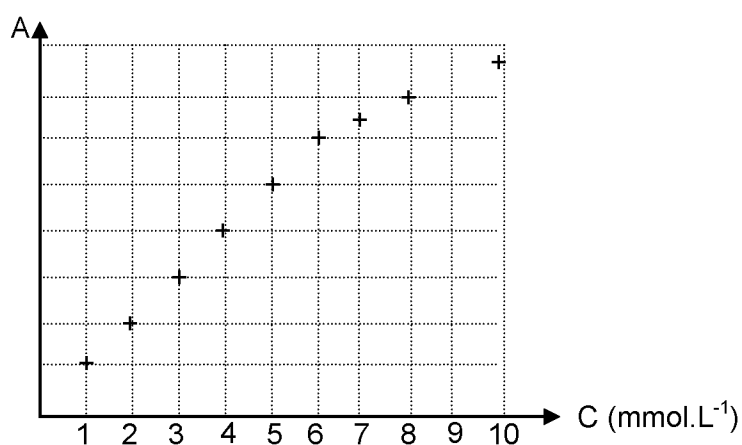
Y : \_\_\_\_\_

ne sait pas

**Question 11 :** On dispose d'une solution aqueuse constituée de  $\text{KMnO}_4$  à  $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , de  $\text{CoCl}_2$  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 spectre), afin que l'appareil mesure uniquement l'absorbance de  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  dans le mélange ?

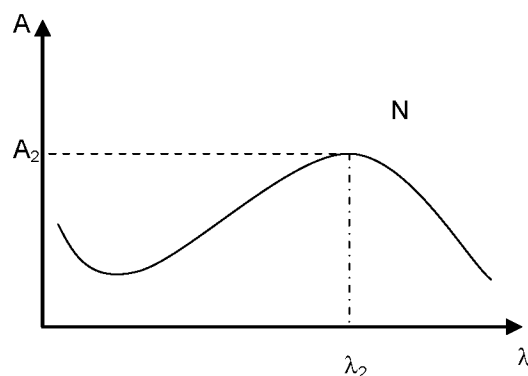
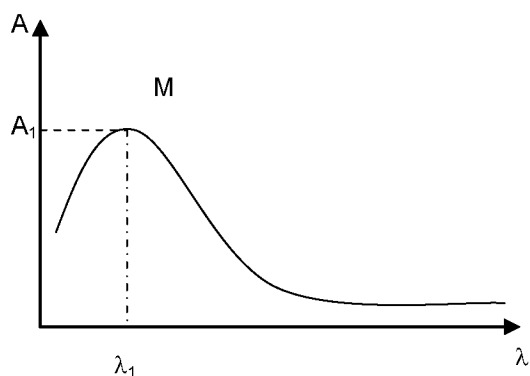
Réponse :  ne sait pas

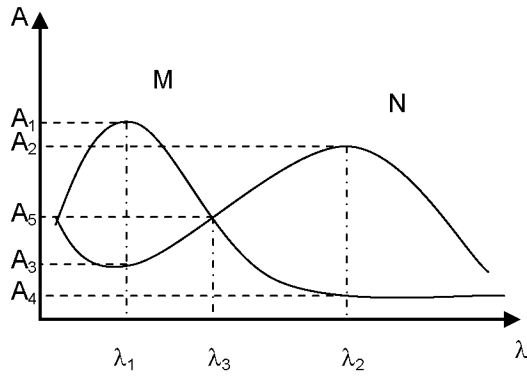
**Question 12 :** Hachurez, sur l'axe des abscisses, le domaine de concentration où la loi de Beer-Lambert s'applique.



*courbe d'étalonnage spectrophotométrique*  ne sait pas

**Question 13 :** 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.

<input type="checkbox"/> a.	<input type="checkbox"/> b.
<input type="checkbox"/> c.	<input type="checkbox"/> d.
<input type="checkbox"/> e. ne sait pas	



Post-test

Nom \_\_\_\_\_ Classe \_\_\_\_\_

Etablissement \_\_\_\_\_ Date \_\_\_\_\_

Ce questionnaire vous prendra environ 20 minutes. Nous vous remercions pour le temps que vous allez prendre pour répondre aux questions et du soin avec lequel vous le ferez. Les résultats obtenus à ce questionnaire ne seront pas comptabilisés dans la moyenne. La calculatrice n'est pas autorisée.

**Question 1 :** 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 2 :** On va diluer une solution aqueuse de  $\text{KMnO}_4$  avec l'eau. On dispose d'une pipette, d'une fiole jaugée et d'un bécher. La solution de  $\text{KMnO}_4$  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 3 :** La grandeur de l'absorbance d'une solution colorée :

- a. dépend de l'épaisseur de la solution traversée  vrai  faux  ne sait pas
- b. dépend de la température  vrai  faux  ne sait pas
- c. dépend de la longueur d'onde  vrai  faux  ne sait pas
- d. a pour unité  $\text{L}^{-1} \cdot \text{mol} \cdot \text{m}^{-1}$   vrai  faux  ne sait pas
- e. a pour unité  $\text{L}^{-1} \cdot \text{mol} \cdot \text{cm}^{-1}$   vrai  faux  ne sait pas
- f. est une grandeur sans unité  vrai  faux  ne sait pas
- g. est inversement proportionnelle à la concentration de l'espèce absorbante  vrai  faux  ne sait pas

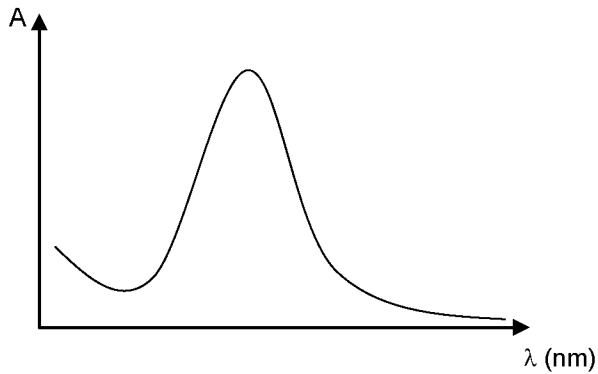


**Question 4 :** Qu'est-ce qui caractérise deux radiations monochromatiques différentes ?

Réponse :

.....  
.....  ne sait pas

**Question 5 :** Comment appelle-t-on le graphique ci-dessous ?



Réponse :

.....  
.....  
.....

ne sait pas

**Question 6 :** L'absorbance  $A$  d'une solution colorée, placée dans la cuve d'un spectrophotomètre, est reliée à la concentration  $C$  de la solution, à l'épaisseur  $l$  de la cuve et au coefficient d'extinction molaire  $\epsilon$  de cette solution, par la relation :

a.  $A = \frac{\epsilon \cdot C}{l}$

d.  $\epsilon = A.l.C$

b.  $\epsilon = \frac{A.l}{C}$

e.  $C = \frac{A.\epsilon}{l}$

c.  $A = \epsilon.l.C$

f. ne sait pas

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

Réponse :

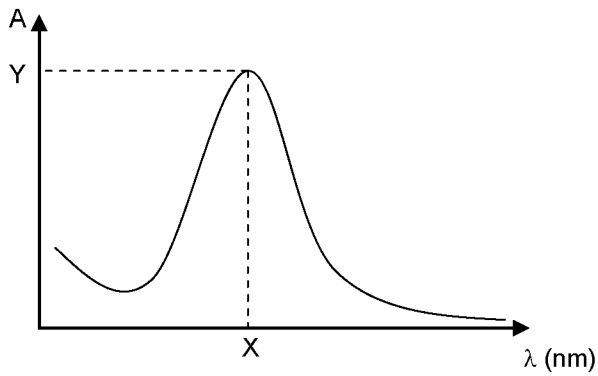
.....  
.....  
.....  ne sait pas

**Question 8 :** Si on triple le volume d'une solution avec de l'eau, qu'advient-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 9:** L'absorbance d'une solution de colorant E124 est la même quelle que soit la longueur d'onde  vrai  faux  ne sait pas

**Question 10 :** Que désignent les lettres X et Y sur les axes ?



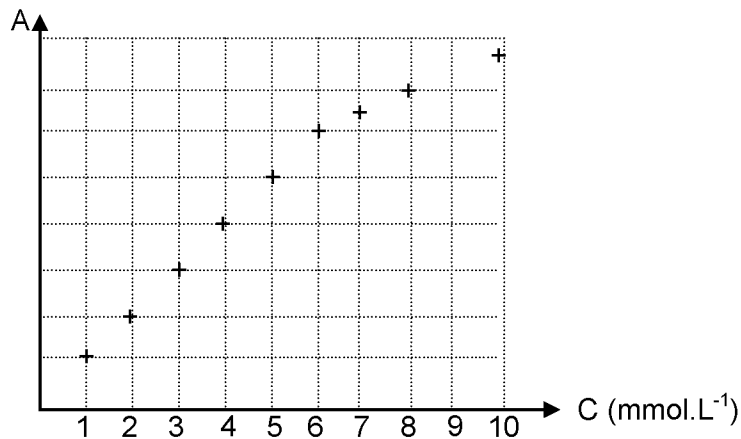
Réponse :

X : \_\_\_\_\_

Y : \_\_\_\_\_

ne sait pas

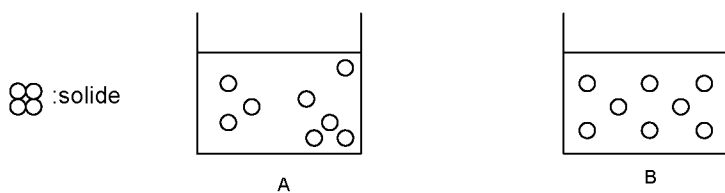
**Question 11 :** Hachurez, sur l'axe des abscisses, le domaine de concentration où la loi de Beer-Lambert s'applique.



*courbe d'étalonnage spectrophotométrique*

ne sait pas

**Question 12 :** Quelle est la solution homogène ?



- Réponse :
- A
  - B
  - ne sait pas

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

Réponse :

.....

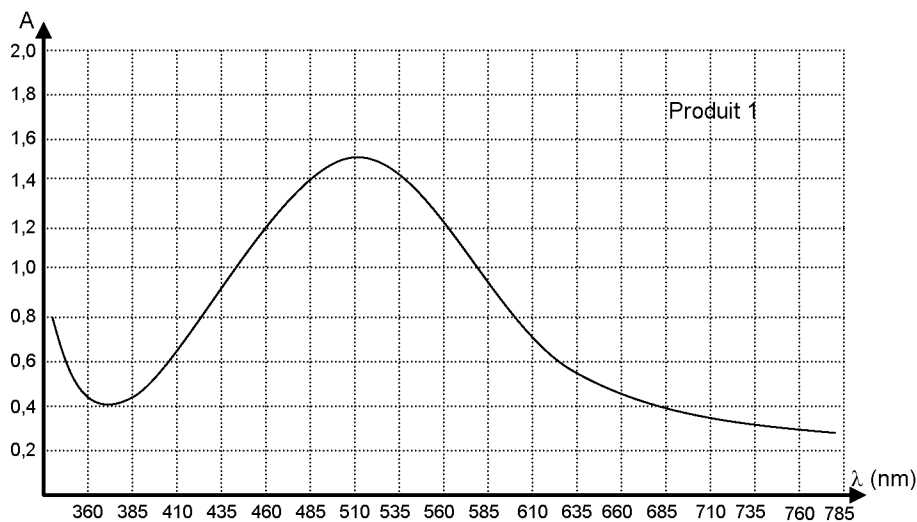
.....

.....

.....  ne sait pas

**Question 13 :** On veut réaliser une courbe d'étalonnage pour le produit 1. Quelle sera la longueur d'onde optimale à laquelle faire les mesures d'absorbance ?

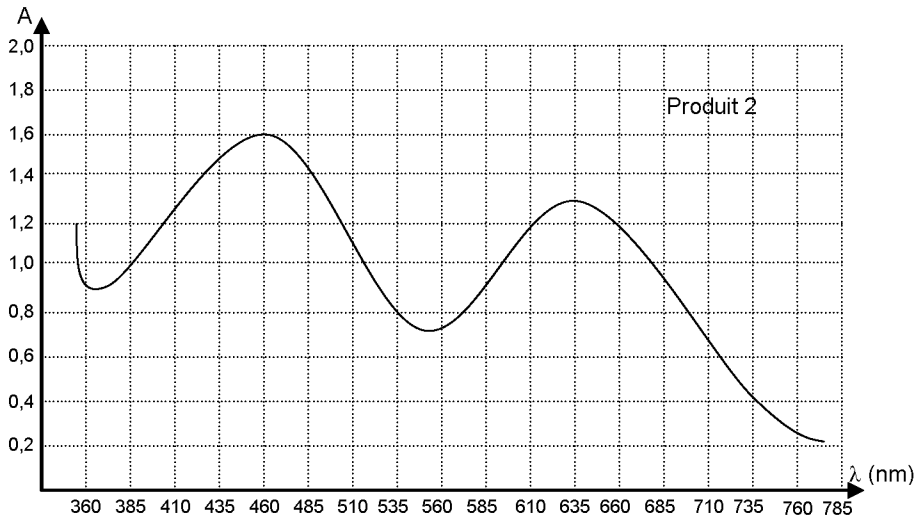
$\lambda_1 =$  .....  ne sait pas



On veut réaliser une courbe d'étalonnage pour le produit 2. Quelle sera la longueur d'onde optimale à laquelle faire les mesures d'absorbance ?

$\lambda_2 = \dots\dots\dots$

ne sait pas



**Question 14 :** On dispose d'une solution aqueuse constituée de  $\text{KMnO}_4$  à  $5 \cdot 10^{-2} \text{ mol.L}^{-1}$ , de  $\text{CoCl}_2$  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 ?

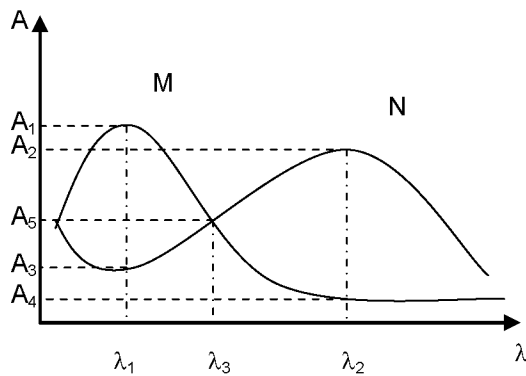
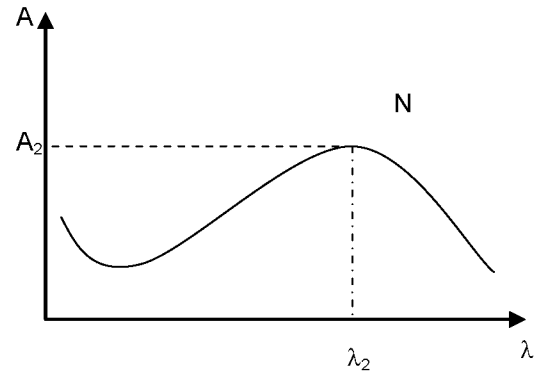
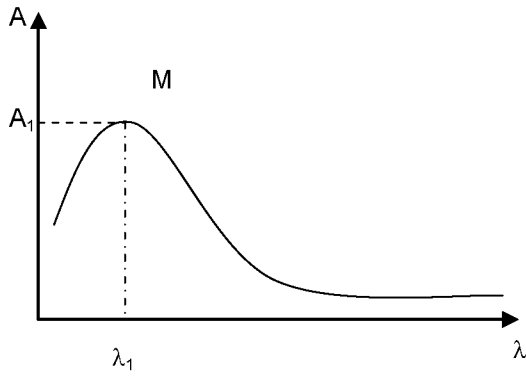
Réponse :

ne sait pas

.....

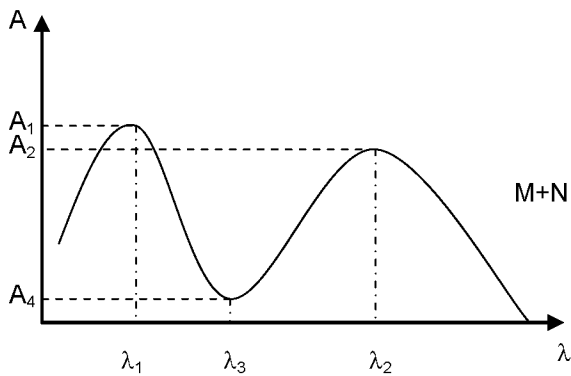
.....

**Question 15 :** 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.

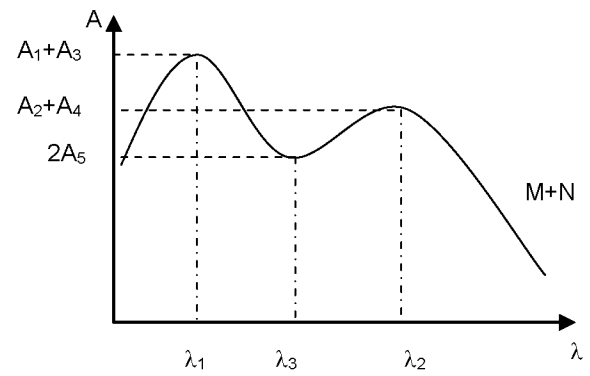


Le graphe ci-contre est obtenu par la superposition des spectres de M et de N. Les valeurs données se trouvent dans les 4 graphes proposés.

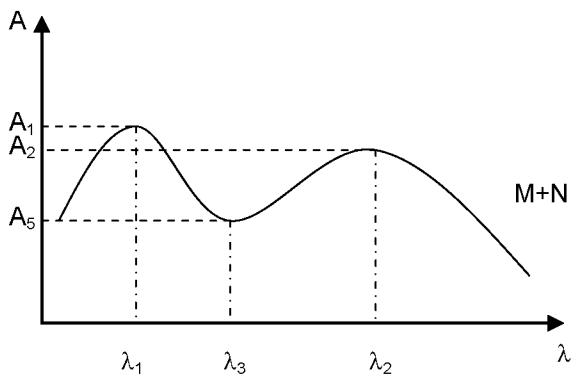
a.



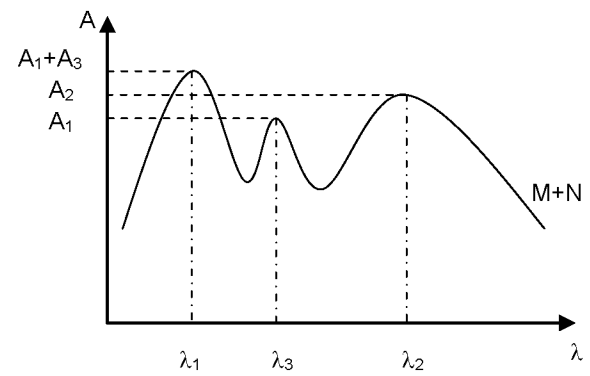
b.



c.



d.



e. ne sait pas

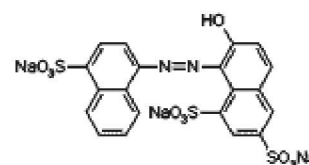
# Annexe B. Consigne de l'expérimentation dans le logiciel Educ@ffix.net

## TP1 : Dosage par spectrophotométrie du colorant E124 dans un sirop de grenadine



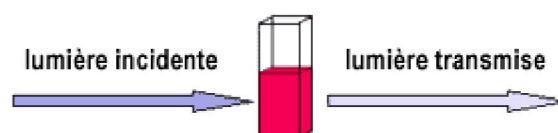
Le sirop de grenadine est rouge. Rouge comme la grenade ? Oui... Mais en fait, dans certains sirops, la couleur est produite par un colorant ajouté : le colorant E124 (rouge cochenille).

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 ensuite 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 5 étapes suivantes :

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

### Matériel à votre disposition :

**Un robot manipulateur :**

- Le robot possède 2 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 16 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 mono-faisceau 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 stock 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.
- A la longueur d'onde d'absorbance maximum  $\lambda_{A_{\text{max}}}$ , l'ordre de grandeur de  $\varepsilon$  (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.

# Annexe C. Le cours dans le logiciel Educ@ffix.net

## Sommaire du cours

Aspects Théoriques	Aspects Pratiques
I - Les composés contenus dans le sirop de grenadine II - Principes physiques de la spectrophotométrie III - Le spectrophotomètre UV-visible IV - La loi de Beer-Lambert V - Dosages par spectrophotométrie	I - Produits chimiques et risques II - Préparation d'une solution par dilution III - Rinçage et propreté du matériel IV - Homogénéisation des solutions

## ASPECTS THEORIQUES

### I - Les composés contenus dans le sirop de grenadine

#### Résumé :

Le sirop de grenadine contient plusieurs composés, dont le colorant rouge **E124**.

Le E124 **absorbe la lumière** dans le domaine du visible, aux alentours de 500 nm :

$$\epsilon_{500} \approx 2.10^4 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$$

#### 1- La composition d'un sirop de grenadine

Si nous regardons l'étiquette du sirop de grenadine nous voyons que le fabricant indique la composition suivante :

- eau
- sucres (saccharose, glucose, fructose)
- acidifiant : acide citrique
- arômes
- extraits de fruit : jus d'agrumes
- colorant



## 2- Les colorants rouges

La couleur rouge si connue du sirop de grenadine a longtemps été obtenue à partir de la cochenille (*Dactylopius coccus*) :

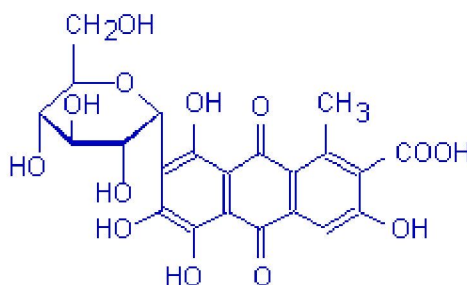


Cochénille (en microscopie électronique)

La cochenille est un puceron parasite des végétaux. L'espèce utilisée pour obtenir le colorant naturel vit sur un cactus, le nopal. Le Pérou et les Iles Canaries en sont les uniques exportateurs mondiaux. La femelle desséchée contient environ 10% de E120 qui est extrait avec de l'eau ou de l'alcool.

Le colorant E120 est aussi nommé

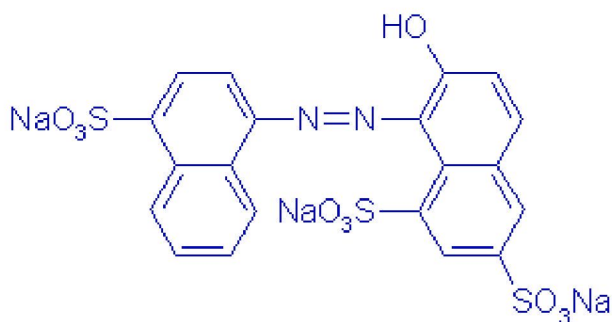
- rouge cochenille
- acide carminique
- carmine
- CI 75470
- natural red 4



Formule du colorant E120

Dans le sirop qui vous est fourni, vous ne trouverez pas le colorant E120, mais le colorant E124. C'est un colorant fabriqué par synthèse chimique. Il est aussi appelé rouge Cochenille A ou Ponceau 4R.

Ce colorant est utilisé de façon classique dans les pâtisseries, entremets, flans, fruits au sirop, confiserie, bonbons, chewing-gum, chorizo... On le trouve aussi dans certains sirops de grenadine, même s'il tend à être remplacé par des colorants naturels (fruits rouges).



Formule du colorant E124

Le colorant E124 absorbe de la lumière dans le domaine du visible aux alentours de 500 nm. A cette longueur d'onde, une valeur approchée de son coefficient d'extinction moléculaire est :

$$\epsilon_{500} \approx 2.10^4 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$$

Note : les notions d'[absorbance](#) et de [coefficient d'extinction moléculaire](#) sont détaillées dans les parties de cours concernant la spectrophotométrie.

## II - Spectrophotométrie : principes physiques

### Résumé :

La lumière est un rayonnement électromagnétique caractérisé par sa **longueur d'onde**  $\lambda$ . Le domaine de **l'ultra-violet** concerne les longueurs d'onde comprises entre 10 et 400 nm ; **le visible** se situe entre 400 et 800 nm.

Une lumière monochromatique traversant un milieu matériel va être tout ou en partie absorbée. Ce phénomène est caractérisé par **l'absorbance A** (sans unité,  $0 < A < \infty$ ) qui dépend de :

- la **longueur d'onde** de la lumière monochromatique incidente
- la **nature** et la **quantité** des composés présents dans le milieu traversé

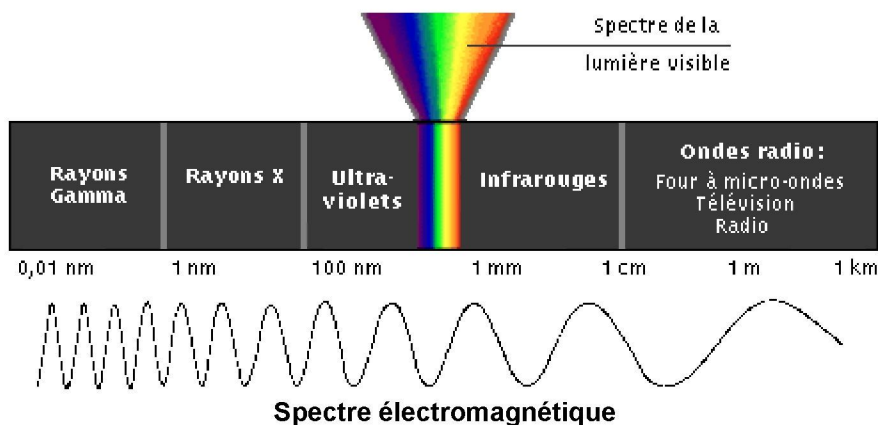
### 1- La lumière

L'analyse spectrophotométrique est fondée sur l'étude de l'absorption de la lumière par un milieu matériel. Nous allons donc commencer par nous demander ce qu'est la lumière, qu'on appelle aussi "rayonnement électromagnétique".

La lumière peut être modélisée par une onde électromagnétique. Sa caractéristique principale sera alors sa longueur d'onde  $\lambda$  (souvent indiquée en nm). Plus la longueur d'onde est petite, plus le rayonnement est énergétique.

On peut aussi modéliser la lumière par un flux de corpuscules de masse nulle, se déplaçant à la vitesse de la lumière : les photons. Les photons possèdent une certaine énergie, directement liée à la longueur d'onde du rayonnement électromagnétique correspondant.

Suivant la longueur d'onde de la lumière (son énergie) on définit son spectre, appelé spectre électromagnétique :



Le domaine du spectre ultraviolet (UV) s'étend environ de 10 à 400 nm. Le domaine du spectre visible s'étend environ de 400 à 800 nm.



Une source de lumière, va émettre un rayonnement électromagnétique compris dans une certaine gamme de longueur d'onde. Par exemple, une lampe à filament de tungstène (ampoule traditionnelle) émet une lumière qui a une longueur d'onde entre 400 et 800 nm (lumière visible).

En analyse spectrophotométrique, on utilise une lumière monochromatique : c'est une lumière qui n'a qu'une seule longueur d'onde, autrement dit, une lumière où tous les photons ont la même énergie.

## 2- Notions de photométrie

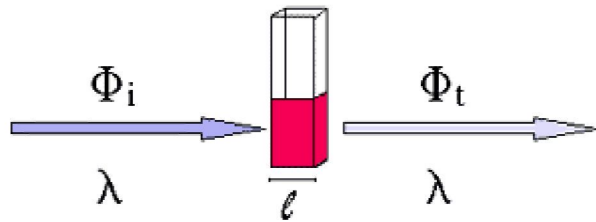
### ◆ Principe :

Quand un rayonnement électromagnétique traverse un milieu matériel, certains des photons associés à ce rayonnement sont absorbés. La quantité de photons absorbés dépend :

- de la longueur d'onde de la lumière émise,
- de la nature des composés présents dans le milieu,
- de la quantité de molécules de chaque composé présent dans le milieu.

### ◆ Transmittance et absorbance :

Un rayonnement monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$  possède un flux énergétique incident  $\Phi_i$ . Après avoir traversé un milieu absorbant de longueur  $l$ , le flux transmis du rayonnement vaut  $\Phi_t$ .



NB : Le flux énergétique  $\Phi$  d'un faisceau de rayonnement est la quantité d'énergie transportée par ce faisceau, par unité de temps.

On appelle transmittance le rapport :

$$T = \frac{\Phi_t}{\Phi_i}$$

C'est un nombre (sans unité) compris entre 0 et 1.

Dans la pratique, on utilise l'absorbance comme grandeur de mesure (appelée aussi densité optique **DO**). L'absorbance ( $A$ ) est exprimée par :

$$A = \log \frac{1}{T} = \log \frac{\Phi_i}{\Phi_t}$$

C'est un nombre (sans unité) compris entre 0 et l'infini.

### III - Le spectrophotomètre UV-visible

#### Résumé :

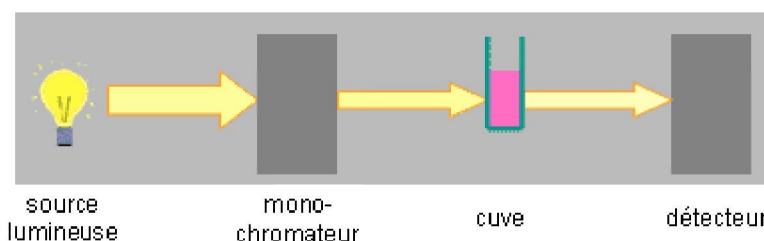
Un spectrophotomètre permet de mesurer **l'absorbance d'un échantillon**, par rapport à l'absorbance d'un **échantillon de référence**. En pratique, les mesures d'absorbances sont effectuées pour des valeurs comprises entre 0,1 et 1,5 unités d'absorbance.

Cette absorbance peut être mesurée :

- à une longueur d'onde définie  $\lambda$  : on obtient une valeur  $A_{(\lambda)}$
- sur une gamme de longueur d'onde : on obtient un **spectre d'absorbance** sur la gamme choisie

#### 1- Description de l'appareil :

Un spectrophotomètre comprend 4 parties essentielles : la source lumineuse, le monochromateur, la cuve et le détecteur.



◆ La source lumineuse peut être constituée de plusieurs lampes :

- Une lampe à décharge au deutérium pour le domaine UV : de 190 à 400 nm.
- Une lampe à filament de tungstène pour le domaine visible : de 350 à 800 nm.
- Une lampe à décharge au xénon utilisée dans le domaine UV et visible. Ce type de lampe est très énergétique et fonctionne sous forme de flash, juste au moment de faire une mesure.

◆ Le monochromateur permet d'isoler le rayonnement de longueur d'onde définie sur lequel on fait la mesure.

◆ La cuve contient l'échantillon. La longueur de la cuve est définie (usuellement le trajet optique est de 1 cm). Elle doit être transparente au rayonnement d'étude (donc propre). Par exemple, pour un rayonnement UV, la cuve doit être en quartz, le verre ou le plastique ne permettant pas à ce type de rayonnement de passer.

◆ Le détecteur peut être de différents types (photodiode, barette de diode...). Il permet d'analyser la lumière qui a été transmise par l'échantillon, et donc de calculer **l'absorbance** de l'échantillon.

#### 2- Utilisation du spectrophotomètre :

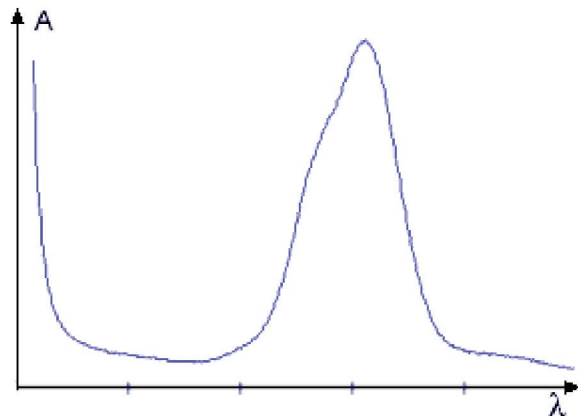
◆ **Deux types de mesures :**

Le spectrophotomètre a pour fonction de mesurer l'absorbance d'un échantillon. En pratique, cette absorbance est limitée à une valeur de 2,5 et la gamme où l'appareil est le plus précis est comprise entre 0,1 et 1,5 unités d'absorbance.

Il est possible de faire deux types de mesure :

◆ La mesure peut être réalisée à une longueur d'onde  $\lambda$  définie. On obtiendra alors une valeur d'absorbance unique  $A(\lambda)$ .

◆ La mesure peut être réalisée sur une gamme de longueur d'onde. On obtiendra alors un spectre qui indiquera l'absorbance en fonction de la longueur d'onde de la lumière utilisée. Pour exemple, le dessin ci-contre reproduit le spectre du chlorure de cobalt ( $C = 0,215 \text{ mol.L}^{-1}$ ) dans la gamme de longueur d'onde 200-700 nm.



Spectre du chlorure de cobalt entre 200 et 700 nm

### ◆ La référence :

Lors de toute mesure spectrophotométrique, il est nécessaire d'avoir une mesure de référence qui constitue la "ligne de base" de l'appareil. Les mesures seront alors réalisées par rapport à la mesure de référence.

NB : Pour plus de détail sur le choix de la solution de référence, reportez vous à la partie de cours "[Dosages par spectrophotométrie](#)".

Deux types de spectrophotomètres existent : les appareils monofaisceau (avec une seule cuve) et les appareils double faisceau (avec deux cuves).

- Pour un appareil monofaisceau, on enregistre d'abord le spectre de référence, puis on fait les mesures, l'appareil ayant gardé en mémoire le spectre de référence.
- Dans le cas d'un appareil double faisceau, on met dans une première cuve la solution de référence, et dans une seconde cuve identique, l'échantillon à mesurer, l'appareil faisant une mesure comparative des deux faisceaux transmis.



## IV - Spectrophotométrie : la loi de Beer-Lambert

### Résumé :

Dans les conditions suivantes :

- lumière **monochromatique**,
- solution **limpide** d'un composé de **faible concentration**,
- absorbance faible ( $A < 1,5$ ),

la loi de Beer-Lambert s'énonce ainsi :  $A = \epsilon_{\lambda} \cdot l \cdot C$

### 1- Enoncé de la loi de Beer-Lambert

Pour un rayonnement monochromatique de longueur d'onde  $\lambda$ , l'absorbance  $A$  d'une substance en solution est proportionnelle à sa concentration  $C$  et à l'épaisseur  $l$  de la solution traversée.

$\epsilon_{\lambda}$  : coefficient d'extinction moléculaire en  $\text{mol}^{-1} \cdot \text{L} \cdot \text{cm}^{-1}$

$$A = \epsilon_{\lambda} \cdot l \cdot C$$

$C$  : concentration de la solution absorbante en  $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

$l$  : épaisseur de la substance absorbante en cm

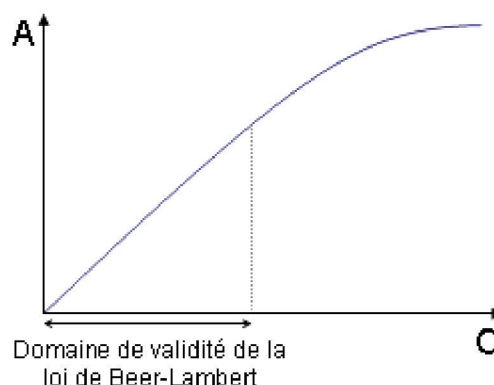
$\epsilon_{\lambda}$  est un facteur qui dépend :

- de la substance,
- de la longueur d'onde  $\lambda$  du rayonnement traversant la substance.

$\epsilon_{\lambda}$  dépend aussi de la température, même si ce paramètre a peu d'influence dans les conditions d'utilisation normales en laboratoire.

### 2- Conditions de validité

- La lumière utilisée doit être monochromatique.
- La solution ne doit pas contenir de précipité ; elle doit être limpide, afin d'exclure tout phénomène parasite.
- La concentration de la solution doit être faible. Ainsi, les interactions entre les molécules sont négligeables et l'absorbance est proportionnelle au nombre de molécules, donc à la concentration. Au delà d'une certaine valeur de concentration, cette propriété cesse et la loi de Beer-Lambert n'est plus applicable : la réponse de l'absorbance en fonction de la concentration n'est plus linéaire (voir le schéma ci-dessous).
- L'absorbance ne doit pas être trop élevée : en général au-delà d'une valeur de 1,5 en absorbance, la linéarité de la loi de Beer-Lambert n'est plus observée (voir le schéma ci-dessous).





## V - Dosages par spectrophotométrie

### Résumé :

Au cours d'un dosage spectrophotométrique, l'échantillon de **référence** contient tous les composés de l'échantillon à tester qui absorbent à la longueur d'onde choisie, **sauf le composé à doser**.

Pour effectuer le dosage d'un composé, on se place en général à la longueur d'onde  $\lambda_{(A_{max})}$  qui correspond au **maximum d'absorbance** de ce composé.

**3 méthodes de dosages** peuvent être utilisées : dosage direct / dosage par rapport à un étalon / dosage par rapport à une courbe étalon.

La méthode de dosage par rapport à une courbe étalon est la méthode la plus fiable. La courbe étalon doit alors être tracée avec au minimum **3 points expérimentaux**, répartis de façon **homogène** sur une gamme de concentration **comprenant** la concentration de l'échantillon à tester.

Un dosage est une manipulation qui a pour but de déterminer la quantité d'un produit dans un échantillon. Suivant les conditions, différentes techniques peuvent être mises en oeuvre pour réaliser un dosage : dosage colorimétrique, dosage potentiométrique, dosage par spectrophotométrie...

La technique du dosage par spectrophotométrie présente plusieurs avantages :

- elle est d'un emploi très général, pour tout composé absorbant ou susceptible d'absorber en présence d'un réactif adéquat,
- elle est d'une grande sensibilité, elle permet le dosage des traces,
- elle est rapide puisque les mesures effectuées sont directes,
- elle est non destructive,
- elle permet le dosage d'un corps en présence d'autres corps absorbants grâce à l'utilisation de la référence (voir ci-dessous).

### 1- Choix de la solution de référence

Nous savons que les absorbances de différents produits contenus dans une même solution sont additives. Cette propriété est mise à profit dans les méthodes d'analyse pour déterminer l'absorbance d'un composé. On prépare deux cuves :

- une première cuve contenant le solvant, la substance à doser et les réactifs si nécessaire : ceci est l'échantillon ;
- une seconde cuve, appelée "**référence**" (on l'appelle aussi "blanc") qui contient tous les composés présents dans l'échantillon à **l'exception de la substance à doser**.

Le résultat donné par le spectrophotomètre est toujours issu d'un calcul : c'est l'absorbance de l'échantillon à laquelle a été soustraite l'absorbance de la référence :

$$A_{\text{finale}} = A_{\text{échantillon}} - A_{\text{référence}}$$

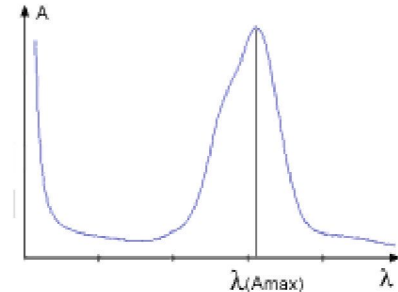
L'absorbance finale n'est donc due qu'à la substance à doser : par cette méthode, il est donc possible de doser un composé en présence d'autres composés (si on connaît la nature et la concentration de ces autres composés).



**Note :** parfois il n'est pas possible de faire une solution de référence qui contienne tous les produits sauf le produit à doser. Ceci ne pose pas de problème si les autres produits n'absorbent pas à la longueur d'onde de travail.

## 2- Choix de la longueur d'onde de mesure

Pour effectuer le dosage d'un composé, on se place en général à la longueur d'onde qui correspond au maximum d'absorbance de ce composé  $\lambda_{(A_{max})}$ . On obtient ainsi la meilleure sensibilité possible pour la détection du composé.



Spectre du chlorure de cobalt entre 200 et 700 nm

Note : il peut arriver que l'on ne se place pas au  $\lambda_{(A_{max})}$  dans le cas où l'on voudrait mesurer l'absorbance d'un produit en présence de produits parasites. On se placera alors à la longueur d'onde qui correspond à la plus grande différence d'absorbance entre le produit d'étude et les produits parasites.

## 3- Différentes méthodes pour réaliser un dosage

### ◆ Dosage direct :

La façon la plus simple de réaliser un dosage par spectrophotométrie est de faire une mesure de l'absorbance de l'échantillon à une longueur d'onde  $\lambda$ , avec une référence adéquate. Si le coefficient d'extinction moléculaire à cette longueur d'onde ( $\epsilon_\lambda$ ) est connu, et si on sait que l'on est dans le domaine d'application de la loi de Beer-Lambert, on a alors :

$$C = A / (\epsilon_\lambda \cdot l)$$

### ◆ Dosage par rapport à un étalon :

Cette méthode est plus sûre que la précédente puisqu'elle prend en compte le fait que le spectrophotomètre n'est peut-être pas complètement bien réglé. D'autre part elle ne nécessite pas de connaître au préalable la valeur de  $\epsilon_\lambda$ .

Le principe est de préparer une solution avec une concentration connue en produit que l'on cherche à doser (cette concentration étant si possible la plus proche possible de la concentration dans l'échantillon à doser). On fait la mesure de l'absorbance de cette solution à une longueur d'onde  $\lambda$ . Si on est dans le domaine d'application de la loi de Beer-Lambert, on va pouvoir alors calculer  $\epsilon_\lambda$  :

$$\epsilon_\lambda = A / (l \cdot C)$$

Cette méthode se termine alors comme la précédente, en prenant une mesure de l'absorbance de l'échantillon.

Il faut noter que le fait de déterminer  $\epsilon_\lambda$  à partir d'une seule mesure n'est pas idéal : pour obtenir une valeur fiable il est conseillé de faire au moins 3 solutions et 3 mesures d'absorbance, et de faire une moyenne pour déterminer la valeur de  $\epsilon_\lambda$  à utiliser.

### ◆ Dosage par rapport à une courbe étalon :

Cette méthode est la plus sûre des trois méthodes exposées ici. Le principe est de tracer une courbe de réponse  $A = f(C)$  appelée courbe "étalon". Grâce à cette courbe il sera possible de :

- déterminer la valeur de  $\varepsilon_\lambda$  à partir de la courbe,
- déterminer si la loi de Beer-Lambert s'applique bien sur la gamme de concentrations choisie.

### ◆ Préparation de la gamme étalon :

La courbe étalon est obtenue expérimentalement à partir d'une gamme étalon sur laquelle on fait des mesures d'absorbance. Une gamme étalon est constituée de plusieurs solutions préparées à partir du composé étudié, avec des concentrations différentes de ce composé. Les caractéristiques d'une bonne gamme étalon sont :

- la gamme de concentration est suffisamment étendue pour qu'elle comprenne la concentration de l'échantillon test,
- les concentrations des solutions sont réparties sur la gamme de façon homogène,
- le nombre de solutions est suffisant pour pouvoir tracer la courbe de tendance (3 points sont un minimum pour tracer une courbe de tendance linéaire).

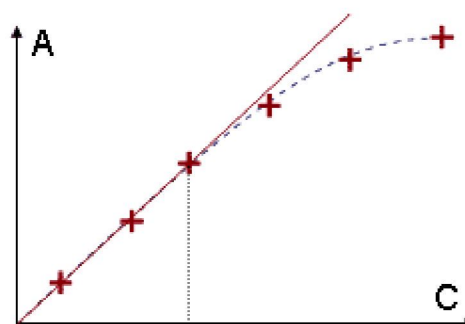
Il y a deux façons de réaliser une gamme étalon :

- Les solutions sont de concentrations voisines : dans ce cas, elles sont toutes préparées à partir de la solution mère initiale en choisissant des volumes différents de solution mère pour chaque solution préparée.
- Les solutions sont de concentrations très différentes, tel qu'il est nécessaire de prélever des volumes trop petits de solution mère pour être précis : dans ce cas, les solutions sont préparées par dilutions "en cascade" : si la solution  $S_1$  est préparée à partir de  $S_0$ , alors  $S_2$  est préparée à partir de  $S_1$ , puis  $S_3$  à partir de  $S_2$ ...

### ◆ Utilisation de la courbe étalon :

On place sur un graphe les points correspondant aux mesures obtenues à partir de la gamme étalon (voir ci-contre). Ces points suivent, aux erreurs expérimentales près, la réponse du spectrophotomètre  $A = f(C)$  (courbe pointillée bleue).

A partir de ces points, on peut tracer la courbe de tendance : droite rouge sur le dessin ci-contre.



Exemple de courbe étalon

A partir de cette courbe, il est possible de :

- déterminer le domaine de validité de la loi : c'est la zone où les points expérimentaux concordent avec la courbe de tendance,
- déterminer  $\varepsilon_\lambda$  : c'est la pente de la droite rouge.

On peut alors faire une mesure d'absorbance sur l'échantillon de concentration inconnue. On détermine la concentration de cet échantillon avec la valeur de  $\varepsilon_\lambda$ , et on vérifie que la concentration de l'échantillon est bien comprise dans la zone de validité de la loi. Si ce n'est pas le cas, on dilue l'échantillon, et on fait la mesure sur cette dilution.

## ASPECTS PRATIQUES

### I - Produits chimiques et risques

#### Résumé :

Lorsque l'on manipule des produits chimiques, il est nécessaire de se renseigner sur les risques qui sont associés à ces produits. Ces risques sont présentés dans une **fiche sécurité**. Dans Educ@ffix, nous vous proposons des fiches sécurité simplifiées, qui contiennent les rubriques suivantes : identification - propriétés - classification - phrases R et S (Risque et Sécurité)

#### 1 - Les produits chimiques

Pour faire une manipulation, un chimiste doit d'abord commencer par sélectionner les produits qu'il va utiliser. Dans Educ@ffix, vous allez faire de même : au début du TP vous indiquerez tous les produits que vous utiliserez.

Cette liste de produit sera prise en compte par le logiciel : lorsque vous voudrez faire une action, vous ne pourrez utiliser que les produits que vous avez sélectionnés.

#### 2 - Les risques associés aux produits chimiques : la fiche sécurité


Le chimiste ne manipule jamais un produit sans connaître les risques qui lui sont associés. Il sera donc nécessaire, avant de manipuler, de consulter la fiche sécurité de chaque produit. Cette fiche vous permettra de savoir comment utiliser un produit dans des conditions de sécurité. Dans chaque fiche, vous trouverez les parties suivante :

- **Identification** : pour pouvoir identifier le produit selon ses noms, formules et numéros officiels,
- **Propriétés** : pour connaître les propriétés physiques ayant une influence sur la sécurité,
- **Classification** : pour identifier les risques avec les pictogrammes,
- **Phrases de Risque et de Sécurité** : pour connaître dans le détail comment utiliser le produit.

Vous trouverez ci-après, un exemple de fiche sécurité :

## Exemple de fiche sécurité simplifiée : Acide chlorhydrique


### Identification :

Dénominations	Formule	Numéro CAS	Numéros CE
Acide chlorhydrique Chlorure d'hydrogène Acide muriatique  Hydrochloric acid	H-Cl	7647-01-0	Index : 017-002-01-X EINECS : 231-595-7

### Propriétés :

Masse molaire	Densité	Point de fusion	Point d'ébullition	Point éclair
36,46 g.mol <sup>-1</sup>	1,18	-35 °C	57 °C	11 °C

### Classification :

Santé	Seuils de classement
	<b>Effets corrosifs :</b>
	C ≥ 25,00 %
	Xi ≥ 10,00 %
C : Corrosif	

### Phrases de Risque et de Sécurité :

<b>R 34</b>	Provoque des brûlures
<b>R 37</b>	Irritant pour les voies respiratoires
<b>S 26</b>	En cas de contact avec les yeux, laver immédiatement et abondamment avec de l'eau et consulter un spécialiste
<b>S 45</b>	En cas d'accident ou de malaise consulter immédiatement un médecin (si possible lui montrer l'étiquette)
<b>S (1/2)</b>	Conserver sous clef et hors de portée des enfants



## II - Préparation d'une solution par dilution

### Résumé :

Une dilution consiste à ajouter du solvant à une solution mère contenant un soluté : la concentration en soluté est ainsi modifiée.

Lors d'une dilution, le nombre de moles de soluté n'est pas modifié. On a donc :

$$n_{\text{mère}} = n_{\text{dil}} \Rightarrow C_{\text{mère}} \cdot V_{\text{mère}} = C_{\text{dil}} \cdot V_{\text{dil}}$$

### 1 - Principe

On dispose d'un volume  $V_{\text{mère}}$  d'une "solution mère" de concentration molaire (ou massique) en soluté  $C_{\text{mère}}$  connue. On peut préparer, en ajoutant du solvant à cette solution, une nouvelle solution, plus diluée. Soit  $V_{\text{dil}}$  le volume de cette nouvelle solution.

On peut déterminer la valeur de la concentration  $C_{\text{dil}}$  de cette solution en tenant compte de ce que l'addition de solvant ne modifie pas la quantité de soluté. Autrement dit, la quantité (ou la masse) de soluté présente initialement dans le volume  $V_{\text{mère}}$  de la solution mère est égale à celle qui est présente dans le volume  $V_{\text{dil}}$  de la solution diluée :  $n_{\text{mère}} = n_{\text{dil}}$

On en déduit  $C_{\text{mère}} \cdot V_{\text{mère}} = C_{\text{dil}} \cdot V_{\text{dil}}$ , c'est à dire :

$$C_{\text{dil}} = C_{\text{mère}} \frac{V_{\text{mère}}}{V_{\text{dil}}}$$

On appelle facteur de dilution :

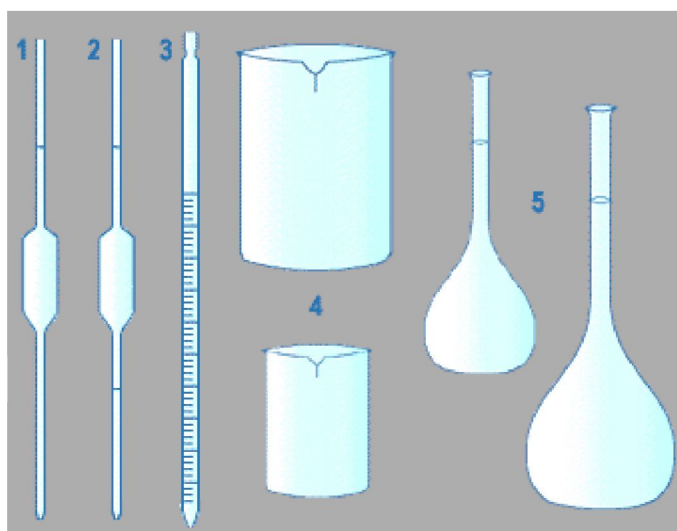
$$f = \frac{V_{\text{dil}}}{V_{\text{mère}}} = \frac{C_{\text{mère}}}{C_{\text{dil}}} > 1$$

### 2- Mise en oeuvre en laboratoire

◆ Généralement, dans un laboratoire de chimie, la prise d'essai de solution mère  $V_{\text{mère}}$  s'effectue à l'aide d'une pipette ou d'une burette. La solution diluée est préparée dans une fiole jaugée de volume  $V_{\text{dil}}$ .

Le volume  $V_{\text{mère}}$  de solution mère est introduit dans la fiole jaugée qui est ensuite complétée jusqu'au trait de jauge avec le solvant.

Il est impératif d'homogénéiser la solution préparée avant de l'utiliser.



Matériel utilisé dans un laboratoire de chimie pour préparer des solutions : pipettes (1-3), béchers (4), fioles jaugées (5)

◆ Dans un contexte biochimique ou d'analyses biologiques, il est commun d'utiliser un autre matériel. La prise d'essai de solution mère  $V_{\text{mère}}$  s'effectue à l'aide d'une micropipette automatique (délivrant un volume variant de 5 à 1000  $\mu\text{L}$ ) ou d'une seringue de précision. La solution diluée est préparée dans un tube non gradué. Le volume de solvant  $V_{\text{solvant}}$  ajouté dans ce

tube est mesuré précisément avec le même matériel, le volume total de la solution diluée étant la somme des deux ajouts :

$$V_{\text{dil}} = V_{\text{mère}} + V_{\text{solvant}}$$

Il est impératif d'homogénéiser la solution préparée avant de l'utiliser.

### III - Rinçage et propreté du matériel

#### Résumé :

Il ne faut pas confondre lavage et rinçage du matériel en chimie. Il est nécessaire de rincer tout matériel qui n'est pas de façon certaine **propre et sec**.

Suivant les cas, on peut rincer le matériel avec le solvant, ou avec la solution qui sera contenue dans ce matériel. Le choix de la solution de rinçage est fonction de la verrerie utilisée et des paramètres importants à maîtriser : **quantité de soluté** et/ou **concentration en soluté**.

#### 1 - Principe

Nous distinguerons :

- le lavage qui correspond à une opération effectuée en fin de manipulation avant de stocker le matériel. Le lavage permet d'éliminer les résidus chimiques. Il est généralement réalisé avec de l'eau, ou avec un solvant organique (acétone) si les composés utilisés ne sont pas solubles dans l'eau. Nous ne développerons pas davantage cet aspect.

- le rinçage qui est une opération préalable à l'utilisation du matériel. Cette opération est très importante car elle permet d'utiliser la verrerie dans des conditions optimales. Dans le cas où le matériel est propre et sec, il n'y a pas besoin d'effectuer un rinçage. Cependant, il est parfois difficile d'évaluer la propreté du matériel : l'oeil ne voit pas toujours les traces d'impureté. Le rinçage est donc en général effectué, simplement par précaution, sur tout matériel utilisé (sauf pour le matériel à usage unique). Le choix du solvant de rinçage est spécifique à chaque élément de verrerie et à chaque manipulation.

#### 2- Mise en oeuvre en laboratoire

##### ◆ Matériel délivrant un volume précis de solution

Il s'agit par exemple de la pipette, de la burette graduée ou de la seringue. Il est important de ne pas modifier la concentration de la solution prélevée. Dans le cas où le matériel ne serait pas propre et sec, il faut le rincer avec la **solution prélevée** (en jetant ce qui a servi au rinçage).

##### ◆ Matériel contenant un volume précis de solution

Il s'agit notamment de la fiole jaugée. Elle est utilisée en particulier pour opérer des dilutions ou des préparations de solutions de concentrations déterminées. Le rinçage de la fiole doit toujours être réalisé avec le **solvant** (l'eau dans le cas de solutions aqueuses) pour ne pas modifier la quantité de soluté qui est introduit dans la fiole jaugée. Le séchage de la fiole n'est pas nécessaire puisque du solvant sera ajouté jusqu'au trait de jauge.

##### ◆ Matériel contenant un volume non précis de solution

Il s'agit par exemple du bécher, de l'erlenmeyer, du tube à essai ou de la cuve du spectrophotomètre. Trois cas sont possibles :

- Le matériel est utilisé pour recevoir une **quantité déterminée** d'une espèce chimique (exemple de l'erlenmeyer dans le cas d'un dosage). Pour ne pas modifier cette quantité, le rinçage doit être effectué avec le **solvant**.

- Le matériel est utilisé pour recevoir une solution de **concentration déterminée** (par exemple un bécher utilisé pour stocker une solution le temps du TP, la cuve du spectrophotomètre). Pour ne pas modifier la concentration, le matériel doit être rincé avec la **solution à prélever**.
- Le matériel est utilisé pour recevoir une **quantité déterminée** d'une **solution de concentration** déterminée (par exemple un tube à essai dans lequel on effectue une dilution). Dans ce cas, le matériel doit être impérativement **propre et sec**.



## IV - L'homogénéisation des solutions

### Résumé :

Une solution nouvellement préparée doit toujours être homogénéisée avant utilisation.

L'homogénéisation consiste à agiter la solution : différentes méthodes peuvent être utilisées pour faire cela.

### 1 - Principe

Lorsque l'on prépare une nouvelle solution, que ce soit par mélange, dilution ou dissolution, le liquide obtenu n'est pas forcément homogène : c'est à dire que les concentrations en solutés ne sont pas identiques en chaque partie de la solution. Ceci peut poser problème, notamment en cas de prélèvement d'un échantillon de solution, puisque la concentration du volume prélevé ne pourra pas être connue avec certitude.

L'homogénéisation d'une solution nouvellement préparée est donc une étape très importante qu'il ne faut en aucun cas oublier de réaliser. Il s'agit tout simplement d'agiter le liquide pour répartir de façon homogène les particules de solutés.

### 2- Mise en oeuvre en laboratoire

Il existe différentes méthodes pour homogénéiser une solution, qui seront choisies en fonction du matériel utilisé et du type de manipulation :

- Après obturation du récipient avec un bouchon ou du film paraffiné, agiter vigoureusement.
- Introduire un barreau aimanté dans le récipient et mettre en route l'agitation en faisant tourner le barreau grâce à un agitateur magnétique.
- A l'aide d'une pipette pasteur ou d'une seringue, aspirer puis expulser plusieurs fois la solution dans le récipient.

## IV - Le laboratoire Educ@ffix

### Résumé :

Pour un TP, vous disposez de 12 tubes propres et secs pouvant contenir jusqu'à 5 mL de liquide.

Le robot diluteur utilise deux aiguilles différentes selon les liquides prélevés : une aiguille dédiée au solvant et une aiguille de prélèvement pour tous les liquides autres que le solvant.

L'aiguille de prélèvement et la cuve du spectrophotomètre doivent être rincées avant utilisation.

Le spectrophotomètre est un appareil mono-faisceau, travaillant dans l'UV et le visible, avec une cuve en quartz de 1 cm de trajet optique et nécessitant 2 mL de solution pour une mesure.

### 1 - Principe

Le matériel qui est utilisé au cours de la manipulation à distance est parfois différent du matériel qui serait utilisé dans un laboratoire classique.

Le propos de cette page est de décrire le matériel auquel vous pouvez accéder à distance pour réaliser le TP1 en fonction des actions que vous choisissez de faire. Les principes de chaque action sont décrits dans les autres fiches de la partie pratique.

#### 1 - Le robot et la manipulation des solutions

Tout ce qui concerne la manipulation de solutions est réalisé par le robot diluteur TECAN. Ce robot est composé d'une table de manipulation au dessus de laquelle se déplace un bras articulé muni d'aiguilles servant à prélever et à délivrer des liquides.



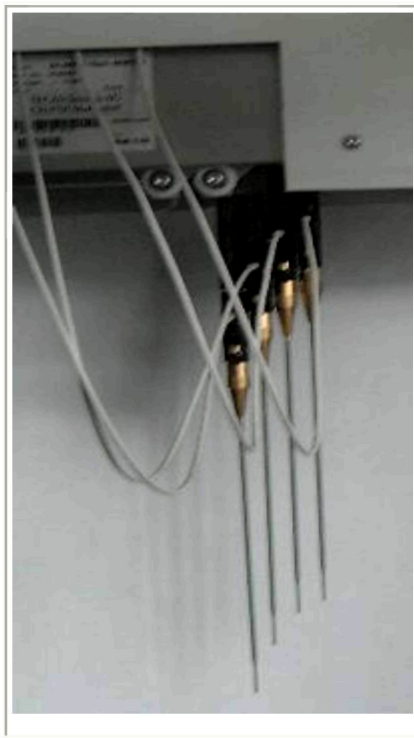
Sur la table du robot se trouvent :

- **les produits chimiques** auxquels vous avez accès pour la manipulation, à gauche
- **les tubes** dans lesquels vous pouvez stocker vos solutions : pour un TP, vous disposez de 16 tubes propres et secs pouvant contenir jusqu'à 5 mL de liquide.



Sur le bras articulé se trouvent les deux aiguilles du robot :

- **l'aiguille dédiée au solvant.** Cette aiguille est dédiée uniquement à la manipulation du solvant utilisé au cours de la manipulation : l'eau. Vous n'avez donc pas à vous préoccuper de son rinçage.
- **l'aiguille de prélèvement.** Cette aiguille est utilisée pour la manipulation de toutes les autres solutions que le solvant. Après utilisation, elle est automatiquement lavée à l'eau par le robot. Par contre, son rinçage, avant utilisation, doit être spécifié par vos soins.

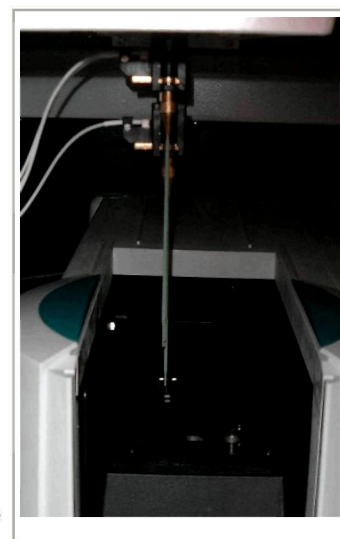


#### ◆ Rinçage et propreté du matériel

Pour le matériel qui n'est pas propre et sec vous devez effectuer un rinçage. En pratique, il est nécessaire d'indiquer au robot :

- de rincer l'aiguille de prélèvement avant de faire un prélèvement de solution mère lors d'une préparation de solution par dilution : ce rinçage se fait par aspiration de la solution adéquate dans l'aiguille puis expulsion dans la poubelle à liquides ;
- de rincer l'aiguille de prélèvement et la cuve du spectrophotomètre avant de faire une mesure spectrophotométrique : ce rinçage est effectué en une seule action, par remplissage avec la solution de rinçage, grâce à l'aiguille de prélèvement, de la cuve du spectrophotomètre. La solution de rinçage est ensuite évacuée dans la poubelle à liquide.

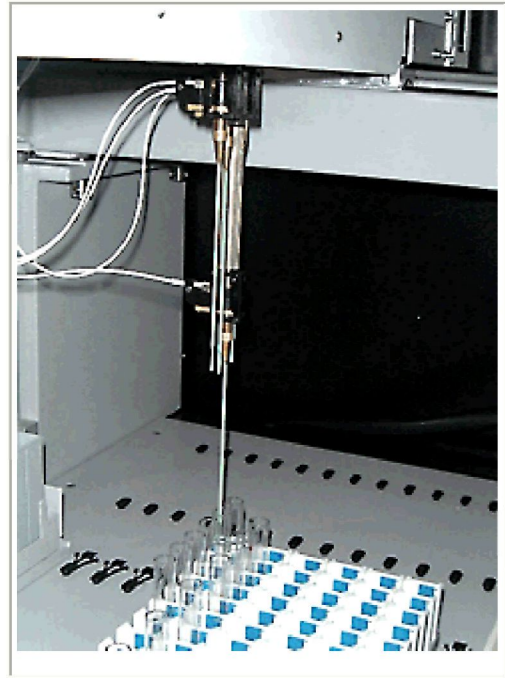
**Note :** contrairement aux autres actions, après un rinçage, l'aiguille de prélèvement n'est pas lavée à l'eau !



#### ◆ Préparation d'une solution par dilution

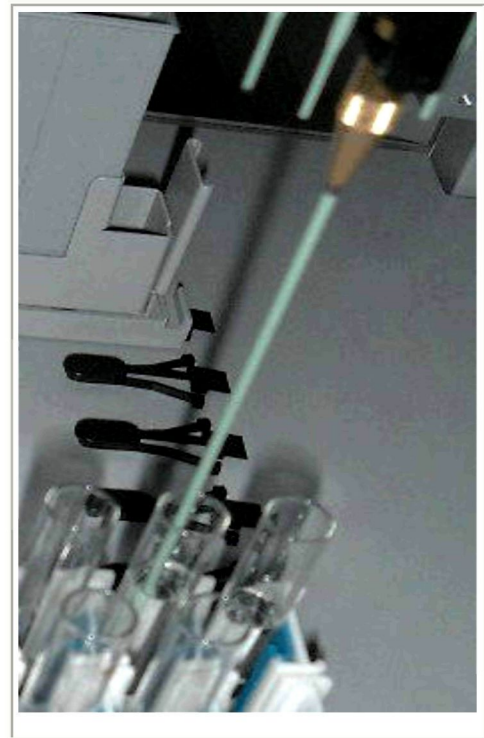
Le volume précis de solution mère est prélevé avec **l'aiguille de prélèvement**, puis délivré dans un tube. Vous devez vous assurer que l'aiguille est rincée avec la solution adéquate avant de l'utiliser.

Le volume précis de solvant est ajouté à la solution mère avec **l'aiguille dédiée au solvant**.



#### ◆ Homogénéisation des solutions

Il est nécessaire d'homogénéiser une solution après l'avoir préparée. Ceci est effectué, avec l'aiguille de prélèvement, par plusieurs cycles d'aspiration / éjection du liquide contenu dans le tube.



## 2 - Le spectrophotomètre

Le spectrophotomètre utilisé dans le laboratoire Educ@ffix a les caractéristiques suivantes :

- sa gamme de mesure couvre les spectres ultraviolet et visible : les mesures peuvent donc être effectuées entre 190 nm et 1100 nm,
- il utilise une technologie mono-faisceau : il faut donc enregistrer un spectre de référence avant les mesures,

- il possède une cuve en quartz de 1 cm de trajet optique qui nécessite un volume de 2 mL de solution pour pouvoir effectuer une mesure.



## **Annexe D. Interface du logiciel Edu@ffix.net**



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

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...

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

TP N°1 spectrophotométrie: Dosage du colorant E124 dans le sirop de grenadine [Accueil](#)

Cahier de laboratoire de : ced

Etape 1 - Produits sélectionnés

Etape 2 - Préparation des solutions de la gamme étalon

Etape 3 - Obtention des points de la courbe étalon

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

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

Préparer une solution par dilution ?

Matériel utilisé : les aiguilles du robot  
[en savoir](#)

Nom de votre nouvelle solution :

Je prélève : mL

de solution mère :

Je complète avec le solvant :

pour un volume total de mL

Enregistrement dans l'étape :

Etape 2 - Gamme étalon

OK Annuler

Modifier Supprimer

Evaluer le protocole

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

Pour imprimer

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

# Annexe E. Protocole construit par un expert afin de répondre à la question posée dans le logiciel

## Etape 1 - Produits sélectionnés

eau ; fiche sécurité consultée  
E124 ; fiche sécurité consultée  
sirop de grenadine

## Etape 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**.

## Etape 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 1<sup>er</sup> retour expérimental : maximum d'absorbance = 508 nm*
- Je prend une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **sol\_1**.
- Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **sol\_2**.
- Je prend une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **sol\_2**.
- Je rince le matériel : **cuve** avec la solution : **sol\_3**.
- Je prend une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **sol\_3**.

## Etape 4 – Préparation des solutions à partir du sirop de grenadine

- Ici il est nécessaire d'avoir un 2<sup>ème</sup> 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**.

## Etape 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 prend une mesure d'absorbance à **508 nm** sur la solution : **grenadine diluée**



## **Annexe F. Manuel de Terminale S (édition HATIER)**