

Plaidoyer pour la réhabilitation et pour l'autonomie de l'enseignement expérimental en chimie en premier cycle universitaire

Roger Barlet*, Armilde Rivera-Huizar**, professeurs

Summary : *Arguments for straightening and autonomy of practical work in chemistry at first level of university*

While new curriculum in French secondary school requires largely practical work, at university the laboratory teaching is reached by a major crisis : decrease in time and resources, weak interest from teachers and students, statute of dependence versus lectures.

Actors don't put up with this situation : teachers give priority to experimental and technical knowledge while students are wavering, for practical work, between subordinate position and more ambitious position including theory, understanding and significance. Indeed, observation of students in first year laboratory shows the gap between this potential aim and their actual behaviour.

From this double observation, we propose to improve autonomy of learning at the laboratory, some axis of action particularly three examples of manipulations : qualitative working, approach working and working including a good deal of theory.

Mots clés : *Apprentissage expérimental, démarche scientifique, autonomie, rapport théorie-pratique.*

Key-words : *Experimental teaching, scientific approach, autonomy, theory-practical relation.*

La chimie, devant la multiplication exponentielle des nouveaux composés moléculaires ou supramoléculaires, s'affirme plus que jamais comme une science expérimentale. Cette affirmation fait l'unanimité aussi bien parmi les enseignants-chercheurs universitaires que parmi les promoteurs des nouveaux programmes du secondaire [1]. Il n'est pas jusqu'à notre ministre qui n'ait clairement affirmé l'importance de l'enseignement expérimental, entre autres en chimie, dans un ouvrage publié peu avant sa prise de responsabilité gouvernementale et dans lequel il stigmatisait la dérive vers le dogmatisme et le formalisme d'un système éducatif qui lui

paraissait placer l'abstraction au dessus de l'observation et de l'expérience [2].

Et pourtant, si l'enseignement expérimental est maintenant au cœur des instructions officielles relatives à l'enseignement des sciences physiques au collège et au lycée, force est de reconnaître que nous n'en sommes pas là en ce qui concerne l'enseignement en premier cycle universitaire. Le statut de l'enseignement expérimental nous paraît doublement menacé, et par la hiérarchie des types d'enseignement que nous avons collectivement laissé s'installer au détriment des travaux pratiques, et par la nature d'enseignement de masse de l'accès à l'université. Cette menace affecte particulièrement la chimie qui doit en permanence exercer sa vigilance pour ne pas faire les frais des contractions d'horaire.

Dans le même temps, le projet européen « Labwok in science education » essaie, à partir d'enquêtes réalisées en

Europe, de porter un diagnostic sur les travaux pratiques au lycée et au début de l'université pour mieux préciser les enjeux d'une possible amélioration [3].

Statut et rôle des TP en chimie à l'université

Il convient de dissocier clairement la situation réelle qui correspond indiscutablement à une lente dégradation qui dure depuis plus de deux décennies et la fonction essentielle, constitutive, que l'expérimentation et le rapport modélisation-expérimentation devraient jouer dans la construction du *savoir-faire* mais aussi du *savoir* du chimiste.

La situation réelle ou le constat

Cette situation est largement contradictoire si on examine le passage du lycée à l'université et si, dans les ensei-

* Laboratoire interdisciplinaire de didactique des sciences expérimentales, Université Joseph Fourier, BP 53, 38041 Grenoble Cedex 9. Tél : 04.76.51.48.35. Fax : 04.76.51.42.51. E-mail : Roger.Barlet@ujf-grenoble.fr

** Université de Zacatecas, jardin Juarez 147, Zacatecas, Mexique.

gnements universitaires, on compare les filières générales et les filières technologiques.

Dans l'enseignement secondaire, l'enseignement expérimental de la chimie a plutôt tendance à se redresser à partir d'un constat de départ où dans l'enseignement de cette discipline prédominaient la théorie et les exercices calculatoires sans références à la vie quotidienne [1]. La parenthèse regrettable de la suppression des sciences physiques en sixième et cinquième est peut-être en train de se refermer avec le retour des sciences physiques en cinquième et les signes positifs sont nombreux :

- l'attraction qu'exercent les expériences de chimie sur les jeunes élèves est un phénomène bien connu, largement mis à profit depuis de nombreuses années par le concours « Chimie, la Classe » [4], et surtout par l'action d'une association comme « Graine de Chimiste » [5] menée dès la maternelle mais surtout dans le primaire et au collège ;

- la réalisation d'expériences attirantes, faciles à mettre en œuvre et significatives, nécessite moins de moyens qu'en physique et moins de temps qu'en biologie ;

- une étude menée en classe de troisième a montré la motivation des élèves pour les expériences même si cet intérêt, voire cet enthousiasme, est davantage induit par le côté spectaculaire des dites expériences que par l'assimilation de notions théoriques [6] ;

- les nouveaux programmes, mis en place depuis 1993, insistent maintenant sur le recours à l'expérimentation, l'interaction entre la vie quotidienne et l'apprentissage expérimental, tout particulièrement en chimie, et sur la formation du citoyen ;

- on connaît bien le rôle décisif, largement développé dans ce journal [7] qu'ont pu jouer les Olympiades de la chimie dans cette mise en place et le rôle qu'elles continuent à jouer pour la promotion de l'enseignement expérimental ;

- les options de première S et les spécialités de terminale sont des vecteurs importants de cette nouvelle mise en selle de l'expérimental en chimie et conduisent les élèves à davantage mani-

puler personnellement, même si les contraintes horaires et d'organisation induisent des protocoles très directifs qui n'autorisent pas l'accès à une vraie démarche expérimentale [8] ;

- l'émergence de l'enseignement expérimental devrait même avoir sa traduction aux épreuves du baccalauréat puisque une évaluation de ce type d'enseignement a déjà été introduite à titre expérimental.

A l'université, les filières professionnalisées telles que les IUT, les IUP, le DEUG technologique et industriel ou les filières d'ingénieurs issues des MST, donnent obligatoirement une formation technologique et expérimentale importante. Par contre, les filières générales, celles qui accueillent le plus grand nombre d'étudiants, évoluent vis-à-vis de l'enseignement expérimental, de façon opposée aux évolutions positives du secondaire. Une véritable *situation de crise*, particulièrement sensible en chimie mais valable aussi dans d'autres disciplines expérimentales comme la physique et la biologie, sévit surtout en premier cycle mais commence à diffuser dans les filières généralistes telles la filière des sciences physiques.

L'enjeu est d'importance car l'amélioration, encore fragile, de l'enseignement expérimental au lycée risque ainsi d'être annihilée auprès d'étudiants formés aux nouveaux programmes mais confrontés à un enseignement pratique dévalorisé dans les esprits et affaibli en moyens. *La situation et le statut de cet enseignement sont en effet menacés à plusieurs niveaux.*

La dégradation en volume et en moyens est persistante depuis le milieu des années 70 et le passage du DUES au DEUG. A partir d'une situation de départ où le volume de TP, particulièrement en première année, était encore acceptable [9], l'évolution vers la peau de chagrin a été sensible. On peut affirmer que la place croissante prise par les TD s'est faite au détriment de l'enseignement expérimental [10]. Ce transfert a d'ailleurs été largement plébiscité par les étudiants, qui ont fait des TD l'élément clé de préparation à l'examen, et par les enseignants qui ont préféré cet enseignement, très lié au cours, à un enseignement de TP difficile à évaluer [10] et jugé moins noble.

A Grenoble, pour ne prendre que l'exemple de la chimie, mais les évolutions sont les mêmes dans les autres disciplines, depuis la séance hebdomadaire en MPC, SPCN et PCB, les TP sont passés à 12 séances en PC₁ et CB₁/BG₁ avec disparition en PCEM. Il reste aujourd'hui 6 séances en SM₁ et 9 séances en SV/ST₁. Coûteux en moyens (matériel, verrerie, produits), l'enseignement expérimental est devenu trop souvent le premier lieu d'économie. A Grenoble, comme ailleurs, l'augmentation des heures d'enseignement en C et TD, au-delà du potentiel d'encadrement, a entraîné des heures complémentaires dont le paiement s'est fait, autonomie des universités oblige, au détriment du fonctionnement des TP. Heureusement que les budgets d'équipement des années 60 ont permis de donner une bonne impulsion initiale mais, aujourd'hui, on est en roue libre, le matériel vieillit et la modernisation des salles de TP est largement insuffisante même si pour 3/4 des enseignants le matériel mis à disposition est plutôt jugé satisfaisant [3].

Cette dégradation n'est pas seulement due à l'augmentation des effectifs étudiants de 1988 à 1993 car elle l'a précédé lors des années creuses 80-87 et persiste malgré la baisse actuelle d'étudiants scientifiques¹. Elle est fondamentalement due à une *évolution profonde des esprits* qui place le TP en situation de marginalisation vis-à-vis des autres formes d'enseignement. Intervenant peu ou mal dans l'évaluation, l'enseignement pratique est en effet réduit à une fonction subalterne d'illustration du cours. Cette fonction de pur accompagnement peut prendre la forme d'un *TP-application* ou d'un *TP-vérification*, liés en aval au cours, de façon limitée et ponctuelle. *Cet arrimage très étroit au contenu du cours entraîne donc une perte d'autonomie du TP* qui se doit alors d'être en coordination étroite avec le développement du cours. Cette hiérarchie C/TP n'est remise en cause ni par les enseignants ni par les étudiants spécialement attachés à une telle coordination. Il est même assez navrant de constater que les enseignants expérimentés fuient les TP et les laissent à leurs jeunes collègues et que l'investissement en TP n'a aucune valeur vis-à-vis de la carrière.

Cette fonction d'illustration a pour conséquence de donner la primauté à l'apprentissage de techniques et méthodes plutôt qu'à la mise en œuvre d'une véritable démarche expérimentale. Le mode opératoire est le plus souvent très directif et prend le risque de dispenser d'une réflexion personnelle. Appliqué comme une recette passe-partout, il ne confronte pas les gestes opératoires et l'interprétation scientifique de ces gestes. Une partie théorique est bien présente dans la majorité des feuilles de TP mais elle est située en amont et généralement déconnectée des actes opératoires. Dans ces conclusions, la passivité et l'acquisition de véritables réflexes conditionnés sont développées au détriment du recul critique.

Au plan pédagogique et didactique, cette dévalorisation de la séance de travaux pratiques ne permet pas un va-et-vient modélisation-expérimentation et la mise en œuvre d'un raisonnement hypothético-déductif. Elle favorise un enseignement expérimental de nature prototypique, monstratif, à partir duquel on généralise de façon réductrice. L'évolution vers un sous-niveau critique, en volume et en moyens, ne met pas la séance de TP en mesure d'affronter correctement la diversité expérimentale et ne permet pas de se prémunir contre une dérive vers la sclérose et le dogmatisme. Ceci est vrai aussi bien en chimie-physique (en cinétique par exemple, on déterminera des énergies d'activation à partir de mesures menées à deux températures seulement et on ne prendra pas le moyen de vérifier expérimentalement la fin de l'avancement cinétique dans la détermination de la constante de vitesse) qu'en chimie organique ou l'addition de HBr sur des alcènes dissymétriques sera réputée conduire majoritairement, contre beaucoup d'observations expérimentales, à des produits Markownikov [11].

La fonction de l'expérimentation dans la construction du savoir

Alors même que des conditions de changement se font jour au lycée, ce constat, sur la situation universitaire est inquiétant même si, ici ou là, des expériences de réhabilitation du TP en premier cycle ont pu exister, à un moment

il est vrai où les effectifs le permettaient [12]. Ce constat est avant tout le produit d'une pratique et de contraintes qui font malheureusement l'impasse sur la fonction que devrait jouer, par nature, par essence même, l'expérimentation dans la construction du savoir en chimie.

La nature expérimentale de la chimie est en effet un trait constitutif dans une discipline caractérisée par la multitude et la diversité des espèces chimiques (18 millions de composés sont actuellement recensés) mais également confrontée, comme la biologie, à une complexité croissante.

C'est l'expérimentation qui est la source de tout savoir en chimie : elle seule est en mesure de structurer et organiser ce savoir construit sur les multiples réactions chimiques observées au laboratoire, même si ces réactions chimiques doivent être interprétées à travers une modélisation explicative.

Dans la chimie affirmée ainsi comme science expérimentale, l'enseignement expérimental devrait posséder un statut privilégié. Le statut reconnu devrait prendre appui sur différentes fonctions :

- une fonction épistémologique puisque c'est l'expérimentation qui permet de créer du nouveau savoir dans un rapport dialectique permanent avec la modélisation, affinée et modulée au fur et à mesure de la diversification des résultats expérimentaux (cf. histoire de la chimie).

- une fonction didactique puisque cette confrontation modélisation-expérimentation sera seule en mesure de permettre une construction personnelle du savoir de tout apprenant à travers l'accès à une véritable démarche scientifique ;

- une fonction pédagogique car, malgré son poids réduit aux examens, l'enseignement expérimental peut constituer le lieu d'une forte interaction enseignant-apprenant et d'une individualisation de l'apprentissage par l'activité de laboratoire ;

- une fonction psycho-cognitive car cette activité au laboratoire peut être un lieu de formation et d'épanouissement personnel rendus possible par un travail concret et gestuel ; cet apprentissage par l'action peut également prendre la

forme d'un apprentissage coactif favorisant les échanges interindividuels.

L'enseignement expérimental, malgré les menaces qui pèsent sur lui à l'arrivée à l'université, conserve donc des atouts et un statut potentiel en mesure de permettre sa réhabilitation. Il constitue un enjeu de formation que les chimistes ne peuvent pas négliger et cela d'autant moins que les acteurs, enseignants et étudiants, comme nous allons le voir, ne prennent pas leur parti de la dégradation que nous venons d'évoquer.

Le diagnostic des acteurs

La place réellement faite à l'enseignement expérimental en chimie, dans le dispositif de formation, passe d'abord par la perception et les attentes de ces acteurs, par le diagnostic qu'ils portent sur cet enseignement.

Pour notre part, nous formulons l'hypothèse centrale suivante : *l'expérimental constitue le support indispensable pour l'établissement de relations dialectiques entre phénomènes observables et conceptualisation ; l'apprentissage expérimental peut alors motiver les étudiants et les amener à construire leurs propres connaissances et à leur donner du sens.* Nous sommes conscients que cette hypothèse n'a pas forcément vocation à être partagée par l'ensemble des chimistes et qu'elle doit faire l'objet d'une vérification.

Questionnaire-enquête sur l'enseignement expérimental en chimie

Dans le cadre d'un travail de thèse [13] en didactique de la chimie, nous avons cherché à tester cette hypothèse à travers un questionnaire en 2 parties :

- une première partie (*annexe 1*) sur la hiérarchisation de 15 objectifs de l'enseignement expérimental évalués par *Q* sort entre 4 (très utile) 3 (utile), 2 (peu utile) et 1 (inutile) et distinguant la situation réelle et la situation souhaitable ;

- une deuxième partie (*annexe 2*) sur le statut de l'enseignement expérimental comportant 12 questions, type QCM.

Le questionnaire a été proposé en 94-95, d'une part aux enseignants chimistes de l'UJF (université Joseph Fourier), auprès desquels nous avons récupéré 36 réponses, d'autre part à 125 étudiants de premier cycle à Grenoble (66 en DEUG A1 et 59 en DEUG B1), 39 étudiants d'IUT (département de chimie de l'IUT de Grenoble) et 51 étudiants de première année à l'école d'électrochimie et d'électrometallurgie de Grenoble (ENSEEG). Le questionnaire étudiant a également été exploité auprès de 129 étudiants de second cycle (15 en licence de chimie, 38 en licence de biochimie, 35 en licence de chimie physique et 41 en licence de sciences physiques).

Perception des objectifs de l'enseignement expérimental

De façon à favoriser l'analyse de la partie objectifs du questionnaire, nous avons distribué les 15 objectifs en 5 assemblages de 3 objectifs permettant de distinguer :

- les connaissances fondamentales, liées aux contenus théoriques (questions 1, 2 et 15) ;

- la formation méthodologique, liée à la démarche expérimentale et à l'auto-nomie (questions 3, 8 et 13) ;

- la formation cognitive, liée au développement de qualités individuelles (questions 4, 7 et 11) ;

- l'apprentissage technique, lié aux aspects opératoires et à la mesure expérimentale (questions 5, 9 et 12) ;

- les aspects implication de la chimie expérimentale dans la vie quotidienne et illustration directe du cours (questions 10, 14 et 6).

Les situations réelles et souhaitables ont été évaluées sur le terrain à partir des valeurs moyennes, obtenues dans les réponses au Q sort, pour chacun des objectifs.

Dans la situation réelle (figure 1), pour une évaluation moyenne multi-objectifs de 2,3 pour les enseignants et 2,5 pour les étudiants (c'est-à-dire entre peu utile et utile), certains objectifs émergent :

- la démarche expérimentale (objectifs 3 et 8) pour les enseignants et surtout pour les étudiants (particulièrement ceux de l'IUT et de l'ENSEEG) ;

- l'apprentissage technique pour les étudiants (surtout à l'IUT et en second

cycle et les enseignants mais avec prépondérance de la familiarisation technique (objectif 5) sur la validité de la mesure (objectif 9) ;

- l'aspect théorique pour les étudiants seulement et surtout pour l'objectif 2 (approfondissement à partir de l'expérimental).

En revanche, les rapports entre chimie expérimentale et vie quotidienne, de même que la formation professionnalisante apparaissent de très faible utilité aux étudiants (sauf ceux d'IUT) et plus encore aux enseignants.

Dans le même ordre d'idées, la complexité expérimentale (objectif 11) n'est pas appréhendée par les étudiants et encore moins, curieusement par les enseignants. L'illustration du cours (objectif 6) est dans une situation intermédiaire, pour les étudiants comme pour les enseignants.

Au total la situation réelle, vécue dans les laboratoires de TP, apparaît comme assez paradoxale :

- les enseignants, largement frustrés par cette situation, placent en première position les objectifs relatifs aux aptitudes manipulatoires avant ceux relatifs à la méthodologie et surtout à la théorie ;

	Connaissances fondamentales			Formation méthodologique			Formation cognitive			Apprentissage technique			Implication vie quotidienne		
	1	2	15	3	8	13	4	7	11	5	9	12	10	14	6
ENSEEG 1 ^{re} année	2,84	2,98	2,59	3,08	2,98	2,74	2,65	2,86	2,70	2,74	2,55	2,41	2,21	2,35	2,55
IUT chimie organique	3,00	3,19	2,62	3,38	3,13	2,95	3,19	3,21	2,58	3,40	3,08	2,81	2,47	2,49	2,83
IUT chimie physique	2,50	2,17	2,57	3,17	2,96	2,76	2,68	3,01	2,58	3,03	2,72	3,18	2,18	2,59	2,55
DEUG A 1 ^{re} année	2,38	2,89	2,61	2,85	2,85	2,87	2,69	2,62	2,32	2,56	2,63	2,11	2,03	2,01	2,57
DEUG B 1 ^{re} année	2,55	2,96	2,67	3,12	2,80	2,95	2,32	2,78	2,45	2,72	2,80	2,71	2,13	2,43	2,64
L. chimie biochimie	2,86	3,02	2,49	3,13	2,92	2,57	2,54	2,65	2,62	3,20	2,72	2,12	2,04	1,94	2,55
L. Chimie Physique	2,64	2,97	2,55	3,09	2,88	2,42	2,54	2,56	2,30	3,09	2,82	2,15	2,00	1,82	2,79
L. sciences physiques	2,41	2,82	2,25	2,95	2,60	2,25	2,52	2,42	2,17	2,87	2,17	1,84	1,61	1,42	2,67
Étudiants Grenoble	2,64	2,91	2,55	3,08	2,89	2,71	2,62	2,75	2,46	2,91	2,68	2,37	2,08	2,12	2,63
Enseign. Grenoble	2,45	2,39	2,03	2,76	2,44	2,32	2,19	2,06	2,06	3,01	2,65	1,79	1,64	1,72	2,59

Les questions 1 à 15 sont regroupées par types.

Les moyennes pondérées des indices d'utilité (de 1 = inutile à 4 = très utile avec situation médiane à 2,50) sont données pour chacune des filières indiquées et figurent en caractères gras pour l'ensemble des étudiants et l'ensemble des enseignants.

Les trois questions ayant le plus haut indice d'utilité sont triées de façon décroissante.

Figure 1 - Questionnaire sur situation réelle.

- les étudiants, particulièrement ceux de premier cycle, classent la méthodologie et la théorie avant le savoir-faire technique.

Les étudiants ont-ils encore vis-à-vis de l'enseignement expérimental une attente positive et intégratrice alors que les enseignants ont perdu toute illusion ?

Dans la **situation souhaitable** (figure 2), la moyenne multiobjectifs remonte très fortement (de 2,5 à 3,4 pour les étudiants ; de 2,3 à 3,3 pour les enseignants) et se situe entre utile et très utile. La revalorisation des TP est bien à l'ordre du jour dans tous les esprits.

Les étudiants continuent à mettre au premier rang les objectifs méthodologiques mais tous les objectifs se rapprochent à l'exception de 10 et 14 (vie quotidienne) et 11 (complexité) qui restent en retrait.

Les plus fortes progressions sont obtenues pour les objectifs 12 de professionnalisation (+ 1,12), 14 et 10 de liaison avec les problèmes de la vie quotidienne (respectivement + 0,98 et + 0,85) et 15 de maîtrise de la relation théorie-pratique (+ 0,84). La progression de ce dernier objectif est plus accentuée en second cycle qu'en premier cycle. Les objectifs de formation cognitive 4 et 7 viennent ensuite.

Les *enseignants* placent toujours en tête le savoir-faire technique (question 5) mais à peine devant la formation méthodologique. Les plus fortes progressions sont obtenues pour la formation cognitive (dans l'ordre, objectif 7 d'esprit critique et 4 d'esprit de synthèse) puis la formation méthodologique (en particulier les objectifs 13 d'autonomie et 8 de compréhension des modes opératoires). Le rapport chimie expérimentale-vie quotidienne (objectifs 10 et 14) reste à un niveau assez faible de même que la professionnalisation (objectif 12) et la maîtrise théorie-pratique (objectif 15).

Les objectifs sous-évalués, par rapport aux étudiants, sont les objectifs 12 (- 0,52) puis 15 (- 0,34), 14 (- 0,31), 10 (- 0,26) et 3 (- 0,15). Tout se passe comme si la formation individuelle de type psychocognitif, l'autonomie et la compréhension des modes opératoires étaient plus urgentes aux yeux des enseignants, que la formation professionnalisante, les relations avec la vie quotidienne ou l'articulation théorie-pratique.

Perception du statut de l'enseignement expérimental

La seconde partie du questionnaire (cf annexe 2), composée de 12 ques-

tions à choix multiples, permet de comparer la position et le statut donnés à l'enseignement pratique par les étudiants et les enseignants.

Pour les étudiants, *l'importance de l'enseignement expérimental* (question 1) n'est pas aussi affirmée que pour les enseignants : la grande majorité des enseignants (92 %) et une minorité des étudiants de DEUG1 (35 %) considèrent l'enseignement expérimental comme *très important* ; il est simplement jugé *important* par les autres enseignants (8 %) et la majorité des étudiants de DEUG1 (53 %) ; ces derniers sont cependant 11 % à le juger *peu important*.

Par rapport aux cours et aux TD (question 2), les étudiants se montrent un peu plus satisfaits de la situation des TP que les enseignants mais c'est en premier cycle qu'ils sont le moins satisfaits (18 % oui, 37 % à peu près, 32 % pas vraiment, 9 % non, contre respectivement 11 %, 31 %, 28 % et 28 % pour les enseignants). La question 3 indique que seuls 21 % des enseignants jugent le volume d'enseignement expérimental suffisant (contre 48 % des étudiants en DEUG) et 33 % le jugent insuffisant ou très insuffisant (contre 17 % des étudiants de DEUG).

La possibilité *d'intervention du TP parallèlement au cours* (question 5) est

	Connaissances fondamentales			Formation Méthodologique			Formation cognitive			Apprentissage technique			Implication vie quotidienne		
	1	2	15	3	8	13	4	7	11	5	9	12	10	14	6
ENSEEG 1 ^{re} année	3,35	3,47	3,28	3,75	3,45	3,45	3,33	3,51	3,04	3,49	3,27	3,33	2,90	3,31	3,02
IUT chimie organique	3,37	3,68	3,33	3,82	3,49	3,51	3,67	3,78	3,15	3,72	3,60	3,73	3,12	3,25	3,31
IUT chimie Physique	2,88	3,01	3,57	3,73	3,73	3,66	3,52	3,59	3,11	3,63	3,33	3,76	2,99	3,36	3,20
DEUG A 1 ^{re} année	3,19	3,40	3,32	3,46	3,17	3,50	3,33	3,44	2,84	3,19	3,03	3,24	2,91	3,10	3,33
DEUG B 1 ^{re} année	2,93	3,30	3,31	3,55	3,40	3,51	3,20	3,45	2,85	3,36	3,18	3,50	2,78	3,01	3,16
L. chimie biochimie	3,22	3,74	3,49	3,76	3,52	3,52	3,48	3,36	2,98	3,72	3,31	3,50	2,94	2,86	3,41
L. chimie physique	3,12	3,70	3,42	3,73	3,45	3,44	3,53	3,39	2,88	3,51	3,57	3,68	3,09	3,18	3,41
L. sciences physiques	2,95	3,46	3,54	3,62	3,41	3,22	3,35	3,51	2,97	3,56	3,15	3,46	2,87	2,92	3,58
Étudiants Grenoble	3,14	3,47	3,39	3,66	3,43	3,47	3,40	3,49	2,96	3,49	3,27	3,49	2,93	3,10	3,30
Enseign. Grenoble	3,22	3,61	3,05	3,51	3,66	3,57	3,51	3,71	3,03	3,71	3,57	2,97	2,67	2,79	3,31

Figure 2 - Questionnaire sur situation souhaitable.

envisagée de façon surprenante par la moitié des étudiants de DEUG1 et d'IUT. La demande d'autonomie est, comme on pouvait l'attendre, encore plus forte du côté des enseignants (61 %). Ce point de vue des étudiants en faveur d'une relative autonomie va à l'encontre de ce que l'on conclut habituellement de la forte demande de coordination entre cours et TP qui semble donner au TP un rôle de simple accompagnement du cours. Les raisons invoquées par les étudiants (question 6) pour justifier ce choix sont avant tout celles de la *motivation* :

- l'approche expérimentale d'un concept est plus efficace (51 % des réponses) ;

- le TP donne intérêt et goût pour une discipline (48 % des réponses).

Les raisons de type épistémologique, inhérentes à la discipline, n'apparaissent qu'en second rang : 31 % seulement avancent comme raison la réponse 6 d, c'est-à-dire la construction du savoir dans une dialectique faits expérimentaux-hypothèses, mais cette réponse passe en tête (65 %) pour les étudiants de second cycle.

Les enseignants se situent entre les étudiants de premier et de second cycle : s'ils sont sensibles aux raisons épistémologiques (réponses 6_d et 6_e dans l'ordre), ils placent encore en tête la réponse 6_b.

Le choix d'un *enseignement expérimental obligatoirement lié au cours* (49 % des étudiants de premier cycle, 43 % des étudiants de second cycle) s'explique de façon identique dans les deux cycles (question 7) :

- d'abord par la fonction d'illustration du cours (82 %, en DEUG, 87 % en licence) ;

- ensuite, par les contraintes d'enseignement et, en particulier, la nécessité de coordonner cours et TD, imposée par le fonctionnement en temps limité (36 % en DEUG, 38 % en licence).

Il n'y a que 23 % des étudiants de DEUG et 21 % des étudiants de licence pour penser que le TP, même dans cette vision très dépendante du cours, n'apporte qu'un savoir technique et ne permet pas la construction d'un savoir théorique.

La minorité d'enseignants (39 %) qui opte pour cet arrimage au cours le

justifie d'abord pour des raisons pratiques de fonctionnement en temps limité avant le choix délibéré d'un TP illustratif.

Le *protocole opératoire* (question 8) est préféré précis et détaillé par les étudiants (72 % à l'IUT, 59 % en DEUG, 58 % en second cycle) et indicatif par les enseignants (67 %). Il est cependant remarquable de constater que le protocole indicatif associé à un choix d'autonomie du TP est choisi par une forte minorité d'étudiants en premier cycle.

Pour les *explications apportées dans les documents de TP* (question 9), les réponses des étudiants et des enseignants sont cohérentes : les explications se limitent au *comment* pour 4 étudiants sur 5, en premier comme en second cycle, et pour 9 enseignants sur 10. Ce n'est qu'en salle de TP qu'elles accèdent au *pourquoi*, d'après les étudiants, tant en premier cycle (55 %) qu'en second cycle (69 %).

Enseignants comme étudiants (de l'ordre de 60 % dans les deux cas) s'accordent à penser que le TP, véritable banc d'essai pratique et lieu de validation expérimentale) est capable de *remettre en cause le dogmatisme* (question 10).

Le *TP-illustration est très nettement préféré au TP-approche* (question 11) par les étudiants (73 % en DEUG1, 82 % à l'IUT et en second cycle) et par les enseignants (64 %). Cette préférence est cohérente avec l'affirmation de l'intérêt conjoint des étudiants et des enseignants pour l'enseignement intégré C/TP/TD (76 % pour les étudiants de premier cycle, 87 % pour les étudiants de licence, 90 % pour les enseignants). Le TP ne garde tout son intérêt, pour les acteurs, que fortement relié au cours.

Il n'est pas surprenant que la *relation-enseignant étudiant* soit jugée plus facile en TP qu'en TD ou en cours (question 12) par 9 étudiants sur 10 et la totalité des enseignants. En revanche, si les explications paraissent, à la quasi-totalité des acteurs, *plus faciles* qu'en cours ou en TD, elles ne paraissent *plus approfondies* qu'à la moitié des étudiants de DEUG et aux deux tiers des enseignants et des étudiants d'IUT et de second cycle.

Des potentialités propices à un renouveau

L'analyse de ce questionnaire bouscule la vision négative du TP qui circule dans beaucoup d'esprits à l'université. Elle ne remet pas en cause notre constat de dégradation progressive de cette forme d'enseignement en premier cycle universitaire, mais elle montre que nous avons à faire à une situation contradictoire. Si la réalité des volumes horaires et des pratiques est bien celle d'une dévalorisation de l'enseignement expérimental, il existe une aspiration incontestable à une revalorisation. Le point de vue des acteurs, exprimé à travers ce questionnaire, montre une vision relativement ambitieuse pour l'enseignement pratique et des potentialités qui, jointes à la situation nouvelle au lycée, devraient permettre d'entretenir quelques espoirs. Le plus intéressant est de constater que si les enseignants évaluent bien le frein constitué par les contraintes d'enseignement et les pratiques traditionnelles, les étudiants, moins conscients de telles contraintes, aspirent à des situations nouvelles et paraissent prêts à modifier les comportements convenus.

Ces potentialités propices à un renouveau s'exercent dans les directions suivantes :

- le TP est bien perçu comme un *lieu d'apprentissage* interactif où les objectifs méthodologiques mais aussi le développement des qualités personnelles jouent un rôle important ;

- l'*aspiration à l'autonomie* des TP est exprimée fortement par les enseignants mais aussi par les étudiants qui n'hésitent pas à demander incorporation de théorie et explication approfondies et pensent possible, à travers le TP, de remettre en cause le dogmatisme et de tester les modèles ;

- l'*aspiration à la démarche expérimentale* est clairement affichée dans les objectifs mis en avant par les étudiants et ne leur paraît pas devoir être sacrifiée, même dans la situation réelle ;

- la *forte dualité entre la fonction d'accompagnement et la fonction d'autonomie du TP* traduit les tensions entre les contraintes et les aspirations.

Sur ce dernier point, il est nécessaire de relever l'ambiguïté et souvent le

paradoxe des réponses étudiantes : ils préfèrent un protocole opératoire précis et détaillé avec le prétexte du temps limité, mais ils ont soif d'explications théoriques. La possibilité de théorisation est envisagée mais seulement liée aux phénomènes vus en cours et non insérée dans une perspective de découverte ou d'approche à partir du TP.

Il convient cependant de prendre en compte la forte minorité, parmi les étudiants de DEUG première année, qui se manifeste pour un protocole opératoire indicatif et non directif (41 %) et un TP approche (27 %). Cette minorité, porteuse d'une vision ambitieuse, pense que les explications en TP demeurent superficielles et que le TP, pas aussi bien traité que le cours ou le TD, renforce plutôt le dogmatisme.

Au total, les étudiants paraissent écartelés entre deux types de comportement en TP :

- un premier qui correspond à une fonction subalterne du TP ; on se contente de faire ce qui est demandé... le TP sert à illustrer quelque chose mais on ne sait pas encore quoi et on suit le protocole à la ligne... on ne revient pas sur ce qui n'est pas compris, ni suite au TP ni suite au cours ;

- un autre qui correspond à une fonction propre du TP permettant l'acquisition d'un savoir théorique, méthodologique et technique ; dans ce cas, on réfléchit à ce qu'on fait, on se pose des questions sur le sens théorique des actes expérimentaux, on mobilise les apprentissages théoriques et expérimentaux acquis etc.

Tout l'enjeu de l'enseignement expérimental consiste à favoriser ce deuxième comportement qui est bien cohérent avec notre hypothèse de départ : l'expérimental permet l'établissement de relations dialectiques entre observation et conceptualisation et peut ainsi déboucher, pour les étudiants, tout à la fois sur un apprentissage expérimental motivant et constructeur de connaissances et de sens.

Le comportement des étudiants en TP

Au-delà de la perception des TP, explicitée par le questionnaire d'opi-

nions précédemment analysé, il convenait d'analyser les pratiques et les comportements des étudiants de première année en salle de travaux pratiques.

Champ d'étude

Nous avons choisi comme champ d'étude les travaux pratiques de chimie du DEUG SV/ST première année à l'université Joseph Fourier, et plus particulièrement, les deux premières manipulations :

- TP₁, préparation d'une solution de concentration donnée ;

- TP₂, détermination de la concentration d'une solution par dosage.

Ces deux manipulations présentent un triple intérêt :

- ce sont les toutes premières manipulations effectuées à l'université ;

- ce sont des manipulations d'initiation qui ne nécessitent que des connaissances très fondamentales et qui ne présentent pas un éventuel défaut de coordination avec le cours ;

- le mode opératoire, qui ne doit venir que dans un 2^e temps, est totalement disjoint d'un texte de présentation initial, destiné à solliciter la réflexion personnelle et à permettre la préparation de la manipulation et la structuration du compte rendu ; ce texte initial permet, à propos des actes opératoires prévisibles, la confrontation de questions précises et d'erreurs à éviter (cf. annexe 3 où est seulement présentée, à titre d'exemple, la première partie de TP₁ : solution obtenue à partir d'un composé solide).

Analyse globale des protocoles opératoires

Parmi différentes méthodes d'analyse existant dans la littérature, nous avons utilisé la méthode de Tamir et Garcia dite LDI (the Laboratory Dimensions Inventory) [14]. Cette méthode identifie huit dimensions pour les travaux pratiques :

1. dimension sociale (interaction et mise en commun des étudiants) ;

2. connaissances préalables (explicitation de connaissances préalables) ;

3. rapport avec la théorie (explicitation de la théorie et justification d'hypothèses émises à la lumière de la théorie) ;

4. recueil de données expérimentales ;

5. sophistication des appareils, du matériel ;

6. analyse des données ;

7. organisation et utilisation du temps ;

8. apprentissage des concepts.

Le TP₁ (préparation de 100 mL d'une solution de dichromate de potassium de concentration 0,05 M à partir du composé solide, puis dilution de cette solution mère pour obtenir une solution 0,02 M) et le TP₂ (dosage d'une solution basique B par une solution acide A de concentration $N_A = 0,100$ équiv. L⁻¹ ne diffèrent que par le recueil des données : directe pour TP₁, indirecte pour TP₂. Le reste de la grille d'analyse conduit à des résultats très convergents :

- absence de dimension sociale bien que la séance soit organisée par binômes non tournants (tous faisant le même TP) mais avec travail, résultats et rapports qui restent personnels, sans liens ou discussions entre les groupes ;

- explicitation de connaissances préalables qui sont des *acquis théoriques du secondaire* ;

- rappel théorique fait dans le document lui-même mais sans formulation d'hypothèses et *sans confrontation théorie-expérience* ;

- matériel constitué par de la *verrerie traditionnelle* ;

- l'analyse des données fait l'objet d'un *calcul d'incertitude avec guidage* ;

- le concept est utilisé comme un pré-requis et il n'y a *pas d'apprentissage conceptuel*.

Analyse détaillée des documents de TP

Pour le TP₁ sur les solutions, le but implicite est l'entraînement des étudiants dans la préparation de solutions à partir d'un composé solide (première partie), puis à partir d'une solution mère (deuxième partie). La méthode explicitée comporte une phase de réflexion préalable aux différentes étapes de réalisation pratique. Les connaissances préalables explicitées dans le protocole concernent la notion de concentration et l'utilisation de la verrerie.

Les étapes successives de mise en œuvre de la première partie sont :

- la détermination de la masse théorique à peser ;
- la pesée exacte de la masse calculée ;
- la dissolution correcte du solide et l'ajustement au volume désiré pour obtenir une solution proche de 0,05 M ;
- le calcul de la concentration exacte à partir de la quantité effectivement pesée.

Les étapes de la seconde partie sont :

- la préparation d'une solution diluée 10 fois par rapport à une solution mère environ 0,05 M ;
- la détermination du volume de solution diluée à préparer et du volume de solution mère à prélever ; le choix du volume en fonction du matériel existant ;
- la préparation d'une solution 0,02 M par dilution de la solution mère ;
- le calcul d'incertitude sur la concentration de cette solution diluée ;
- la réponse au questionnaire sur les activités opératoires (choix de verrerie, rigueur opératoire, calcul des concentrations et test terminal de contrôle des connaissances sur la concentration).

Le document de TP présuppose que les étudiants ont déjà été confrontés à la préparation de solutions et ces manipulations sont introduites sans mise en garde préalable sur les multiples erreurs à éviter. Après manipulations, les étudiants répondent à des questions sur les actes opératoires. Ils doivent également, dans les emplacements signalés à cet effet, noter les erreurs à éviter dans la manipulation. La réflexion est donc sollicitée mais le guidage est très important.

Pour le TP₂ sur le dosage, le but est d'entraîner les étudiants à l'utilisation de dosages acido-basiques pour la détermination d'une concentration inconnue. Il s'agit de doser une solution basique B (de couleur rose car elle comporte un indicateur coloré tel que la phénolphthaléine) par une solution acide de concentration 0,100 M. La méthode comme les connaissances préalables ne sont pas explicitées dans le protocole.

Les étapes successives de mise en œuvre sont les suivantes :

- choix, en fonction du matériel existant, du volume de la solution B de prise d'essai à prélever ;

- prélèvement des solutions : A (destinée à la burette) et B ;

- dosage de la solution B par addition de la solution A jusqu'à décoloration ;

- calcul de la concentration de la solution B ;

- calcul de l'incertitude.

Il n'existe pas dans ce TP d'explication sur le pourquoi et le comment des gestes effectués pendant la manipulation. Les étudiants doivent, ici encore, remplir un questionnaire lié aux gestes opératoires à accomplir.

Conclusions de l'analyse des protocoles

L'objectif donné implicitement pour ces deux TP est l'assimilation des notions de concentration et de quantité de matière. Le but sera atteint dans la mesure où « l'étudiant sera en mesure d'élaborer lui-même son travail à partir de sa réflexion personnelle ». Les précisions concernant les notions en jeu ainsi que le même opératoire complet ne pouvant être utilisées « que dans un deuxième temps, pour vérifier sa propre démarche ».

Il ne s'agit pas d'une situation de résolution de problème en vue d'un apprentissage, mais simplement d'une situation de réinvestissement :

- le TP ne comporte pas de connaissances nouvelles ;

- le TP est destiné à développer des savoir-faire pertinents pour des activités de chimistes ;

- le TP est destiné à vérifier l'existence de tels savoir-faire et la capacité à les réutiliser.

Observation des étudiants en salle de TP

L'observation, complétée par des enregistrements audio, a été faite, en début d'année 1995-1996, sur six étudiants dans le cas de la manipulation solutions (20/11/95) et sur huit étudiants dans le cas de la manipulation dosage (27/11 et 4/12/95). Ces étudiants travaillaient de façon personnelle mais étaient regroupés deux par deux sur les paillasse. La transcription des enregistrements figure dans l'annexe 8 de la référence [13].

Cette observation avait pour objectif de repérer les caractéristiques principales des activités des étudiants réparties selon les huit types de la méthode LDI.

L'observation de la manipulation *préparation de solutions* conduit aux conclusions suivantes (figure 3) :

- si les équations mathématiques relatives à la concentration ne posent que peu de problèmes, le fait de mettre une solution de concentration donnée dans un becher lavé à l'eau distillée et non séché ne revêt pas d'importance aux yeux des étudiants et l'eau reste pour eux sans influence ;

- les étudiants ne connaissent pas la verrerie de laboratoire et si on leur demande le choix d'un contenant, ils le formulent au hasard ou en fonction d'un volume ; ils ne connaissent pas la fonctionnalité des formes particulières (par exemple fiole jaugée pour la préparation de solutions ou erlenmeyers pour les dosages).

- les étudiants font une pesée précise, au mg, mais lors de l'élaboration de la solution, ils ne récupèrent pas une bonne partie du produit qui reste collé au verre de montre, à la spatule, au papier... et cela malgré le questionnaire d'accompagnement qui alertait sur ces possibles erreurs ;

- l'homogénéisation de la solution n'a été faite par aucun étudiant ;

- pour le calcul de la concentration, les étudiants ne se donnent pas les moyens d'un calcul rigoureux car, même si la quantité pesée n'est pas exactement celle calculée, ils font comme si c'était le cas ;

- le langage n'a rien de chimique et il est surtout très mal défini ; la plupart des substances et objets de verrerie sont des « trucs », des « machins » ;

- les communications entre étudiants sont remplies d'assertions, implicites ou explicites, fausses au plan chimique ;

- dans le binôme, chacun des étudiants adopte un statut différent par rapport à la « guidance », mais celui qui prend la décision choisit systématiquement la voie la plus facile comme le montre l'exemple ci-après.

Patrice - il revient avec son produit, il verse et il s'aperçoit que du produit reste en quantité assez abondante sur la verrerie. *Regarde ! il faut le récupérer ?*

Caractéristiques des activités	Binôme 1	Binôme 2	Binôme 3
1. <i>Maîtrise des concepts chimiques</i> - concentration - quantité de matière	non oui	non oui	non oui
2. <i>Signification pratique des informations théoriques</i> - réflexion sur les conditions d'utilisation de la verrerie (mouillée, séchée, lavée...) - importance de l'homogénéisation - importance de l'ajustement au trait de jauge	non non étud. 1 oui étud. 2 non	non non non	non non étud. 1 oui étud. 2 non
3. <i>Connaissance sur les outils de laboratoire</i> - nom de la verrerie - utilisation spécifique	étud. 1 oui étud. 2 non non	non non	non non
4. <i>Soin et rigueur du travail</i> - exactitude pesée - soin dans l'utilisation totale du produit - soin dans l'ajustement au trait de jauge - rigueur dans calcul de la concentration	oui non étud. 1 oui étud. 2 non non	oui non non non	oui non étud. 2 non étud. 2 oui non
5. <i>Langage et communication</i> - clarté dans le langage - communication verbale - utilisation du langage chimique - facilité d'expression - confusion dans les termes chimiques	non non non non oui	non non non non oui	non non non non oui
6. <i>Caractéristiques qualitatives du travail</i> - achèvement de la manipulation - préparation préalable de la manipulation - achèvement du CR en salle	non non non	non non non	non non non
7. <i>Compréhension du sens des questions dans document TP</i> - lecture préalable du questionnaire - discussion et mise en commun des interprétations - demande d'explicitation au professeur ou aux collègues - gestes d'incompréhension	non non étud. 1 oui étud. 2 non oui	non non oui non	non non non
8. <i>Rôle du travail en binôme</i> - discussion et mise en commun des concepts théoriques - discussion et mise en commun des savoir-faire - partage des tâches - mise à profit des habiletés du collègue	non non non non	non non non non	non non non non

Figure 3 - TP solutions.

Véronique - *Mais comment tu veux le récupérer ? allons !*

Patrice - *Je sais pas mais t'as besoin de 47 grammes ! tous les atomes qui restent là ?*

Véronique - *Non tu vas pas... !*

Patrice - *Oui, enfin...*

Véronique - *Mais on peut pas !*

Patrice - *Bon, c'est bon, non, non, c'est bon.*

L'observation de la **manipulation dosages** (base environ 0,1 N par acide 0,1 N) montre que les étudiants ne savent pas choisir le bon volume de la prise d'essai. Leur choix est seulement dirigé par la précision des pipettes disponibles. Comme pour le TP précédent, les différentes activités sont induites par les circonstances plus que par la réflexion et manifestent un déficit important dans chacune des rubriques.

Dans l'activité 1 (*maîtrise des concepts chimiques*), les étudiants utilisent $N_A V_A = N_B V_B$ sans bien distinguer ce qui est connu ou inconnu. Ils ne maîtrisent pas les concepts d'équivalence et de concentration. On trouve même des raisonnements totalement erronés dans les comptes rendus : si une solution à doser est mise dans un récipient où demeurerait de l'eau (abaissement de la concentration), le volume équivalent sera diminué car le volume de la soude est augmenté et donc le volume de l'acide sera diminué et réciproquement !

L'activité 2 (*signification pratique des informations théoriques*) comme l'activité 3 (*connaissance sur les outils de laboratoire*), montrent une déconnexion complète entre théorie et pratique. Malgré le commentaire explicite du professeur demandant d'utiliser un

erlenmeyer, le dosage est fait (sauf pour un des quatre binômes observés) dans le premier récipient à portée de main. Les étudiants ne savent pas ce qu'est une fiole jaugée ou un erlenmeyer ou encore une prise d'essai et ne demandent pas de renseignements à l'enseignant ou aux collègues.

Le *soin et la rigueur apportés au travail* (activité 4) sont très insuffisants :

- pas de réflexion préalable sur les conditions de propreté de la verrerie (sauf pour un binôme) et sur les conditions d'utilisation de cette verrerie ;
- pas de vérification de l'inexistence des bulles d'air dans la burette ;
- le dosage n'est pas effectué goutte à goutte ;
- aucun groupe ne récupère le produit éclaboussé sur les parois de l'erlenmeyer.

L'activité *langage et communication* (activité 5) demeure pauvre, confuse et difficile tandis que l'activité 6 (*caractéristiques quantitatives du travail réalisé*) est plus mitigée que pour le TP solutions : la manipulation est réalisée par 3 binômes sur 4 mais le CR n'est achevé en salle de TP que pas un seul binôme et aucun des 4 binômes n'a préparé la manipulation dosages.

La *compréhension du sens des questions* existant dans le document de TP (activité 7) demeure très faible tandis que *l'interaction, la co-action* de chacun des binômes (activité 8) est quasi nulle : il n'existe pas de mise en commun positive entre les étudiants.

Analyse des compte rendus

Nous avons analysé 25 compte rendus sur le TP₂ dosages au cours de l'année 1995-1996. Trois observations dominantes ressortent :

- comme déjà indiqué, le nom de la verrerie n'est pas connu et, malgré les recommandations de l'enseignant, l'erlenmeyer n'est pas utilisé comme un récipient pour le dosage ; les étudiants pour les 2/3 d'entre eux ne répondent pas correctement aux questions du document de TP sur l'utilisation de la verrerie ;

- le raisonnement sur le volume équivalent est incohérent car il est mené soit en terme d'égalité (de maintien de

la quantité de matière) étendue à la concentration (quel que soit le volume), soit en terme de volume total occupé par les 2 solutions (par une sorte d'opération « vase communicant » si le volume d'acide est augmenté, le volume de soude est diminué).

- le calcul d'incertitude n'est fait correctement que par 6 étudiants.

Analyse des entretiens

Au cours de l'année 1996-1997, nous avons fait quelques entretiens relatifs aux questions Q_1 et Q_2 figurant dans le protocole 1995-1996 et qui avaient disparu. Il s'agissait de confirmer les raisonnements « inextricables » repérés l'année d'avant.

Q_1 : soit V le volume exact de la solution de la burette (solution acide) correspondant au point d'équivalence et soient V_A , V_B et V_C les volumes de la solution de la burette déterminés par trois étudiants différents :

- l'étudiant A a utilisé un erlenmeyer propre et sec (V_A)
 - l'étudiant B a utilisé un erlenmeyer rincé avec la solution basique à doser (V_B)
 - l'étudiant C a utilisé un erlenmeyer rincé à l'eau distillé et non sèche (V_C)
- Comparer V_A , V_B et V_C au volume exact V .

Q_2 : soient V'_A , V'_B et V'_C les volumes de solution de la burette trouvés dans les cas où l'on utilise pour ajouter la solution dans l'erlenmeyer :

- l'étudiant A, une burette propre et sèche (V'_A)
 - l'étudiant B, une burette rincée à l'eau distillée (V'_B)
 - l'étudiant C, une burette rincée avec la solution acide qu'elle va contenir (V'_C)
- Comparer V'_A , V'_B et V'_C à V .

Les bonnes réponses sont évidemment :

$$Q_1 : V_A = V_C = V \text{ et } V_B < V$$

$$Q_2 : V'_A = V'_C = V \text{ et } V'_B > V$$

Trois types d'erreur sont observés pour Q_1 :

- dès que l'erlenmeyer n'est pas sec, la présence d'eau ou de base provoque une augmentation du volume de la solution de burette à utiliser ($V_A = V$ mais V_B et $V_C > V$) ;

- s'il y a plus de volume de solution basique à doser, le volume d'acide à ajouter est déterminé ($V_A = V_C = V$ mais $V_B < V$) car le volume d'équivalence est un volume total auquel on arrive par l'addition de deux volumes qui évoluent en sens inverse ;

- dans les trois cas, que l'erlenmeyer soit rincé ou pas, le volume reste le même ($V_A = V_B = V_C = V$), même si les concentrations sont différentes.

Dans le cas de la question Q_2 , une erreur supplémentaire est observée ($V'_B = V$) et il est considéré que le rinçage à l'eau de la burette ne modifie pas, comme le rinçage à l'eau de l'erlenmeyer, la quantité de matière à l'équivalence.

Conclusions

Sur ces deux TP de base, qui ne mettent en jeu que des connaissances très fondamentales comme la concentration et la quantité de matière, on observe que l'étudiant confond souvent ces deux grandeurs et utilise ce qui est à sa portée pour donner une justification à ses actes opératoires en TP sans obligatoirement faire appel à ses connaissances chimiques. L'enseignant attend au contraire une mobilisation de ces connaissances. On est là, en pleine fiction didactique.

Les points caractéristiques de cette observation sont au nombre de cinq.

1) *Absence de connaissances préalables entraînant le recours à d'autres cadres d'interprétation.* C'est le cas du volume d'équivalence qui semble faire référence à la vie quotidienne et induit une notion d'égalité. Les réponses sont souvent incohérentes et, sur 25 étudiants, seuls deux justifient leur réponse par $C_A V_A = C_B V_B$ à l'équivalence.

2) *Faible recours dans les documents aux capacités à développer chez un étudiant voulant s'initier à la chimie (formulation des questions, des prédictions, des hypothèses).* Tout est donné à l'étudiant. Il n'y a qu'une tâche à accomplir et un résultat à trouver. En l'absence de questionnement, le travail développé par les étudiants ne permet pas des acquisitions scientifiques.

3) *Les TP sont supposés être des vérifications de concepts et de phéno-*

mènes sans réelle prise de sens. Il n'y a pas de réelle appropriation du travail par les étudiants en TP. La capacité d'analyse demandée dans les protocoles est faible et, bien que l'algorithme mathématique soit accessible à beaucoup, la signification donnée par les étudiants aux résultats demeure très insuffisante.

4) *Absence de dimension sociale dans l'enseignement expérimental.* Le travail, la tâche à réaliser et le compte rendu restent individuels au binôme, sans discussions, sans partage des tâches entre les binômes. La possibilité d'accéder à une dynamique de co-apprentissage est totalement gaspillée.

5) *Le partage des tâches dans le binôme n'est pas équilibré.* Le fonctionnement par binômes montre le plus souvent un rapport dominant/dominé, sans interaction et qui induit presque toujours l'utilisation de la voie la plus facile qui se trouve être souvent la voie fautive.

Plaidoyer pour l'autonomie de l'apprentissage en TP

Les deux premières parties de ce travail montrent que le travail expérimental à l'arrivée à l'université est « obéré » par une contradiction majeure :

- d'une part, les étudiants sont désireux de jouer le jeu des TP et de leur redonner dignité et rôle dans la construction du savoir scientifique ; désireux de voir les TP permettre une confrontation avec la théorie, ils sont prêts à réclamer une certaine autonomie de l'enseignement expérimental vis-à-vis du sacro-saint cours ;

- d'autre part, dans la réalité de leur comportement, les étudiants demeurent très en retrait de ces aspirations. Prisonniers du protocole opératoire, obnubilés par l'aspect technique de la tâche expérimentale, ils évacuent largement l'aspect théorique et le questionnement formateur.

Cette absence d'accès à un début de démarche expérimentale, cette sorte de schizophrénie entre l'aspiration et la réalité est d'autant plus inquiétante que, comme nous l'avons vu, l'enseignement secondaire, est devenu plus expérimental. Il serait donc logique et

urgent qu'au nom d'une continuité de formation les chimistes universitaires utilisent l'état d'esprit positif des lycéens vis-à-vis des activités de laboratoire en chimie et réhabilitent l'activité expérimentale en levant les blocages et en favorisant l'interaction avec les concepts.

Quelques axes d'action

Dans ce contexte, qui vaut surtout pour le premier cycle, on peut renverser l'ordre des choses et développer l'autonomie des TP afin de réhabiliter l'enseignement expérimental. Ce développement d'une certaine autonomie ne peut s'envisager qu'à une triple condition :

- *optimiser le dispositif* de l'enseignement expérimental en reprécisant ses objectifs, en ne le limitant pas à une fonction de pure illustration et en jouant au maximum sur sa capacité à permettre une interaction privilégiée enseignant-étudiant ;

- *desserrer les contraintes* financières et matérielles (locaux et horaires en particulier) qui pèsent sur lui ; dans une période où les investissements liés aux nouvelles technologies ne sont pas négligeables, il paraîtrait surprenant de ne pas engager une mobilisation institutionnelle, dans nos universités scientifiques, en faveur de l'enseignement expérimental ;

- *remotiver les enseignants* pour l'enseignement pratique en les persuadant que c'est un lieu où les étudiants sont convaincus de beaucoup apprendre et où l'investissement pédagogique nécessaire doit être crédité dans les carrières.

Un tel renversement de la situation exige un certain nombre de dispositions parfaitement accessibles :

- *utilisation de matériel simple et peu coûteux* et diminution des quantités de produits mises en œuvre ; ceci n'est d'ailleurs pas incompatible avec l'utilisation de technologies modernes et le renfort de l'informatisation chaque fois que cela est possible sur crédits spécifiques et à condition que ce renfort apporte un plus et ne se substitue pas aux pratiques expérimentales de base ;

- *abandon de la mesure pour la mesure* et des actes répétitifs sans intégration

de savoir ; il revient, à l'enseignant de TP, de casser le culte de la mesure et de montrer que celle-ci n'a d'intérêt que reliée à une propriété, à un concept ;

- *utilisation de protocoles peu directs* capables de favoriser autonomie et interrogation et évitant le prêt-à-manipuler ;

- *introduction de parties expérimentales purement qualitatives* (réactions dans des tubes à essais par exemple) très démonstratives et riches de sens à côté des nécessaires manipulations quantitatives plus complexes ;

- *séparation de la fonction savoir-faire* et rigueur de la *fonction démarche expérimentale* intégrant technique et concept ;

- pour favoriser la démarche expérimentale, recours à un maximum d'interaction pédagogique et d'évaluation formative par le moyen d'un *questionnement* sollicitant la réflexion sur les actes opératoires ;

- *prolongation du temps expérimental* par une *préparation minutieuse et contrôlée* de chaque manipulation et par un exposé oral des résultats ;

- *rupture de la hiérarchie descendante cours-TP* ou l'étudiant est « *invité à constater que tout se passe comme prévu [...]* et à *faire quelques calculs à partir de ses mesures en utilisant une formule du cours* » [15] ; en effet, comme le précise A. Dumon « *dans une première étape, les travaux expérimentaux possèdent une justification propre, le lien avec le cours ne s'impose pas* » [16].

Quelques exemples

Nous proposons trois exemples de pareils TP autonomes, en partie expérimentés à Grenoble, mais pour lesquels nous explicitons ci-après de nouveaux développements dans le sens de l'autonomie et de l'intégration théorique-pratique :

- un TP qualitatif sur l'oxydo-réduction ;

- un TP approche où les concepts théoriques sont introduits par l'expérimentation, et portant sur l'hydrolyse des halogénures d'alkyle ;

- un TP intégrateur assurant l'intégration étroite théorie-expérimentation et relatif à la réaction de Cannizzaro.

Ces différents TP peuvent être de durée variable : le TP qualitatif peut constituer une séance courte (2 h) qui peut être complétée par un dosage redox, les deux autres TP peuvent constituer plusieurs séances et permettre d'aller plus loin dans l'exploitation théorique.

TP qualitatif

Caractérisation d'une réaction redox

Il s'agit de préparer une solution de FeSO_4 en dissolvant dans un tube à essais quelques cristaux de sulfate dans environ 5 mL d'eau distillée. Cette solution, additionnée de quelques gouttes de H_2SO_4 concentré, est répartie en 2 parts dans deux tubes à essais :

- le premier sert de témoin ;
- dans le second, on ajoute une solution de KMnO_4 jusqu'à persistance d'une coloration rose.

On ajoute ensuite dans chacun des 2 tubes quelques gouttes d'hexacyanoferrate (II) de potassium $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$, réactif qui, en présence d'ions Fe^{3+} , donne un précipité bleu sombre de bleu de Prusse $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$. On demande d'observer et d'interpréter ce qui se passe, d'écrire les couples en présence, les demi-réactions d'oxydation et de réduction et la réaction globale oxydo-réduction.

Le questionnement peut être important :

- à quoi correspond la persistance de la coloration rose ?

- pourquoi utilise-t-on un milieu acide ?

- pourquoi faut-il vérifier que les cristaux de FeSO_4 dissous dans l'eau ne donnent pas de bleu de Prusse ?

- pourquoi le bleu de Prusse précipite-t-il ? Cette caractérisation redox peut également permettre de faire une introduction sur les complexes et les équilibres hétérogènes.

Classification de couples redox

Dans cette seconde partie, il s'agit de comparer les pouvoirs oxydants des halogènes.

a) On verse d'abord dans un tube à essais, 5 gouttes d'une solution de KCl puis quelques gouttes de H_2SO_4 con-

centré et 1 mL de CCl_4 . On agite et on observe. On ajoute 2 gouttes de dichromate de potassium $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. On agite et observe à nouveau.

b) On refait la même expérience en remplaçant KCl par KBr puis par KI.

Bien entendu, à l'issue des expériences, les solutions contenant CCl_4 ne sont pas versées dans l'évier mais dans des flacons de récupération et cette précaution peut permettre d'introduire à la prévention des risques.

On demande d'interpréter les différentes observations sachant que les halogénures sont très solubles dans l'eau (solutions incolores), alors que les dihalogènes sont beaucoup plus solubles dans CCl_4 que dans l'eau. On donne, de plus, les indications suivantes :

- dans CCl_4 , la solution de dichlore est incolore, celle de dibrome est orange et celle de diiode est violette ;
- dans l'eau, les ions $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ donnent une solution orange et les ions Cr^{3+} une solution verte.

c) Dans le rapport oral, le compte rendu ou le cahier de manipulations, il est demandé d'apporter des conclusions rigoureuses sur une base argumentée :

- écriture des réactions d'oxydo-réduction ;
- classement des halogénures par ordre de pouvoir réducteur croissant et des halogènes par ordre de pouvoir oxydant croissant ;
- confrontation des résultats obtenus et des potentiels standard des différents couples.

d) Le questionnement formatif, en cours de manipulation pourra porter sur :

- l'interprétation de la non-miscibilité de H_2O et CCl_4 ;
- l'interprétation des solubilités comparées des halogénures et des dihalogènes dans l'eau et dans CCl_4 ;
- la validité de l'utilisation des potentiels standard des différents couples, même si on ne se trouve pas obligatoirement dans les conditions standard ;
- les conséquences d'un défaut d'acidité du milieu, etc.

Cette manipulation qualitative peut être complétée par une étude quantitative comportant :

- le dosage d'une solution de FeSO_4 par une solution de KMnO_4 de normalité connue ;

- le dosage « en retour » d'une solution de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ par des solutions de FeSO_4 et de KMnO_4 , de titres connus.

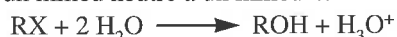
TP approche

Ce type de TP, par exemple l'hydrolyse de dérivés halogénés, peut comporter une approche expérimentale, préalable à une généralisation cours/TD, puis un approfondissement expérimental.

Approche expérimentale

Mise en évidence du phénomène

L'avancement cinétique fait passer d'un milieu neutre à un milieu acide :



La vitesse de transformation est très différente selon les structures.

On prépare d'abord une échelle de teinte : dans 3 tubes à essais, à moitié remplis d'eau et à pH 7, on ajoute 2 gouttes de vert de bromocrésol virant du bleu au jaune entre pH 5,4 et 3,8. L'un des tubes sert de référence, le deuxième est additionné de HCl dilué jusqu'à coloration jaune, le troisième jusqu'à coloration intermédiaire entre bleu et jaune.

On fait ensuite l'hydrolyse comparée de divers halogénures : dans n tubes à essais, à moitiés remplis d'eau à pH 7, on ajoute 2 gouttes d'indicateur et 10 gouttes de chacun des halogénures étudiés, par exemple $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Cl}$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}_2\text{Br}$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{Br}$, $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}(\text{CH}_3)\text{I}$, $(\text{CH}_3)_3\text{C-Cl}$, $(\text{CH}_3)_3\text{C-Br}$ (il convient évidemment de choisir des substrats suffisamment réactifs pour qu'on observe des évolutions sensibles en fonction du temps mais pas trop cependant pour qu'on puisse observer des différences et que l'hydrolyse ne soit pas totale trop rapidement). En agitant fréquemment, on observe l'évolution des couleurs pendant 15 minutes. On refait la même expérience en plongeant les tubes dans un bain-marie à 60 °C. On peut remplacer l'eau par un mélange un tiers eau, deux tiers d'alcool.

Questionnement :

- pourquoi observe-t-on des vitesses différentes ?
- quels sont les facteurs qui font varier la vitesse d'hydrolyse et pourquoi ?
- quelle est l'influence de la température ?

Généralisation en cours/TD

A partir de cette approche en TP, on peut aborder les caractères généraux de la réactivité S_N des composés halogénés :

- effet d'halogène (polarisation et polarisabilité),
- effet de substrat,
- mécanismes types $\text{S}_\text{N}1$, $\text{S}_\text{N}2$ et implications cinétiques et stéréochimiques,
- compétition SN/E,
- effet de solvant.

De nombreux exemples et exercices seront proposés à partir de publications identifiées, de façon à donner une image réaliste de la diversité expérimentale et à éviter toute présentation prototypique et dogmatique.

Approfondissement

en travaux expérimentaux

On peut alors faire le choix de solvolysier (définir solvolysé, hydrolyse, hydratation...) des halogénures, tels que le 2-halogéno-2-méthylpropane, bien adaptés à un avancement cinétique permettant des mesures significatives.

L'avancement de la réaction peut être évalué de 3 façons :

- par dosage du chlore minéralisé (Charpentier-Volhard) ;
- par étude cinétique volumétrique (en présence d'un indicateur coloré, on rajoute de petites quantités de soude titrée et on détermine le temps nécessaire pour que l'acide halogéné formé neutralise la soude) ;
- par étude cinétique conductimétrique (on détermine l'évolution, en fonction du temps, de la résistance de la solution homogène comprise entre les deux électrodes d'une cellule conductimétrique).

Les deux dernières méthodes sont plus simples car elles s'accrochent à des quantités de substrat (1 à 2 mL). Dans des conditions pseudomoléculaires, (grand excès du solvant), elles permettent d'accéder aux constantes de vitesse à condition que les mesures de fin de réaction (dosage total de HX ou détermination de la résistance après solvolysé totale de RCl) soient obtenues et qu'elles soient stabilisées.

On peut ainsi étudier, en comparant les constantes de vitesse à une même température, les paramètres directeurs qui modifient la vitesse de solvolysse :

- nature de X,
- nature du nucléophile,
- nature de R,
- nature du solvant (différents mélanges eau/éthanol, eau/acétone ou encore soude aqueuse).

La comparaison des constantes de vitesse d'une même solvolysse, à des températures différentes, peut également permettre de déterminer l'énergie d'activation de cette solvolysse. La mesure sera d'autant plus rigoureuse qu'on travaillera à plusieurs températures suffisamment différentes.

Utilisation de cette approche

L'interaction entre expérimentation et interprétation peut alors nourrir, à l'issue de ce travail expérimental thématique, une activité d'enseignement moins prisonnière des cloisonnements habituels :

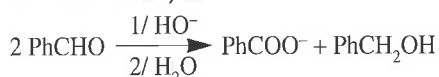
- au niveau de cours/TP et de TD/TP dans lesquels les résultats expérimentaux, obtenus en salle de TP, ou d'autres données expérimentales, issues de publications, servent de support à une discussion et à une interprétation d'ensemble mettant en œuvre la démarche expérimentale (nucléofuge, force des nucléofuges, force des nucléophiles, effet de solvant, valeurs des énergies d'activation) ;
- au niveau d'une synthèse et structuration finale par un cours sur la substitution nucléophile des halogénures d'alkyle prenant appui sur l'expérimentation et à même de répondre à une sensibilisation et un intérêt nouveaux.

TP intégrateur

Un exemple de l'intégration de la théorie par l'expérimentation peut être donné par la réaction de Cannizzaro, bien connue en chimie organique.

Cette intégration de la théorie sera obtenue par un questionnaire approfondi qui permettra d'éclairer en salle de TP chacun des actes opératoires.

Manipulation à partir du benzaldéhyde



- a) Lenteur de la réaction, pourquoi ?
- b) Nécessité d'aldéhydes non énoles, pourquoi ? Que se passe-t-il si on fait la même réaction sur le propanal ?
- c) Recherche du mécanisme réactionnel : A_N puis transfert d'hydrures.

Extraction et séparation des produits

- a) Traitement par l'eau, pourquoi ?
- b) Addition d'éther à la phase aqueuse, reprise de la phase aqueuse par l'éther :
 - dans quelle phase se trouve le benzoate ?
 - dans quelle phase se trouve l'alcool benzylique ?
 - discussion sur les solubilités relatives.
- c) Précipitation de l'acide benzoïque :
 - pourquoi opérer en milieu acide et pourquoi opérer à bas pH ?
 - filtration sur Büchner, puis lavage à l'eau, intérêt ?
- d) Recristallisation de l'acide benzoïque :
 - pourquoi dans l'eau ? pourquoi à chaud ?
 - intérêt de la recristallisation ?
 - détermination du P_F
- e) Séparation de l'alcool benzylique :
 - composition de la phase étherée, déterminée par CPG ; à part le solvant, combien y-a-t-il de produits ?

- élimination de PhCHO restant par réaction avec HSO_3^- ; quel est le type de cette réaction ? pourquoi est-elle spécifique des aldéhydes ?
 - neutralisation par Na_2CO_3 , séchage... ;
 - distillation sous vide ($P_E = 205 \text{ °C}$ sous 760 mm Hg, 93 °C sous 10 mm Hg) ; utiliser la trompe à eau, discussion sur la validité, la tension de vapeur, le diagramme tension de vapeur en fonction de la pression.

Détermination des rendements

- vérification de la pureté des produits en CPG et spectroscopie ;
- notion générale de rendement ;
- rendement brut et rendement en produit distillé (PhCH₂OH) ou séché

sous vide (PhCO₂H) ; attention à la dismutation, le produit de départ s'oxyde et se réduit par moitié.

Analyse des spectres

Spectroscopie IR :

- pour l'acide benzoïque, quelle est la forme de $\nu(\text{O-H})$? pourquoi la bande est-elle très étalée ?

Quelle est la position de $\nu(\text{C=O})$? Quelles sont les conséquences de la liaison hydrogène sur $\nu(\text{O-H})$ et $\nu(\text{C=O})$?

- caractérisation des composés aromatiques : $\nu(\text{CH})$ et 1er harmonique ;

- pour l'alcool benzylique, quelle est la modification de $\nu(\text{O-H})$ et l'intérêt de $\nu(\text{C-O})$?

Spectroscopie RMN

- différences entre PhCO₂H et PhCH₂OH ? Pourquoi observe-t-on un singulet aromatique dans un cas et un multiplet dans l'autre cas ?

- nature du signal de OH ? Pourquoi est-il sensible à la concentration ?

Généralisation théorique

Présentation de quelques autres réactions de Cannizzaro :

- passage de l'éthanal, traité par un net excès de méthanal en milieu basique, à l'érythritol (HOCH₂)₄ et à un autre produit à préciser ;

- observations que le glyoxal OCH-CHO et l'aldéhyde glyoxylique OCH-COOH, traités séparément par les ions hydroxyde, peuvent donner un même composé.

Explication, interprétation et mécanisme de ces réactions.

Conclusion

Ces quelques exemples sont destinés à montrer que les TP, même en premier cycle, peuvent véritablement associer théorie et pratique et retrouver une fonction noble : *démarche expérimentale, recul critique, construction du savoir, forte interaction pédagogique*. Les deux derniers exemples ont été choisis en chimie organique et peuvent se situer en première et plus souvent en deuxième année de DEUG, mais cela dépend des universités. La relation avec la chimie physique (cinétique, force comparée des acides, solubilités) reste

cependant très présente et un autre choix avec d'autres exemples, dans le champ de la chimie physique, pourrait s'envisager dans le même esprit.

Notre conviction est que le temps de la réhabilitation de l'enseignement expérimental en premier cycle universitaire est arrivé et que les enseignants comme les étudiants disposent de réels leviers d'action en mesure de modifier profondément une situation actuelle qui ne peut perdurer sans remettre en cause la nature même de l'enseignement de la chimie. Nous espérons que nos arguments, appuyés sur les pratiques, les aspirations et les possibilités auront aidé à convaincre qu'il y a urgence à une telle réhabilitation.

Notes

[1] À Grenoble, par exemple, les effectifs de primo inscrits en DEUG A1 sont passés de 496 en octobre 1976 à 380 en octobre 1980 puis 305 en octobre 1986, 330 en octobre 1987 avant de culminer à 591 en octobre 1990.

Références

[1] Lefour J. M., Méheut M., Les nouveaux programmes de chimie du secondaire, enseigner la chimie autrement, *L'Actualité chimique*, 1994, 4, p. 5-10.

[2] Allègre C., *La défaite de Platon*, Fayard, Paris, 1995.
 [3] Guillon A., Le Maréchal J.-F., Séré M.-G., Winther J., *Quelques résultats des enquêtes réalisées en Europe à propos des travaux pratiques. Améliorer l'enseignement des sciences en Europe : enjeux et recherches sur des approches innovantes en travaux pratiques utilisant ou non l'ordinateur*, document 11, 1998.
 [4] « Chimie la Classe » est une action développée par les chambres syndicales régionales des Industries Chimiques et qui a touché avec la coopération des enseignants du primaire plus de 50 000 classes de CM₁ et CM₂ de 1994 à 1999.
 [5] « Graine de Chimiste », association née en 1991 et issue des travaux de recherche du GREDIC (université P. et M. Curie), anime des ateliers interactifs en chimie, surtout à l'école primaire et au collège.
 [6] Soudani O., Cros D., Barlet R., Fonction comparée de l'expérimentation en physique et chimie au collège à travers la perception d'enseignants et d'élèves de troisième, *BUP*, n° 813, 1999, p. 583-610.
 [7] Montel G., Évolution des programmes d'enseignement de la chimie. Rôle des Olympiades, *L'Actualité Chimique*, 1994, 7, p. 9-15.
 [8] Pallud C., Démarche expérimentale de lycéens de terminale S : rôle de la spécialité de sciences physiques, *Mémoire de DEA de didactique des disciplines scientifiques*, UJF, 8 septembre 1998.
 [9] Guérin M., L'enseignement pratique de la chimie en France dans l'enseignement universitaire du premier cycle 1995-1980, *L'Actualité Chimique*, 1982, 7, p.38-44.

[10] Dumon A., L'évaluation du travail des étudiants au laboratoire, approche de la situation française, *Séminaire international : évaluation, enseignement expérimental, chimie*, Pau, 27-29 mai 1991, Actes, p. 9-20.
 [11] Le Goaller R., Loumouamou A., Les statuts du savoir et la transposition didactique en chimie organique, *L'Actualité Chimique*, 1997, 3, p.12-18 et 4 p. 18-24 ; Barlet R., Alagui A., Bouab O., Mahrouz M., Un exemple de la transposition didactique en chimie organique dans l'enseignement expérimental, *L'Actualité Chimique*, 1999, 2, p.26-29.
 [12] Arnaud P., Auric P., Deschamps M.N., Desportes C., Genivet R.M., Godart J., Montagné M., Pelloux A., Plouin D., Renaud M., Vidal M., Expérience de rénovation de l'enseignement expérimental en premier cycle universitaire, *Unichimie*, 1972, 7, p. 29-34.
 [13] Rivera A., *Étude didactique et épistémologique de l'enseignement expérimental en chimie. Apprentissage de la démarche scientifique au laboratoire sur le thème de la substitution nucléophile d'halogénures d'alkyle*, thèse, UJF, Grenoble, 1997.
 [14] Tamir P., Pilar-Garcia M., Characteristics of laboratory exercises included in science textbooks in Catalonia (Spain), *International Journal of Science Education*, 1992, 4, p. 381-392.
 [15] Arnaud P., *L'expérience dans tous ses états*, Actes 10^e JIREC, 1993, p. 5-9.
 [16] Dumon A., Les buts de l'enseignement expérimental en premier cycle universitaire, *L'Actualité Chimique*, 1989, 1, p.28-31.

Annexe 1 - Les objectifs de l'enseignement expérimental

Les objectifs de l'enseignement expérimental peuvent être évalués selon la notation suivante :

4 = très utile 3 = utile 2 = peu utile 1 = inutile

Placez cette notation dans les colonnes ci-dessous :

- situation réelle (la situation d'aujourd'hui),
- situation souhaitable (la situation que vous appelleriez de vos vœux à l'avenir)

	Situation réelle	Situation souhaitable
1) Découvrir des notions nouvelles ou des sujets non abordés en cours	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2) Permettre d'approfondir un sujet à partir d'une approche expérimentale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3) Initier à la démarche expérimentale (mise en œuvre expérimentale, analyse et interprétation des résultats obtenus, critiques et limites de la modélisation théorique)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4) Développer l'esprit de synthèse et de réinvestissement expérimental (mise en relation des observations et résultats expérimentaux, application à des situations nouvelles)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5) Donner habileté manuelle et familiariser avec méthodes et techniques expérimentales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6) Illustrer le cours	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7) Développer l'esprit critique (signification et validité d'un résultat, évaluation d'hypothèses...)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8) Exercer à l'interprétation des résultats expérimentaux et à la compréhension des modes opératoires	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9) Rendre capable d'obtenir de bons résultats expérimentaux à partir d'une bonne maîtrise des techniques de laboratoire	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10) Conduire l'étudiant à apprécier l'importance de la chimie dans la vie de tous les jours	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11) Favoriser la prise de conscience, à partir de manipulations concrètes de la complexité expérimentale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
12) Donner une formation professionnalisante avec du matériel moderne	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
13) Développer l'aptitude à l'autonomie et la capacité à manipuler seul	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
14) Initier à l'analyse et à la résolution de problèmes pratiques liés au quotidien	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
15) Assurer la maîtrise des sujets théoriques à partir d'une approche expérimentale	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Annexe 2 - Le statut de l'enseignement expérimental

Pour chaque question cochez une seule case, sauf mention contraire (pour question 6 et 7)

- 1) A vos yeux l'enseignement expérimental en chimie est-il
très important important peu important sans aucune importance
- 2) L'enseignement expérimental vous paraît-il aussi bien traité en volume et en importance que l'enseignement de cours et TD ?
oui à peu près pas vraiment non
- 3) Le volume d'enseignement expérimental vous paraît-il
suffisant à peine suffisant insuffisant très insuffisant
- 4) Au-delà de la fonction d'apprentissage des techniques, l'enseignement de TP doit-il être un lieu d'apprentissage de
savoir-faire expérimental intégrant un savoir théorique
savoir-faire expérimental sans exigences théoriques
- 5) L'enseignement de travaux pratiques :
peut-il intervenir parallèlement au cours
ou doit-il obligatoirement être lié au cours

Pour les questions 6 et 7, utiliser pour chaque proposition une réponse modulée de :

4 = Tout à fait d'accord

3 = Plutôt d'accord

2 = Plutôt en désaccord

1 = Désaccord total

Attention : obligatoirement deux réponses 3 ou 4 et deux réponses 1 ou 2 par question.

- 6) Si vous pensez qu'il peut intervenir parallèlement au cours, c'est parce que :
- l'approche expérimentale d'un concept est plus efficace
- le TP peut donner intérêt et goût pour une discipline
- le TP a pour fonction de tester les modèles et de remettre en cause les vérités toutes faites ou trop bien établies
- le TP peut permettre la construction du savoir dans une dialectique faits expérimentaux-hypothèses
- 7) Si vous pensez qu'il doit être obligatoirement lié au cours, c'est parce que :
- le TP ne peut pas porter sur un contenu d'enseignement spécifique
- la fonction de TP est avant tout d'illustrer le savoir théorique
- le TP n'apporte qu'un savoir technique et ne permet pas véritablement de créer un savoir théorique
- la nécessité de fonctionner en temps limité impose de coordonner cours et TD et limite le champ d'autonomie de TP
- 8) Le protocole opératoire doit-il être selon vous
très précis et détaillé de façon à utiliser au mieux le temps de manip.
ou bien
indicatif de façon à développer l'autonomie même si cela prend du temps
- 9) En TP, habituellement les documents de TP privilégient
le comment .. le pourquoi ..
Les explications des enseignants privilégient
le comment .. le pourquoi ..
Les questions des étudiants privilégient
le comment .. le pourquoi ..
- 10) L'enseignement de chimie est souvent caractérisé par un excès de cloisonnement et de classification et l'établissement de règles types ,
l'enseignement expérimental vous paraît-il :
- renforcer cette caractéristique par des manipulations types ou prototypes
ou bien
- permettre de remettre en cause ce cloisonnement par la prise en compte et l'interprétation de la diversité expérimentale
- 11) Mes préférences personnelles vont (cochez une seule case par ligne) :
au TP-illustration (illustration directe de phénomènes au TP-approche (détermination de situations problèmes
vus en cours) avant tout cours théorique)
à l'enseignement distinct cours, TP, TD à l'enseignement intégré cours/TP/TD
à l'introduction de l'informatisation en TP (acquisition de données, optimisation de courbes, simulation)
oui non
- 12) Trouvez-vous que par rapport aux cours et aux TD les rapports avec les enseignants en salle de TP sont (cochez une seule case par ligne) :
plus faciles moins faciles
les explications y sont :
plus faciles moins faciles plus approfondies moins approfondies

Annexe 3 - Préparation d'une solution de concentration donnée

1 - à partir d'un composé solide

2 - à partir d'une solution mère

Cette préparation est une opération courante dans la vie professionnelle d'un chimiste ; il est donc nécessaire de savoir la réaliser correctement. Dans cette première manipulation du cycle de travaux pratiques, on insistera tout particulièrement sur la méthode de travail qui, d'une manière générale, se décompose en deux temps : tout d'abord un temps de **réflexion** indispensable pour concevoir les différentes opérations puis le temps de la **réalisation**.

Dans le cas présent, on se propose de préparer une solution de dichromate de potassium $K_2Cr_2O_7$ (masse molaire 294 g.mol^{-1}) de concentration $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ et de volume 100 mL.

Le savoir nécessaire pour mener à bien ce travail comporte :

- la notion de concentration ;

- la connaissance de la verrerie ; il faut être capable de *choisir* cette dernière puis ensuite de *l'utiliser correctement*.

Toutes les précisions concernant ces notions sont consignées dans un texte complémentaire qui comprend également un mode opératoire très complet. Cependant, pour atteindre le but recherché, à savoir l'assimilation des notions de concentration et de quantité de matière, l'étudiant devra élaborer lui-même son travail à partir de sa **réflexion personnelle** et ne devra utiliser ce mode opératoire que dans un deuxième temps pour vérifier sa propre démarche.

Le compte rendu se décompose en 4 colonnes :

- dans la première intitulée « élaboration de la manipulation » vous devrez noter le résultat de votre préparation personnelle ;

- dans la deuxième colonne, vous trouverez les références aux points correspondants du mode opératoire figurant dans le texte complémentaire ;

- la troisième colonne comporte un questionnaire qui vous permettra de tester l'acquisition de vos connaissances ;

- la quatrième colonne, sous la rubrique « erreurs à éviter », est destinée à attirer votre attention sur les erreurs fréquemment constatées par les enseignants ; lorsqu'il figurera simplement un repère numérique, celui-ci vous renvoie au texte complémentaire qui doit vous permettre de découvrir vous-même l'erreur à éviter.

Partie pratique et compte rendu

1 - Préparation de 100 mL d'une solution de $K_2Cr_2O_7$ de concentration $0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ à partir du composé solide. La manipulation consiste à **peser** le sel, le **dissoudre** et enfin **homogénéiser** la solution ainsi préparée.

Élaboration de la manipulation	Mode op.	Questionnaire	Erreurs à éviter
1-1 Pesée de $K_2Cr_2O_7$ - Calcul de la quantité à peser $Q = CV$ $C = \dots$ $V = \dots$ $Q = \dots \text{ mol}$ $m = \dots \text{ g}$ - Résultats expérimentaux $m = \dots \text{ g}$ $C = \dots \text{ mol.L}^{-1}$	1.1.1 1.1.2	Quantité de $K_2Cr_2O_7$ à peser pour obtenir : - 100 mL d'une solution $0,025 \text{ M}$ - 200 mL d'une solution $0,05 \text{ M}$ - 200 mL d'une solution $0,025 \text{ M}$	<i>En cas d'utilisation d'une balance méca : oublier de débloquer la balance à fond pour la pesée au 1/10 mg</i>
1-2 Dissolution du solide Matériel à utiliser - - Plan des opérations à effectuer - -	1.2.1 1.2.2 1.2.3 1.2.4	Dans cette étape, est-ce une erreur d'utiliser : a) une fiole propre et sèche..... b) une fiole lavée à l'eau et non séchée... Dans cette étape, on a dépassé le trait de jauge de la fiole jaugée. Que faire ? Pourquoi ?	<i>Perdre une partie du produit pesé avant la mise en solution</i>
1-3 Homogénéisation de la solution Vous avez à votre disposition un becher de 600 mL, comment l'utiliser pour que le mélange de soluté dans le solvant soit homogène ?	1.3.1 1.3.2	Dans cette étape, est-ce une erreur d'utiliser : a) un becher de 600 mL propre et sec ? b) un becher de 600 mL rincé à l'eau distillée mais non séché ? Au cours du transvasement, il peut arriver que l'on répande une partie de la solution. Que faire ? Pourquoi ?	1.3.1 1.3.2