

André LAUGIER et Alain DUMON
Université de Bordeaux 2 et IUFM d'Aquitaine, Laboratoire DAEST

**RESOLUTION DE PROBLEME ET PRATIQUE EXPERIMENTALE :
ANALYSE DU COMPORTEMENT DES ELEVES EN DEBUT DE SECONDE**

Reçu le 11 septembre 2003 ; accepté le 14 octobre 2003

RESUME : Dans le cadre des programmes du lycée, les instructions préconisent des activités expérimentales permettant de répondre à une situation problème. Nous avons cherché à étudier si de telles activités pouvaient être proposées à des élèves de seconde (15-16 ans) en début de scolarité, tout en respectant les contraintes d'une séquence de classe traditionnelle, et quelles étaient les conditions de leur succès. La séquence analysée est consacrée à la récupération d'un volume de gaz, censée ne faire intervenir que le registre empirique et les connaissances sur les gaz vues au collège. Nous avons ainsi mis en évidence : (1) Que les élèves entrant en seconde manifestent des réticences face à ce type de situation mais sont prêts à les dépasser et à s'y investir avec enthousiasme. (2) Que même dans un problème, censé ne mettre en jeu que le registre empirique, les élèves rencontrent des difficultés par suite de leur manque de « savoirs pratiques » et de leur non maîtrise de « savoirs conceptuels » supposés acquis. (3) que le dépassement de ces difficultés nécessite non seulement de laisser des initiatives importantes aux élèves et des espaces de débat, mais également une guidance serrée de l'enseignant. [*Chem. Educ. Res. Pract.*: 2003, 4, 335-352]

MOTS CLES : *Résolution de problème ; démarche scientifique ; situations didactiques ; débats scientifiques*

Problem solving and practical work: Analysis of students' attitudes at the beginning of upper secondary school (in French)

ABSTRACT : Within the framework of the programme of studies for upper secondary schools in France, there are ministerial directives which advocate the use of experimental activities which allow to deal with problem situations. We have tried to find out whether such activities could be assigned to pupils aged 15-16 at the beginning of their term – while obeying the constraints of the traditional class teaching order - and what are the conditions necessary for success of such activities. The first practical work session is devoted to the collection of a gas. This is supposed to require only students' practical ability and their past knowledge on gases. Our main findings are: (1) Pupils at this stage (age 15-16) are lacking in confidence when faced with such a situation, but they are willing to overcome this feeling and try with enthusiasm. (2) In a situation of this kind, when pupils had difficulties, two reasons were evident: (i) their level of practical know-how was insufficient; (ii) they had not mastered the necessary conceptual knowledge which they should have done. (3) Overcoming these difficulties required not only allowing pupils to take the initiative and engage in discussion, but also (if this is not contradictory) they needed the thorough guidance of the teacher. [*Chem. Educ. Res. Pract.*: 2003, 4, 335-352]

KEYWORDS: *problem-solving; scientific approach; didactic situations; scientific discussions*

INTRODUCTION : LE CADRE INSTITUTIONNEL

En France, un profond mouvement de rénovation de l'enseignement des sciences physiques dans les lycées puis les collèges a été entrepris depuis 1992. Les Instructions Officielles (BOEN,1997), prenant acte des difficultés que rencontre l'enseignement des sciences physiques auprès des élèves, insistent sur la nécessité de les motiver. Cette motivation passe, en particulier pour l'enseignement de chimie, par un recours systématique à l'expérimental et par une modification des modalités d'enseignement. Il s'agit de « *rénover les pratiques pédagogiques de l'enseignement de la chimie* » (Lefour & Méheut, 1996) et cette rénovation passe par « *des démarches de résolution de problèmes, en particulier de problèmes expérimentaux* ». En 1996, le groupe « Physique chimie » de l'inspection générale a mené une réflexion sur la place des activités expérimentales proposées aux élèves dans l'enseignement de la physique et de la chimie. Cette étude préconise des activités permettant de répondre à une situation problème dans le but de « *rendre les élèves actifs, créatifs et inventifs, les amener à observer pour ensuite mettre en œuvre une démarche scientifique fondée sur l'expérimentation qui leur permettra de répondre à la question* » (BOEN 1996). Cette proposition est reprise dans le texte sur « l'enseignement des sciences au lycée » de 1999 (BOEN, 1999): « *La science n'est pas faite de certitude, elle est faite de questionnement et de réponses qui évoluent et se modifient avec le temps. Tout ceci montre qu'il faut privilégier avant tout l'enseignement de la démarche scientifique incluant l'apprentissage de l'observation et de l'expérience* ». Cette orientation se décline sous différents points dans les nouveaux programmes de physique- chimie mis en place en 2000/2001 (BOEN, 1999). Nous en retiendrons quelques uns :

- « *La pratique expérimentale dans l'enseignement ne favorise la formation à l'esprit scientifique que si elle est accompagnée d'une pratique des questionnements et de la modélisation* »
- L'enseignement expérimental joue un rôle important dans l'enseignement « *parce qu'il offre la possibilité de répondre à une situation problème par la mise au point d'un protocole, la réalisation pratique de ce protocole, la possibilité d'aller retour entre théorie et expérience, l'exploitation des résultats* ».
- Une des conditions nécessaire pour que cet enseignement joue son rôle est que « *les élèves doivent savoir ce qu'ils cherchent, anticiper (quitte à faire des erreurs) un ou des résultats possibles, agir, expérimenter, conclure et ainsi élaborer des connaissances* »

La question que l'on peut alors se poser est : est-ce que des élèves entrant en seconde et ayant jusque là peu manipulé par eux-mêmes, sont capables de s'engager avec profit dans des activités de résolution de problèmes expérimentaux ? Plus précisément :

- Quelle est la capacité des élèves à proposer un protocole expérimental en préalable à l'expérience ?
- Quelle est la nature des difficultés qu'ils rencontrent : difficultés liées à la non maîtrise de « gestes techniques », à l'incapacité à anticiper les effets de l'enchaînement d'une série d'opérations, à l'ignorance de concepts fondamentaux relatifs aux états de la matière (propriétés des gaz) ?
- Quelle est la capacité des élèves à observer et à extraire l'information du fait expérimental ?
- Au cours de cette élaboration comment réinvestissent-ils des savoirs et des savoir-faire ?
- Quel est le rôle des discussions dans la classe entre élèves et entre élèves et professeur ?

LE CADRE DE L'EXPERIMENTATION

L'expérimentation avec les élèves s'est déroulée dans quatre classes de seconde, situées dans trois lycées de la ville de Bordeaux. Les séquences, qui ont concerné l'ensemble du programme de chimie, ont été conduites par les quatre enseignantes responsables de ces classes. Cet enseignement a été mis en œuvre dans le cadre d'une recherche sur la pratique de l'expérimental dans la classe, menée en collaboration avec l'Institut National de Recherche Pédagogique. Ses modalités se réfèrent à un cadre théorique explicité ci-après mais cet enseignement a été conçu de façon à respecter les contraintes qui sont celles du fonctionnement habituel d'une classe :

- Les séquences expérimentales ont été insérées dans l'alternance hebdomadaire, traditionnelle en lycée, entre le T.P. de chimie et celui de physique.
- Le temps consacré à ces séquences a respecté le temps didactique (15 séances d'une heure trente pour les activités expérimentales ou de documentation dans l'année pour l'ensemble du programme de physique chimie).

En outre, si dans le cadre d'une expérimentation ponctuelle en dehors du temps scolaire il est possible de laisser l'élève échouer dans la réalisation de la tâche qui lui est demandée, dans le cadre d'une expérimentation en situation de classe les enseignants volontaires pour ce travail avec leurs élèves souhaitent que le contrat didactique implicite passé avec les élèves soit respecté. Et ce contrat didactique impose que l'enseignant fasse apprendre quelque chose à ses élèves. La séquence qui sera étudiée ici est la première séance de travaux pratiques proposée aux élèves entrant en classe de seconde (première quinzaine de septembre). Elle sera suivie d'autres séances de résolution de problèmes, séances qui seront, ou ont été, analysées dans d'autres contextes (Laugier, 1998).

LE CADRE DE REFERENCE POUR LA CONSTRUCTION DES SEQUENCES EXPERIMENTALES

Des hypothèses sur la construction des connaissances par les élèves

L'hypothèse retenue pour la construction des séquences de classe est l'hypothèse socio-constructiviste. Une première composante de cette hypothèse est celle d'un élève en interaction avec un milieu organisé par l'enseignant. Elle rejoint la perspective piagétienne de l'enfant acteur dans la construction de son propre savoir. La deuxième composante concerne le rôle des interactions entre pairs (Perret-Clermont, 1979) ainsi que la dimension sociale des apprentissages, explicitement revendiquée par Vygotsky (1934). Le choix de ces hypothèses s'est traduit par l'élaboration d'une ingénierie didactique mettant les élèves en situation de résoudre des problèmes présentés comme expérimentaux, avec des modalités d'enseignement favorisant les échanges entre élèves, au sein de petits groupes de travail.

Des hypothèses sur le fonctionnement de l'expérimental en classe

La vision traditionnelle de la science, avait conduit à donner une image inductiviste de la construction des connaissances scientifiques. Johsua (1989) a montré comment cette option inductiviste allait s'étendre, à partir des années 50, aux processus d'apprentissage des élèves. Elle repose « *sur la croyance que l'observation et la mesure sont à la base de la « mise en évidence » des lois physiques et qu'il est possible de créer un cadre scolaire artificiel où*

l'élève, bien dirigé, serait apte à faire, en raccourci, le même cheminement ». Dans ce cadre théorique, une « bonne » expérience fondatrice doit assurer une correspondance forte entre le phénomène présenté aux élèves et les faits pertinents à considérer, et le maximum de faits doit être présent dans la même expérience. Si ce type de schéma peut être utilisé (avec les difficultés que l'on sait), en physique, où les grandeurs intéressantes sont assez facilement isolables et accessibles à la mesure, il est beaucoup plus difficile de le faire fonctionner en chimie où il n'existe pas de réaction chimique prototypique dans laquelle « *le modèle à introduire affleure presque l'expérience* ». De plus, dans ce schéma traditionnel, la conception de l'expérimental et sa mise en scène sont du ressort de l'enseignant, l'élève ne participant pas à son élaboration. Cet aspect de l'enseignement scientifique traditionnel est important car il est en contradiction avec le choix de l'option constructiviste que nous avons retenue et qui est sous-jacente dans les commentaires des nouveaux programmes. Des travaux déjà conduits en didactique de la physique (Gil-Perez & Martinez-Terregrossa, 1987, Dupin & Joshua, 1989) permettent d'avancer des hypothèses sur le type d'expérimental à privilégier :

- La mise en place, par l'enseignant, de situations - problèmes nécessitant de la part des élèves un recours à l'expérimental et des prises de décisions non automatiques pour résoudre le problème, apparaît comme une première composante de l'activité de classe.
- L'organisation de discussions entre les élèves, autour de ces décisions, semble être la seconde composante indispensable.

Une modélisation du travail de recherche en laboratoire

Mais avant de proposer un mode d'investigation expérimental pour les élèves il semble nécessaire de se mettre d'accord sur celui qui nous servira de référence pour le chercheur. Et là, lorsqu'il s'agit de s'entendre sur les conditions dans lesquelles l'investigation scientifique est conduite dans les laboratoires, des divergences se manifestent. Si, pour les épistémologues internalistes l'activité scientifique doit se développer hors de toute contrainte externe, un consensus se dégage aujourd'hui autour de l'idée d'une science en interaction avec la société au sein de laquelle elle se développe, qu'il s'agisse des idées philosophiques dominantes (Foucault, 1969) ou plus généralement de l'environnement social et humain du chercheur (Latour & Woolgars, 1988). Il convient d'ajouter que le contexte et la situation concrète de la recherche (particularités locales, savoir faire, équipement et matériel disponible, compétences et connaissances des collaborateurs et collègues de travail) déterminent pour une grande part l'accomplissement d'un travail de recherche dans un laboratoire (Roth, 1994). Ils contribuent à mieux définir le problème, à envisager des hypothèses plus novatrices dans la mesure où les savoir-faire locaux et le matériel disponible permettront de réaliser des expériences susceptibles de les valider. En ce qui concerne la démarche proprement dite suivie par le chercheur, bien qu'elle ne puisse être réduite à une succession linéaire (ou non) d'étapes bien délimitées, des auteurs s'accordent pour y retrouver un certain nombre de moments privilégiés (Develay, 1989, Dupont, 1992, Furio Mas et al., 1994), par exemple :

- une phase de formulation du problème,
- une phase de propositions hypothétiques,
- une phase de confrontation de ces propositions au réel observable,
- une phase de communication des résultats.

Une proposition de transposition didactique de la démarche scientifique

Cette activité du chercheur dans son laboratoire étant précisée, quand est-il de celle de l'élève dans la classe ? Duggan et Gott (1995) définissent une activité d'investigation en classe comme « *une sorte de problème pour lequel les élèves ne peuvent immédiatement voir la réponse ou se rappeler la méthode à mettre en œuvre pour arriver à la solution* ». Définition que précise Millar (1996) en disant que « *l'investigation est une tâche pratique où l'approche à suivre pour s'attaquer à une question ou résoudre un problème est ouverte : les élèves peuvent décider ce qu'ils observent ou mesurent, ce qu'ils modifient ou manipulent, quel équipement ils utilisent* » (dans le cadre des ressources disponibles). Ces définitions correspondent aux niveaux les plus élevés des activités expérimentales définis par Germann et al. (1996). L'isomorphisme qu'affirme Furio Mas et al. (1994) entre le travail de l'élève et celui du chercheur ne doit pas faire oublier l'existence de différences fortes entre l'activité d'investigation scientifique menée par le scientifique et celle menée par l'élève en classe. Ces différences se manifestent au cours des différentes phases d'une démarche d'investigation telle qu'elle a été transposée en classe par Darley (1994) à partir de la théorie des situations didactiques de Brousseau (1986).

Phase de contextualisation

« *C'est dans cette phase que le contexte scientifique du problème sera élaboré. Elle va permettre également de donner aux élèves les outils nécessaires pour que le problème qu'ils auront à traiter ait un sens* ». Dans le cas d'une démarche de résolution de problème « *cette phase doit être menée jusqu'au point où l'on est assuré que les élèves sont prêts à recevoir et surtout, à s'approprier le problème qui va leur être soumis* ».

Phase de dévolution du problème

Le problème doit devenir un problème intéressant à résoudre en l'absence de toute contrainte (Furio-Mas et al, 1994, Darley, 1994). Il faut donc que l'élève se sente capable de l'élaborer en utilisant les connaissances (théoriques et pratiques) qu'il possède (Furio-Mas et al., 1994, Millar, 1996, Darley, 1994). Pour cela, les situations problématiques doivent présenter un certain nombre de caractéristiques :

- être perçues et ressenties comme des problèmes réels et intéressants à résoudre,
- correspondre aux capacités de la plupart des élèves au niveau scolaire,
- ne pas être aussi convergentes que les tâches habituelles ni aussi générales et ouvertes que des questions d'opinion,
- faire appel à un raisonnement davantage qu'à des connaissances pré-acquises,
- être assez originales pour que la solution ne puisse être trouvée immédiatement dans un ouvrage ou dans le cours de l'élève.

Phase de personnalisation

C'est au cours de cette phase que l'élève va se construire une représentation de la tâche à résoudre et de la manière dont il doit l'aborder. C'est, selon Darley, la phase où il est amené à proposer des hypothèses et à en explorer les conséquences en élaborant des modèles (explications) susceptibles de donner du sens au phénomène qu'il doit mettre en évidence, en imaginant un protocole expérimental pour valider ces hypothèses ou modèles. Mais Millar

signale que la façon d'aborder la tâche n'est pas toujours liée à l'émission de telles hypothèses et qu'elle peut résulter, par exemple, de la simple utilisation du matériel proposé sans plan ou but évident.

Phase de validation

C'est au cours de cette phase, que Develay (1989) appelle expérimentation, que l'on passe des hypothèses à l'interprétation des résultats. L'élève va devoir :

- 1 – Mettre en œuvre le protocole expérimental.
- 2 – Vérifier si les solutions avancées sont, ou non, validées ; le critère de validation étant la conformité aux prévisions faites.
- 3 – Interpréter les résultats, c'est-à-dire créer un « modèle » explicite pouvant être formulé à l'aide de signes, de règles communes et montrer pourquoi le modèle proposé est valable et essayer d'en convaincre les autres.
- 4 – Cette phase débouche parfois sur de nouvelles questions et conduit souvent, en cas de désaccord : à une reformulation du problème, à un nouveau protocole expérimental, à un changement de technique.

Mais la validation n'est pas uniquement expérimentale. Pour Brousseau (1998) elle commence lorsque les élèves discutent de façon critique et argumenté de leurs propositions au sujet de la situation. Les interactions expérimentales successives avec la situation, qui suivront cette première validation, contribuent au renforcement de leur argumentation.

Phase de socialisation de la réponse

Cette phase va consister à mettre en commun tous les résultats et à ouvrir un débat sur ce qu'il convient de retenir comme réponse au problème. La « communauté scientifique » que constitue l'ensemble des élèves réunis va devoir statuer sur une réponse qui dépassera l'individu qui l'a émise pour devenir une réponse acceptée par tout le groupe et prendre ainsi le statut de savoir socialisé (Darley, 1994). C'est l'étape de renforcement de la démarche de modélisation de Robardet et Guillaud (1995) ou de la démarche de validation explicite de Joshua et Dupin (1993).

Conclusion

Pour schématiser une démarche d'investigation, nous réaliserons (figure 1) la synthèse du schéma proposé par Robardet pour décrire une démarche de modélisation, où la guidance de l'enseignant est assez importante, en se basant sur le schéma de la validation explicite de Joshua, et le schéma décrit par Watson (1994) et utilisé par Millar (1996) pour une activité plus autonome de résolution de problème.

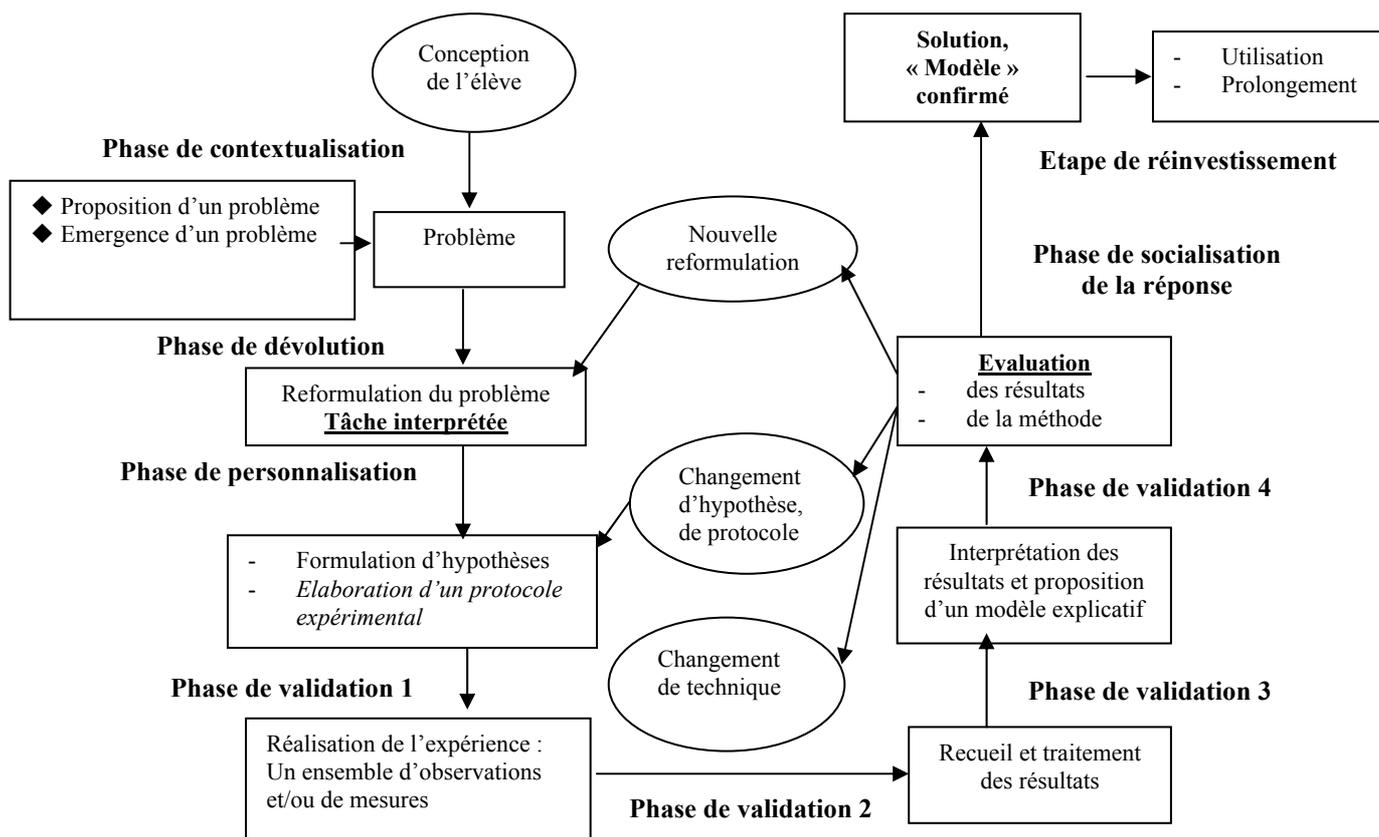


FIGURE 1: Démarche de résolution de problème en classe.

ANALYSE A PRIORI DE LA SEQUENCE EXPERIMENTALE SUR LA RECUPERATION D'UN GAZ

Déroulement prévu pour la séance

Cette séance a duré une heure et demie en groupe de TP. Il s'agit d'une démarche de résolution de problème expérimental. Celui-ci est exposé par l'enseignant aux élèves au cours d'une phase de contextualisation : « *Ce flacon contient un gaz dont nous souhaitons mesurer le volume sans en perdre. Comment allez-vous vous y prendre ?* ». L'enseignant en présentant le problème à la classe s'assure, au cours d'échanges avec l'ensemble des élèves, que ceux-ci comprennent ce qui est attendu d'eux, quelle est la nature du problème, il les rassure quant à la faisabilité de la tâche. Cette phase est indispensable pour permettre la dévolution du problème.

Les élèves, en petits groupes, doivent dans un premier temps proposer par écrit leur protocole. Ces propositions font l'objet d'une discussion collective qui doit déboucher sur un consensus quant au principe du protocole à mettre en œuvre (validation initiale). Ils doivent ensuite réaliser des manipulations leur permettant de récupérer le gaz sans en perdre (validation expérimentale). Suivant les situations celui-ci est déjà présent dans un flacon fermé (première situation) ou sera libéré lors d'une réaction chimique (situations de renforcement puis de réinvestissement). Dans ce dernier cas la réaction fera partie du programme de chimie du collège. Le déroulement prévu pour la séquence est indiqué dans l'annexe 1.

Analyse par rapport aux conjectures de la recherche

L'objectif de ce TP, est d'observer et d'analyser le comportement des élèves face à la résolution d'un problème expérimental. Il s'agit de placer les élèves dans une situation nouvelle pour eux : le protocole expérimental qu'ils devront mettre en œuvre n'est pas fourni par l'enseignant comme c'est traditionnellement le cas, mais doit être élaboré au sein d'un petit groupe de 3/4 élèves. Nous nous proposons ainsi d'étudier :

- Comment les élèves réagissent à ce changement de contrat didactique introduit par l'enseignant. L'acceptent-ils ? Se sentent-ils capables d'effectuer ce travail ? Comment organisent-ils leurs investigations pour chercher la solution du problème ?
- Comment s'y prennent-ils pour imaginer un protocole expérimental ? Quel est le rôle du matériel mis à leur disposition, celui des interactions à l'intérieur des groupes et entre les groupes ? Qu'attendent-ils de l'enseignant pendant ce travail ?

Nous avons choisi des situations dans lesquelles les concepts rencontrés par les élèves ne sont pas nouveaux pour eux : propriétés de l'état liquide, propriétés de l'état gazeux (le gaz occupe tout le volume disponible, si le gaz est insoluble dans l'eau, les bulles de gaz s'élèvent dans le liquide). Il s'agit là de notions déjà rencontrées lors d'apprentissages antérieurs. Seule la technique à mettre en œuvre (récupération d'un gaz sous la cuve à eau) est nouvelle et doit être imaginée par les élèves (il est possible que certains élèves aient déjà rencontré cette technique à l'école primaire, mais nous faisons l'hypothèse qu'ils ne s'en rappelleront pas suffisamment pour que l'activité ne soit pas réduite à une activité de reproduction).

Analyse par rapport aux activités cognitives nécessaires

Pour cette analyse des tâches (Tableau 1) nous avons utilisé la typologie de d'Hainaut (1983). Cette typologie permet, en décortiquant l'ensemble des savoirs et savoir-faire nécessaires pour réussir, non seulement de mesurer la complexité de la tâche qui incombe aux élèves, mais également de repérer l'origine des difficultés qu'ils peuvent rencontrer. Lorsqu'ils échouent, est-ce parce qu'ils ne maîtrisent pas les concepts ou les savoir-faire pour imaginer le protocole à mettre en œuvre ? Notons que l'élève peut réussir à résoudre le problème par tâtonnement : savoir ajuster son comportement et ses actions en fonction de ce qu'il fait et de ce qu'il observe.

TABLEAU 1: Extrait de la grille élaborée pour la séquence.

| Etapes de la séquence d'enseignement | | Savoir faire | Activités cognitives |
|--|--------------------------|--------------------------|--|
| Etape 1 Mesurer le volume d'un gaz enfermé dans un flacon sans en perdre (ce gaz est insoluble dans l'eau). | Présentation du problème | | <u>Mobilisation</u> : Associer au gaz présenté dans le flacon l'ensemble des propriétés des gaz : expansible, moins dense que l'eau |
| | Résolution du problème | Avoir une motricité fine | <u>Mobilisation</u> le gaz est moins dense que l'eau. Pour chasser l'air du flacon il faut remplir celui-ci d'eau. Pour recueillir le gaz dans l'éprouvette graduée il faut qu'elle sorte remplie d'eau . |

ANALYSE DU DEROULEMENT DE LA SEQUENCE

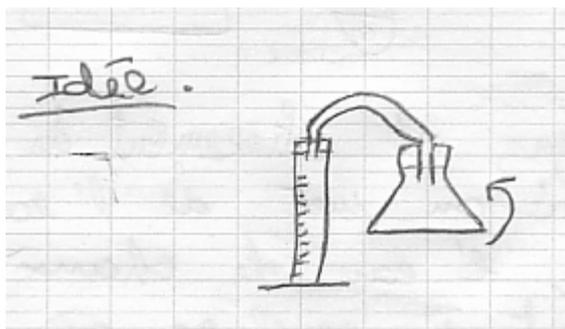
Nous présentons dans le tableau 2 les statistiques portant sur l'observation de cette séance conduite, par les enseignants participant à la recherche, dans quatre classes de seconde (153 élèves).

Il semble donc que les élèves ne connaissent pas la technique de récupération d'un gaz avec la cuve à eau. Certains se souviennent vaguement qu'il faut utiliser une bassine avec de l'eau mais c'est tout. Il s'agira donc bien pour eux d'une activité de résolution de problème telle que nous l'avons définie précédemment.

Analyse de l'étape 1 : étape d'investigation

Par rapport aux activités cognitives

La capacité à élaborer un protocole qui soit une solution du problème posé (mesurer le volume de gaz sans en perdre), suppose que les élèves soient en mesure de mobiliser les connaissances relatives aux propriétés des gaz et leur comportement dans un liquide dans lequel ils sont insolubles. Cette activité avait été choisie car les connaissances à mobiliser ont été construites au collège et pour certaines à l'école primaire. Or, dès le début, il est apparu que non seulement les élèves ignoraient la plupart de ces connaissances mais qu'ils avaient en outre des conceptions erronées sur l'état gazeux comme état de la matière, conceptions très proches de celles rencontrées chez un élève du cours élémentaire (7-8 ans). C'est ainsi que sur les 153 élèves des quatre classes ayant participé à ce travail selon les mêmes modalités, 61 élèves se demandent si « *le flacon est plein de gaz* ». De même, lorsqu'ils se sont mis d'accord sur l'utilisation d'une éprouvette graduée ce sont 138 élèves qui oublient que cette éprouvette contient déjà de l'air et la moitié d'entre eux qui pensent que pour déplacer le gaz dans l'éprouvette il suffit de relier celle-ci par un tuyau puis de verser le contenu du flacon contenant le gaz dans l'éprouvette : le gaz « tombera » alors d'un récipient à l'autre.



N'oublions pas non plus les 19 élèves qui proposent de « liquéfier » le gaz pour mesurer son volume dans l'éprouvette graduée (proposition induite par le fait qu'une éprouvette sert à mesurer le volume d'un liquide), ces 19 élèves se partageant entre partisans d'une liquéfaction par chauffage et partisans d'une liquéfaction par refroidissement.

Dans ces conditions les premiers protocoles proposés ne sont pas opératoires par rapport au problème posé aux élèves, et l'enseignante doit intervenir dans le débat autour de ces premières propositions en soulignant la difficulté à liquéfier un gaz ainsi que la variation de son volume qu'il subit lors de ce changement d'état.

Par rapport à l'élaboration du protocole

Lorsque l'enseignante, après avoir présenté le problème, annonce aux élèves que c'est eux qui vont devoir élaborer le protocole pour résoudre le problème expérimental, la première réaction est la même dans les quatre classes « *on ne l'a jamais fait, on vas pas y arriver, on va tout casser,...* ». Ces élèves n'ayant jamais été jusqu'à présent en situation d'élaborer le protocole expérimental à mettre en œuvre, cette tâche leur apparaît non

TABLEAU 2 : Bilan relatif aux compétences des élèves.

| | Savoirs disciplinaires | Savoirs-faire expérimentaux |
|----------------|--|--|
| Etape 1 | <ul style="list-style-type: none"> - 40% se demandent si le gaz occupe tout l'espace intérieur du récipient - 90% ne pensent pas que le récipient gradué est plein d'air - 50% pensent que le gaz va passer « spontanément » d'un récipient à un autre - 5% confondent masse et volume d'un gaz - 12% proposent de liquéfier le gaz (sans savoir d'ailleurs s'il faut chauffer ou refroidir et comment) | <ul style="list-style-type: none"> - 80% ne savent pas vider complètement le récipient mesureur plein d'air pour le remplir d'eau (présence d'une bulle) - 90% n'arrivent pas à déboucher dans l'eau, le flacon plein de gaz sans en laisser échapper - 50% ont des difficultés à faire passer les bulles d'un récipient dans l'autre - 100% savent mesurer le volume de gaz récupéré dans le récipient gradué |
| Etape 2 | <ul style="list-style-type: none"> - 90% assimilent effervescence et dégagement gazeux - 50% pensent encore que le gaz va passer spontanément dans un récipient contenant déjà de l'air - 10% ne prévoient pas que le gaz sous pression produit dans cette expérience va monter dans le tube et chasser l'eau - 50% continuent à penser que le récipient rempli d'air est vide - 90% connaissent le test à l'eau de chaux (sans savoir qu'un excès de dioxyde de carbone fait disparaître le précipité) | <ul style="list-style-type: none"> - 50% ne pensent pas à boucher le tube contenant CO₂ en le sortant de l'eau - 1% retourne le tube contenant le mélange réactionnel (acide plus calcaire) |
| Etape 3 | <ul style="list-style-type: none"> - 90% réinvestissent correctement les connaissances nécessaires dans la phase 2 - 5% connaissent le test à la flamme | <ul style="list-style-type: none"> - 100% réinvestissent correctement la technique de la phase 2 - 70% ont des difficultés à « craquer » une allumette - 80% craignent de placer l'allumette à la sortie du tube |

seulement difficile, mais risquée pour le matériel. Cela dit, cette première réaction étant exprimée, et après avoir été rassurés par l'enseignante, les élèves acceptent ce qui leur est demandé et y prennent rapidement du plaisir. La dévolution du problème lors de cette séance s'est faite sans difficultés. Bien que le problème n'ait pas été construit à partir de questions d'élèves, ceux-ci l'ont facilement pris à leur compte. S'il y a eu difficulté au départ à accepter cette tâche ce n'est pas par désintéressement mais parce qu'ils ne se sentaient pas capables et craignaient « *de ne pas être à la hauteur* ».

La phase de personnalisation au cours de laquelle les élèves sont amenés à proposer des hypothèses et à explorer le possible révèle qu'il s'agit là de quelque chose de difficile, indépendamment des réticences et des craintes initiales. Sur la façon de procéder les élèves se partagent en deux catégories, suivant que le matériel est présent ou non sur la paillasse:

- La plus nombreuse concerne les élèves qui commencent par regarder le matériel dont ils disposent, et à partir de là essaient d'en inférer un protocole qui permette de résoudre le problème. Il faut cependant noter que pour certains c'est en manipulant le matériel, sans plan d'expérience précis, que l'idée d'un protocole expérimental ordonné leur vient. Cette manipulation leur permet de se familiariser avec le matériel et les phénomènes

(transvasement de gaz, échappement des bulles d'air dans l'eau,...) autrement dit de s'approprier le problème par une stratégie que l'on peut qualifier d'adaptative.

- L'autre catégorie concerne les élèves qui tentent d'explorer le possible en essayant d'imaginer sur le papier ce qui pourrait se passer en opérant de telle ou telle manière. Ce comportement, que l'on peut qualifier d'exploratoire (Schneeberger, 1999), s'observe chez ceux qui sont déjà capables de mobiliser les connaissances nécessaires (propriétés des gaz).

Quoi qu'il en soit nous avons pu noter dans tous les groupes l'extrême motivation à réussir. La vivacité des échanges lors de la discussion collective des protocoles, ou celle des interactions entre les groupes, atteste de la participation active des élèves.

A l'issue de cette phase de validation initiale, se dégage l'idée, admise par tous, qu'il faut faire appel au déplacement du gaz par de l'eau. De nouveaux protocoles sont élaborés et expérimentés. On notera que la plus grosse difficulté rencontrée par les élèves réside dans leur incapacité à anticiper le devenir des bulles de gaz au sein de l'eau. Cependant, après intervention de l'enseignante, expérimentation et observation, les élèves concluent que les bulles ne peuvent que monter. Forts de cette certitude les groupes mettent en œuvre de nouveaux protocoles qui vont leur permettre de réussir.

C'est ainsi que progressivement les groupes affinent leur technique. Dès qu'un groupe a imaginé un dispositif astucieux (comme l'utilisation de l'entonnoir pour faciliter la récupération du gaz) il en fait part triomphalement à ses camarades. L'enseignante aide les maladroits. Enfin, le gaz est récupéré dans l'éprouvette graduée ! La mesure du volume ne pose pas de problème.

Les élèves sont ravis : « c'est enfantin mais il faut avoir le coup de main ! »

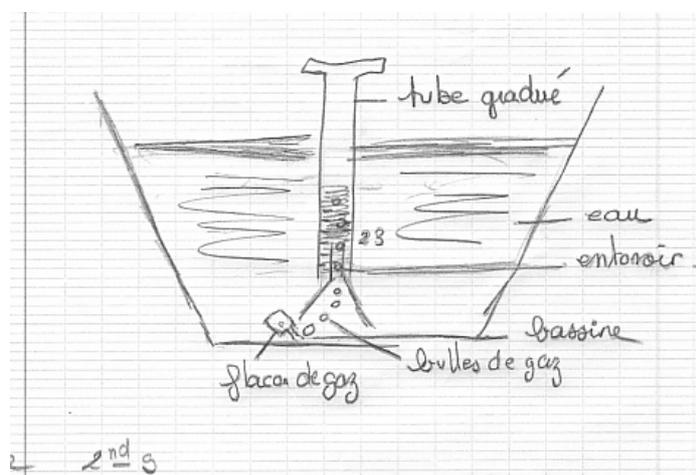
Par rapport aux savoir-faire expérimentaux

La première constatation qui s'impose est l'extrême maladresse des élèves dans l'utilisation du matériel, pourtant très simple (bassine d'eau, tubes, récipients divers). Par exemple nous avons pu observer, dans les différentes classes, plusieurs groupes d'élèves se demander comment faire pour chasser la bulle d'air qui subsiste dans une éprouvette immergée dans l'eau. L'idée d'incliner l'ouverture vers le haut pour laisser cette bulle d'air s'échapper n'est pas, pour de nombreux élèves de seconde en ce début d'année, évidente. De même pour l'idée de maintenir le flacon vertical sous l'eau, ouverture en bas, pour ne pas laisser s'échapper le gaz en débouchant ce flacon (138 élèves sont dans ce cas).

Analyse de l'étape 2 : étape de renforcement

Par rapport aux activités cognitives

En ce qui concerne la mobilisation des connaissances nécessaires (action de l'acide chlorhydrique sur le calcaire), celle-ci s'effectue sans problème : cette réaction est un grand

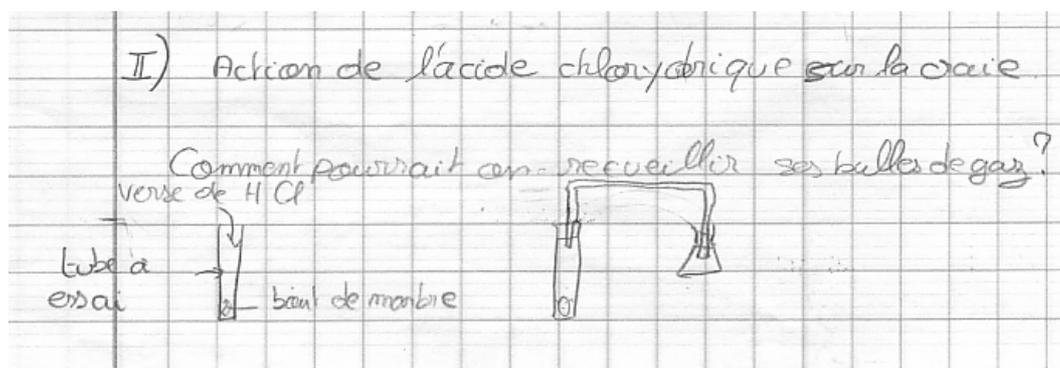


« classique » du collège, également utilisé en géologie pour caractériser les roches, et les élèves s'en souviennent. Pour les mêmes raisons, la caractérisation du dioxyde de carbone par l'eau de chaux se fera sans difficultés. Mais il s'agit là de connaissances « scolaires » maintes fois rencontrées au cours de l'enseignement antérieur.

En ce qui concerne les connaissances liées à la manipulation des corps en présence, c'est à dire les propriétés physiques de l'état gazeux, les élèves se heurtent à nouveau aux mêmes difficultés que dans la phase précédente. Ils ne mobilisent pas les connaissances nécessaires pourtant rencontrées dans l'étape 1. Ils reconnaissent volontiers dans l'effervescence qui se manifeste la formation d'un gaz. La plupart se rappelle qu'il s'agit dans ce cas de dioxyde de carbone, mais lorsqu'il s'agit de récupérer ce gaz, les protocoles proposés sont rudimentaires et témoignent de la non maîtrise par les élèves de propriétés physiques des gaz. En fait ils ne font pas spontanément le rapprochement avec la situation précédente et cette étape de renforcement montre donc bien son utilité.

Par rapport à l'élaboration du protocole

Pour l'enseignante, cette situation devait permettre de réinvestir, le protocole de récupération d'un gaz dans la cuve à eau, mais pour les élèves il s'agit d'une situation très différente. Il s'agit d'une réaction chimique au cours de laquelle un gaz est libéré dans l'atmosphère alors que dans l'étape 1 le gaz était déjà présent dans un récipient. Sur l'ensemble des quatre classes aucun groupe ne réussit seul à résoudre le problème et à élaborer puis conduire un protocole correct.



Quelques élèves proposent simplement de maintenir au dessus de la soucoupe le récipient chargé de recueillir le dioxyde de carbone. Ceux qui pensent à réaliser un dispositif fermé et étanche pour ne pas perdre de gaz ne se posent pas la question de savoir comment le gaz va circuler dans le dispositif. Ainsi la moitié des élèves pense encore que le gaz va spontanément passer d'un récipient à l'autre pour peu que ces deux récipients soient reliés par un tuyau. De même c'est encore la moitié des élèves qui continuent de penser, comme dans l'étape 1, que le récipient chargé de recueillir le gaz est vide. Plus exactement ils oublient que ce récipient contient déjà de l'air et que le protocole doit prévoir de chasser cet air pour y mettre le gaz recueilli. L'enseignante intervient alors pour demander s'ils pensent que le gaz va aller spontanément du tube dans le flacon. Cette réflexion jette le doute dans l'esprit des élèves sur le caractère opératoire des protocoles proposés. L'un d'eux fait alors la proposition suivante :

- On met le calcaire et l'acide dans un tube bouché, comme ça, le gaz ne pourra pas partir.
- Oui mais si la pression est trop forte le bouchon va sauter.
- Alors on met un récipient au-dessus.

- Un autre élève : *mais ce récipient contient déjà de l'air et le gaz va se mélanger avec l'air.*
- *Alors on remplit le récipient d'eau !*

A ce stade de la discussion plusieurs élèves font le rapprochement avec la situation précédente et proposent d'utiliser la technique de la cuve à eau avec laquelle ils ont récupéré le gaz dans une éprouvette graduée pour mesurer son volume. L'enseignante fait venir un élève au tableau pour faire le schéma du dispositif et pose la question : *Mais comment le gaz va-t-il arriver dans ce récipient ?*

Un élève : *« Il faut un tube pour conduire le gaz du tube à essai au récipient dans l'eau ».*

Arrivé à ce stade dans l'élaboration du protocole l'enseignante invite les élèves à le mettre en œuvre, ce qui ne va pas sans quelques problèmes. Les difficultés sont directement liées à la maladresse due au manque d'habitude pour ce genre de manipulation. Tout au long de cette phase les échanges sont constants entre les groupes et par exemple un élève ayant remarqué à voix haute qu'il faut *« laisser se dégager le gaz afin qu'il ne soit pas mélangé à l'air »*, tous les groupes recommencent la récupération par purger le dispositif.

Par rapport aux savoir-faire expérimentaux

C'est le domaine dans lequel les élèves réinvestissent le mieux ce qu'ils ont appris dans l'étape 1. Il n'y a plus de bris de verrerie par manipulation brutale ou intempestive, les élèves ajustent leurs gestes à ce qu'ils observent (par exemple ils inclinent l'éprouvette pleine d'air du bon côté pour chasser la dernière bulle, et la retournent sans la sortir de l'eau). Ils sont également beaucoup moins maladroits dans la récupération des bulles. Les problèmes qu'ils rencontrent concernent le matériel nouveau c'est à dire le tube à dégagement et son utilisation. Mais comme dans la première étape ce qui fait problème pour les élèves, plus que l'usage du matériel proprement dit, c'est l'ignorance des connaissances associés à son fonctionnement. Par exemple les élèves qui admettent que le gaz ne peut pas passer spontanément d'un récipient dans un autre n'imaginent pas que, dans l'expérience de l'étape 2, c'est la pression du gaz libéré dans le tube à essai qui va permettre à ce gaz de chasser l'air du tube à dégagement puis de chasser l'eau de l'éprouvette où il sera recueilli. A cette ignorance qui les empêche de mobiliser les connaissances nécessaires, s'ajoute ce que nous appellerons de la maladresse, comme ce groupe qui retourne le tube contenant le mélange réactionnel *« pour faire partir le gaz »* ! de même pour la moitié des groupes qui ne pense pas à boucher le tube contenant le dioxyde de carbone recueilli, lorsqu'ils le sortent de l'eau et le déplacent, ouverture libre, autour de la paille en cherchant l'eau de chaux.

Analyse de l'étape 3 : réinvestissement

Par rapport aux activités cognitives

Dans cette phase, comme pour l'étape 2, les connaissances à mobiliser dans la phase de présentation du problème (action de l'acide chlorhydrique sur le zinc) le sont facilement, cette réaction, qui fait partie du programme de troisième, est très connue. Ce qui est nouveau c'est que les connaissances qui permettent de reconnaître dans cette situation une situation analogue à celle de l'étape 2 sont également mobilisés par près de 90% des élèves. Tout ce qui empêchait les élèves d'explorer le possible (méconnaissance des propriétés physiques des gaz, comportement des bulles dans l'eau, etc.) est maintenant pris en compte.

Par rapport à l'élaboration du protocole

En fait la proximité des deux situations (étapes 2 et 3) fait que dans ce dernier cas on ne peut plus parler de situation de résolution de problème puisqu'il s'agit de transformer un « objet d'apprentissage » en un « outil » permettant d'apporter une réponse dans une situation voisine d'une situation déjà rencontrée. Les élèves réinvestissent bien ce qu'ils viennent d'apprendre, mais, en fonction des observations que nous avons faites et des données que nous avons recueillies, il ne nous est pas possible de dire s'il y a eu véritable apprentissage ou simple reproduction, les deux situations étant très (trop ?) voisines

Par rapport aux savoir-faire expérimentaux

Lors de cette troisième étape, les élèves réinvestissent avec succès les savoir-faire utilisés dans les deux étapes précédente. La seule véritable difficulté se présentera lorsqu'il s'agira d'enflammer l'allumette. Ce qui était autrefois une routine du quotidien est devenu avec les allumeurs piézo-électriques un geste technique qui réclame un apprentissage. Lorsqu'il s'agit d'approcher cette flamme de l'extrémité du tube, tous les fantasmes véhiculés sur la chimie et ses explosions mémorables resurgissent et rendent l'opération délicate, mais chacun met un point d'honneur à y parvenir.

CONCLUSION

Cette première séance de TP, proposée aux élèves de seconde, correspondait à quelque chose de nouveau pour eux. Si *a priori* ils n'étaient pas vraiment favorables à cette façon de procéder ils ont très vite accepté cette modification du contrat.

La dévolution du problème s'est faite alors que celui-ci était posé par l'enseignante et que les élèves n'avaient pas participé à son élaboration. Ce n'était pas évident car le discours didactique habituel est plutôt que, pour que les élèves acceptent de prendre à leur charge la résolution d'un problème il faut que celui-ci soit construit « avec la classe ». Mais il est possible que l'effet de nouveauté produit par le changement de contrat ait été suffisamment motivant pour que ceux-ci entrent dans le jeu de la résolution sans rechigner. A ce stade de notre travail nous sommes prêts à faire l'hypothèse supplémentaire que les conditions accordées aux élèves pour résoudre le problème (ici l'autonomie, la responsabilité de décider des expériences, etc.) sont en fait déterminantes dans la dévolution de celui-ci.

Lorsqu'il s'agit d'élaborer le protocole pour résoudre le problème, la tâche devient très vite très difficile aux élèves. D'une part ils ne connaissent pas les techniques de laboratoire, ils ne savent pas manipuler le matériel, mais d'autre part, dans cette séance, ils sont totalement démunis lorsqu'il s'agit de mobiliser des connaissances de base sur les états de la matière. Nous avons choisi ces situations en pensant que comme il n'y avait pas de concepts nouveaux à construire nous pourrions cibler nos observations sur la façon dont les élèves s'y prennent pour résoudre un problème expérimental. Nous avons très vite constaté combien il est illusoire de vouloir séparer totalement les connaissances et les compétences méthodologiques.

L'analyse des tâches que nous avons conduites pour chaque étape permet à l'enseignant de les distinguer et ainsi d'apprécier la difficulté de la tâche qu'il propose à ses élèves. Mais pour l'élève les choses sont différentes, lorsqu'il imagine un protocole possible il le fait en fonction des connaissances qu'il a ou qu'il n'a pas, et ce sont elles qui conditionnent sa réussite. Nous avons vu comment le fait que les élèves aient des conceptions erronées sur l'état gazeux fait obstacle à l'élaboration du protocole permettant de récupérer

ce gaz. Ce rôle important que jouent les connaissances préalables, quelles soient déclaratives ou procédurales, pour mener à bien une activité de résolution de problème a déjà été analysé par plusieurs auteurs (Duggan & Gott, 1995, Millar, 1996, Germann et al., 1996a et b, Mathieu & Caillot, 1985, Lavoie, 1993, Roth & Roychoudhury, 1993).

Dans ces conditions l'exploration *a priori* du possible par les élèves est quelque chose de difficile. Ils éprouvent le besoin de manipuler et en fait procèdent par essai et erreur. Le choix des expériences apparaît comme largement déterminé par le matériel présent dans la salle de TP (Millar, 1996, Watson, 1994). Il est important de signaler que c'est ce tâtonnement qui leur permet d'élaborer le protocole, qui se trouve en fait construit *a posteriori*. C'est en procédant de la sorte que les élèves personnalisent le problème en construisant peu à peu une représentation de la tâche à résoudre et de la manière dont ils devront l'aborder.

La résolution du problème est fortement conditionnée par les discussions entre les élèves, que ce soit à l'intérieur du groupe ou au niveau du groupe classe (Roth, 1994, Roth & Roychoudhury, 1993, Keys, 1994). L'analyse des échanges à l'intérieur des groupes fait apparaître que ce type d'échanges fait peu évoluer le protocole expérimental. Ce dernier est généralement proposé par un individu qui joue un rôle de leader et dont les propositions seront difficilement remise en cause même en cas d'échec. Par contre ce type d'échange permet à l'ensemble des membres du groupe de s'investir dans la tâche et de progresser dans la gestion du matériel : possibilité de pouvoir recommencer sans crainte un transvasement, transmission d'un « tour de main » particulier pour retourner une éprouvette pleine d'eau sans la vider. Les interactions entre les groupes ont été très importantes lorsqu'il s'est agit de faire évoluer les protocoles. Quand un groupe échoue, la tentation est grande d'aller voir comment procèdent les groupes voisins. Mais la remise en cause par un groupe de son protocole n'intervient que lorsque la discussion des protocoles est organisée par l'enseignant. Il est vrai que dans ce cas, l'intégration des commentaires de l'enseignant peut faire évoluer les conceptions des élèves et les amener à réussir.

A l'issue de ce travail il apparaît:

- Que les élèves entrant en seconde sont prêts à dépasser leur réticence initiale et à s'investir dans des activités de résolution de problèmes respectant les contraintes d'une séquence de classe traditionnelle. Ils prennent un plaisir certain à s'investir dans les différentes tâches et dans la recherche de solutions lors des discussions collectives.
- Que même dans un problème censé ne mettre en jeu que le registre empirique, les élèves rencontrent des difficultés non seulement à cause de leur manque de « *savoirs pratiques* » mais également par la non maîtrise de « *savoirs conceptuels* » supposés acquis.
- Que le dépassement de ces difficultés nécessite non seulement de laisser des initiatives importantes aux élèves et des espaces de débat, mais également, ce qui n'est pas contradictoire, une guidance serrée de l'enseignant.

REMERCIEMENTS : Ce travail n'aurait pu être conduit sans la participation active à la réflexion et à la mise en œuvre en classe des collègues de Bordeaux que nous remercions vivement : Liliane SARRAZIN du Lycée Brémontier, Marie Pierre VOLHPILHAC du lycée Montaigne, Odile GARCIA et Annie LAUGIER du Lycée Magendie.

CORRESPONDANCE : Alain DUMON, Professeur, IUFM d'Aquitaine, Antenne de Pau, 44 Bd du Recteur J. Sarrailh, 64000, PAU. e-mail : alain.dumon@aquitaine.iufm.fr

ANNEXE 1 : FICHE PEDAGOGIQUE

| Activité de l'enseignant | Activité des élèves |
|---|---|
| <p>L'enseignant présente aux élèves un flacon fermé par un bouchon. <i>Ce flacon contient un gaz dont nous souhaitons mesurer le volume sans en perdre. Comment allez-vous vous y prendre ?</i></p> <p>Organise le bilan des propositions des différents groupes. Si les élèves ne se rappellent pas la technique, l'enseignant intervient pour ne pas s'égarer dans des manipulations "exotiques" et non réalisables en classe.</p> <p>Il laisse à tous les groupes le temps de tâtonner et de recommencer les opérations jusqu'à ce qu'ils réussissent.</p> <p>2- L'enseignant propose de faire agir de l'acide chlorhydrique sur du calcaire. <i>Que va t-il se passer ?</i></p> <p>Il invite les élèves à faire l'expérience en versant quelques gouttes d'acide chlorhydrique sur un morceau de calcaire placé dans une soucoupe. Lors du bilan il s'assure (le rappelle si nécessaire) que tous les élèves savent qu'il s'agit de dioxyde de carbone.</p> <p><i>Comment pourrait-on recueillir ces bulles de gaz ?</i></p> <p>L'enseignant organise la discussion des différentes propositions.</p> <p>Il invite ceux-ci à faire l'expérience et à récupérer le gaz sur la cuve à eau (technique utilisée précédemment). <i>Comment peut-on caractériser ce gaz ?</i></p> <p>Le test à l'eau de chaux est rappelé si aucun élève n'y pense. (verser deux doigts d'eau de chaux dans le tube de dioxyde de carbone et agiter).</p> <p>3 – L'enseignant propose ensuite aux élèves d'étudier l'action de l'acide chlorhydrique sur le zinc. <i>D'après vous que va t-il se passer ?</i></p> <p>Il les invite à la réaliser.</p> <p><i>Comment pourriez-vous récupérer ce gaz ?</i></p> <p><i>Comment pourrait-on caractériser ce gaz ?</i> Si les élèves ne connaissent pas le test à l'allumette enflammée l'enseignant le leur indique.</p> | <p>Se mettent par groupe de deux et proposent <u>par écrit</u> un protocole des manipulations permettant de résoudre le problème posé.</p> <p>Recherchent le matériel nécessaire. Mettent en œuvre leur protocole pour connaître le volume du gaz. (recueillir le gaz sous la cuve à eau dans une éprouvette graduée).</p> <p>Les élèves échangent leurs connaissances sur cette réaction vue en classe de quatrième.</p> <p>Ils réalisent l'expérience et observent l'effervescence.</p> <p>Elaborent par écrit et en petit groupe un protocole expérimental. Les élèves se mettent d'accord sur un protocole commun.</p> <p>Les élèves recherchent le matériel nécessaire et essaient de mettre en œuvre le protocole.</p> <p>Réalisent le test.</p> <p>Les élèves prévoient ou non un dégagement gazeux de dihydrogène.</p> <p>Ils observent le dégagement gazeux.</p> <p>Elaborent par écrit un protocole expérimental. Réalisent l'expérience.</p> <p>Les élèves enflamment le dihydrogène récupéré dans le tube.</p> |

REFERENCES

- BOEN n° 45 du 12/12/96, p.2973.
- BOEN hors série n°1 du 13/02/97- Programme du cycle central du collège.
- BOEN hors série n°6 du 12/08/99.
- Brousseau, G. (1986). Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques. *Recherche en didactique des mathématiques*, 2, 33-115.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*, La Pensée Sauvage, Grenoble.
- Darley, B. (1994). Proposition d'un cadre possible pour une transposition didactique de la démarche scientifiques. *Actes 16èmes J.I.E.S.*, A. Giordan, J.L. Martinand, & D. Raichvarg (eds.), 249-254.
- Develay, M. (1989). Sur la méthode expérimentale. *Aster*, 8, 3-15.
- D'Hainault, L. (1983). *Des fins aux objectifs de l'éducation*. Nathan/Labor, Paris/Bruxelles.
- Duggan, S. & Gott, R (1995). The place of investigations in practical work in the UK National Curriculum for Science. *International Journal of Science Education*, 17, 137-147.
- Dupin, J.J & Joshua, S. (1989). Expérimentations d'approches hypothético-déductives de la physique en classe de seconde. *Rapport de recherche*, Groupe de Recherche en Didactique de la physique, Marseille.
- Dupont, M. (1992). Quelques problèmes posés par l'évaluation des raisonnements en science chez les élèves. *Aster*, 15, 121-144.
- Foucault, M. (1969). *L'archéologie du savoir*. Paris : Gallimard.
- 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.
- Germann, P.J., Aram, R., & Burke, G. (1996a). Identifying patterns and relationships among the responses of seventh-grade students to the science process skill of designing experiments. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 1, 79-99.
- Germann, P.J., Haskins, S. & Auls, S. (1996b). Analysis of nine high school laboratory manuals: Promoting scientific inquiry. *Journal of Research in Science Teaching*, 33, 475-499.
- Gil-Perez, D. & Martinez-Terregrosa, J.T. (1987). Las programasya de actividades : Una concreción del modelo inductivista de aprendizaje de las ciencias. *Investigación en la escuela*, 3, 3-12.
- Joshua, S. & Dupin J.J. (1989). *Représentation et modélisation : Le débat scientifique dans la classe et l'apprentissage de la physique*. Berne, Peter Lang.
- Joshua, S. & Dupin J.J. (1993). *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. PUF, PARIS.
- Keys, C.W. (1994). The development of scientific reasoning in conjunction with collaborative writing assignments: An interpretive study of six ninth-grade students. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 1003-1022.
- Latour, B. & Woolgars, S. (1988). *La vie de laboratoire. La production des faits scientifiques*. Paris, La Découverte.
- Laugier, A. (1998). *La représentation de la réaction chimique dans les niveaux macroscopique et microscopique. Contribution au repérage des obstacles épistémologiques. Un exemple en classe de seconde*. Thèse de l'Université de Pau et des Pays de l'Adour.
- Lavoie, D.R. (1993). The development, theory and application of cognitive-network model of prediction problem solving in biology. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 7, 767-785.
- Lefour, J.M. & Meheut, M. (1996). Les nouveaux programmes de chimie du secondaire. *L'Actualité Chimique*, Juillet- août, 5-9.
- Mathieu, J. & Caillot, M. (1985). Résolution de problèmes en sciences expérimentales l'approche cognitive. *Annales de didactique des Sciences* (Publications de l'Université de Rouen), 1, 12-35.
- Millar, R. (1996). Investigations des élèves en science : Une approche fondée sur la connaissance. *Didaskalia*, 9, 9-30.

- Perret-Clermont, A.M. (1979). *La construction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne, Peter Lang.
- Robardet, G. & Guillaud, J.C. (1995). *Éléments d'épistémologie et de didactique des sciences physiques*. Publications de l'IUFM de Grenoble.
- Roth, W.M. & Roychoudhury, A. (1993). The development of science process skills in authentic contexts. *Journal of Research in Science Teaching*, 30, 127-152.
- Roth, W.M. (1994). Experimenting in a constructivist high school physics laboratory. *Journal of Research in Science Teaching*, 31, 197- 223.
- Schneeberger, P. (1999). La pratique expérimentale dans la classe : Une étude de cas en première S. *Actes du colloque de l'ARDIST « L'actualité de la recherche en didactique des sciences et des techniques »*. ENS Cachan, Paris, 173-177.
- Vygotsky, L.S. (édition originale, 1934). *Pensée et langage*. Paris, La Dispute (1997).
- Watson, J.R. (1994). Students engagement in practical problem solving: A case study. *International Journal of Science Education*, 16, 27-43.