



HAL
open science

Rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée

Hélène Ayçaguer-Richoux

► **To cite this version:**

Hélène Ayçaguer-Richoux. Rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée. Education. Université Paris-Diderot - Paris VII, 2000. Français. NNT: . edutice-00000607

HAL Id: edutice-00000607

<https://theses.hal.science/edutice-00000607>

Submitted on 11 Aug 2004

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

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

UNIVERSITE PARIS 7 - DENIS DIDEROT
UFR PHYSIQUE

Année 2000

n° d'ordre : 97 - 02471N

THESE

pour l'obtention du diplôme de :

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE PARIS 7
SPECIALITE : DIDACTIQUE DES DISCIPLINES
Option : Sciences et Techniques Physiques et Chimiques

Présentée et soutenue publiquement par :

MME Hélène AYÇAGUER-RICHOUX

Le 26 janvier 2000

**Rôles des expériences quantitatives dans
l'enseignement de la physique au lycée**

Directeurs de thèse

Mme Andrée TIBERGHEN et M. Daniel BEAUFILS

JURY

M. Georges Louis BARON

M. Jean-Michel DUSSEAU, rapporteur

Mme Jacqueline GOUZERH

M. Samuel JOHSUA, rapporteur

Mme Claudine LARCHER, président

Remerciements

En tout premier lieu j'exprime ma gratitude à Andrée Tiberghien et à Daniel Beaufiles pour le soutien qu'ils m'ont apporté tout au long de ce travail de recherche, les discussions qu'ils ont suscitées, alimentées et les conseils pertinents qu'ils m'ont donnés.

Je tiens à remercier également Monsieur J-M. Dusseau et Monsieur S. Johsua d'avoir accepté la charge d'être rapporteur, Madame C. Larcher d'avoir accepté d'être président du jury ainsi que Madame J. Gouzerh et Monsieur J-L. Baron d'apporter des regards complémentaires sur mon travail.

Toute ma reconnaissance va également à l'équipe « Informatique » du département Technologies Nouvelles et Éducation de l'Institut National de Recherche Pédagogique au sein de laquelle j'ai fait mes premiers apprentissages de chercheur et qui m'a permis d'entreprendre et de mener à son terme cette thèse.

Mais cette recherche n'aurait pu exister sans les nombreux enseignants qui ont consacré de leur temps et de leur énergie à répondre à mes questions et qui m'ont si aimablement ouvert les portes de leur classe ; je pense ici, tout particulièrement aux quatre professeurs que j'ai baptisés P1, P2, P3 et P4, pour l'ouverture d'esprit dont ils

ont fait preuve en acceptant de voir leur pratique analysée et pour la gentillesse qu'ils ont manifestée tout au long de nos échanges. Je les remercie tous très chaleureusement.

Au-delà de la difficulté que j'ai pu rencontrer à mener de front plusieurs charges de travail, je tiens à souligner le plaisir que j'ai eu à travailler avec mes directeurs de recherche et tous les collègues que j'ai pu rencontrer.

Enfin mes pensées vont tout naturellement et tout particulièrement à ma famille pour la confiance qu'elle a manifestée, la patience dont elle a su faire preuve et toute l'aide qu'elle m'a apportée au quotidien, pendant ces longues années.

SOMMAIRE

INTRODUCTION	7
A. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE	11
A.1. LE CONTEXTE	12
A.2. PROBLEMATIQUE ET CADRE THEORIQUE	15
A.3. LA METHODOLOGIE	21
A.4. PRESENTATION DU CORPUS	31
B. QUELS SONT LES ELEMENTS PRIS EN COMPTE PAR LES ENSEIGNANTS POUR CONSTRUIRE LE MILIEU DE L'ELEVE EN TRAVAUX PRATIQUES ?	41
B.1. INTRODUCTION	42
B.2. LA STRUCTURATION DES DIFFERENTS ELEMENTS	42
B.3. RESULTATS DE L'ANALYSE DES ENTRETIENS	55
B.4. ANALYSE DE LA CONCEPTION DU MILIEU DU TP PAR L'ENSEIGNANT	65
B.5. LA COHERENCE DE L'ENSEIGNANT	123
C. LES EXPERIENCES QUANTITATIVES : QUELLES RAISONS EN DONNENT LES ENSEIGNANTS ? QUELS ROLES JOUENT-ELLES DANS LA PRATIQUE ?	133
LES EXPERIENCES QUANTITATIVES : QUELLES RAISONS EN DONNENT LES ENSEIGNANTS ? QUELS ROLES JOUENT-ELLES DANS LA PRATIQUE ?	134
C.1. A PROPOS DES DEMARCHES	135
C.2. ANALYSE CRITIQUE A PRIORI DES METHODES EXPERIMENTALES MISES EN ŒUVRE	146
C.3. DES MESURES AUX MODELES : QUELLES ARTICULATIONS DANS LA CLASSE ?	155
C.4. QUELLES SONT LES ACTIVITES DEMANDEES AUX ELEVES ? IMPORTANCE DES MANIPULATIONS ET DES MESURES	175
C.5. DES EXPERIENCES QUANTITATIVES, POUR QUOI FAIRE ?	187
CONCLUSION	194
BIBLIOGRAPHIE	199

INTRODUCTION

INTRODUCTION

L'appui sur la conduite d'expériences et la manipulation de dispositifs par les élèves lors des travaux pratiques est une nécessité affirmée depuis longtemps pour l'enseignement des sciences physiques : « *la physique et la chimie sont des sciences expérimentales doivent être enseignées comme telles* », pouvait-on lire dans des instructions officielles récentes. Cette référence à l'expérimental, voire au travail du scientifique a été également au cœur de l'introduction de l'ordinateur en tant qu'outil de laboratoire : « *des ordinateurs pour faire de la physique d'abord* » a été aussi un leitmotiv fédérateur.

Dans de nombreuses situations pourtant, l'utilisation d'instruments de mesures ou de méthodes d'analyse quantitative de données apparaît comme paradoxale : telle acquisition automatique de donnée révèle un épiphénomène complexe qu'il faut alors ignorer ; telle méthode d'analyse conduit à une valeur "optimisée" éloignée de la valeur attendue et entraîne l'invocation de quelque raison malencontreuse ; telle autre activité demande aux élèves le relevé d'un grand nombre de mesures sans qu'il soit justifié sur le plan scientifique ou, inversement, telle conclusion générale est tirée d'une ou deux mesures. Ces observations, faciles à effectuer, sont étayées par différents travaux qui montrent bien un décalage entre les attentes et les réalisations, entre activités scientifiques et activités proposées en travaux pratiques (en particulier dans le cas de l'utilisation de l'ordinateur de laboratoire). Mais alors, "*pourquoi fait-on faire des mesures aux élèves ?* "

Notre projet a ainsi visé la recherche des raisons qui amènent les enseignants à proposer aux élèves des instruments de mesures (oscilloscope, capteurs, ordinateur, etc.) et des méthodes d'analyse. Quelles sont les références scientifiques qui sous-tendent les "complexions" mesures - analyse - conclusion et quelle est la part de prise en compte de paramètres liés à la situation d'enseignement tels que : représentations de l'apprentissage et de l'enseignement en physique, gestion d'une activité en groupe et de l'articulation cours / travaux pratiques, gestion des contraintes matérielles, etc.

Ces questions relevaient à notre sens clairement de deux concepts théoriques complémentaires : *la transposition didactique*, pour l'étude des relations qu'établissent les enseignants entre les pratiques des scientifiques et celles qu'ils font mettre en œuvre à leurs élèves, et le concept de *milieu*, pour l'élaboration par l'enseignant des séances de travaux pratiques, par le choix d'objectifs précis et dans le respect des contraintes institutionnelles. Dans la partie A de ce mémoire nous détaillons et développons ces références et reformulons alors notre question de recherche : (i) Quelles sont les raisons qui prévalent dans le choix des activités quantitatives et quelle est la part des contraintes de planification dans l'élaboration ? (ii) Quels sont, pour les enseignants, les critères des activités des élèves en travaux pratiques qui les amènent à considérer ces activités comme scientifiques ?

Compte tenu de l'ampleur de la question et de l'absence de travaux antérieurs dans ce domaine, nous avons centré notre travail sur des études de cas : nous avons choisi de travailler sur des séances de travaux pratiques de classe de Première scientifique portant sur des sujets classiques et pérennes (la chute libre, par exemple), et dont certaines mettent en œuvre des instruments informatisés. La recherche d'éléments de réponse à nos questions a alors été fondée sur la conduite d'entretiens avec les enseignants, l'analyse des transcriptions effectuées et la confrontation à la réalisation (fiches de travaux pratiques, comptes rendus d'élève, observations de classe). Dans le deuxième chapitre de cette première partie, nous détaillons ces aspects méthodologiques, notamment le choix des séances et des enseignants, la conduite des entretiens et les méthodes d'analyse du corpus employées. Dans un troisième chapitre nous donnons les éléments essentiels du corpus qui fondent la présentation des résultats (l'ensemble du corpus étant fourni en annexe).

La partie B de ce mémoire est alors consacrée à la question de la l'élaboration des séances de travaux pratiques par l'enseignant : quelles contraintes de planification, quelles raisons pour les choix effectués. L'élaboration de la grille d'analyse du corpus est alors présentée comme un premier résultat : partant de classifications utilisées dans d'autres travaux, nous montrerons comment nous avons conçu une grille adaptée à notre étude, et comment ceci nous a notamment amené à constater d'emblée l'absence de référence scientifique dans le discours des enseignants. Nous montrerons ensuite, comment la planification est le souci premier de l'enseignant et quels sont les paramètres et les contraintes qu'il prend en compte dans ce que nous avons appelé "planification globale" et "planification interne au TP". Enfin, focalisant notre attention sur les raisons évoquées par les enseignants (où nous avons distingué en particulier les "raisons d'entreprise" des "raisons d'enseignement") nous présenterons un "modèle de fonctionnement" de l'enseignant dans son activité de constructeur de travaux pratiques ; celui-ci fait apparaître, en particulier, une nouvelle forme du triangle didactique, fortement centré sur l'enseignant et où l'élève apparaît en tant que "modèle de l'élève". Un dernier chapitre de cette partie permettra de reprendre les situations de travaux pratiques des différents enseignants pour montrer les relations entre planification et "raisons" et la cohérence des discours par rapport aux sujets imposés par les programmes.

C'est dans la partie C que nous focalisons notre analyse sur la question des activités quantitatives. Cette dernière expression incluant les différents aspects relatifs à la prise de mesure, depuis le réglage ou la mise au point d'un protocole jusqu'à l'analyse modélisante, nous montrons comment le schéma de démarches élaboré dans d'autres travaux centrés sur la question de la transposition d'activités scientifique permet de reconnaître les situations d'enseignement et les catégories d'argumentation de l'enseignant en termes de "raisons d'enseignement", et aussi de faire apparaître les limites de ce qui est généralement dévolu à l'élève dans les travaux pratiques. Distinguant alors ce qui relève d'une démarche ("l'expérimental"), de ce qui relève de l'activité liée aux instruments ("l'instrumental"), nous présentons une analyse critique "a priori" des séances de travaux pratiques montrant le décalage au niveau d'une validité scientifique (en particulier au niveau de la prise en compte de la qualité des mesures) et au niveau de la manipulation des appareils de mesure et d'analyse. Enfin, à propos de la "confrontation théorie-expérience", nous ferons référence à d'autres travaux ayant analysé les différents niveaux entre le monde des objets et celui des modèles (ainsi que leurs mises en relation), pour examiner les décalages qui apparaissent entre les attentes de l'enseignant et les activités effectives des élèves. En particulier, nous montrerons que certaines manipulations proposées en travaux pratiques apparaissent comme une "monstration dévolue aux élèves".

Dans la dernière partie, nous reprenons les résultats essentiels de notre travail ainsi conduit sur trois années, et mettons en relief ce que nous considérons comme particulièrement important au niveau des conséquences. Notre travail contribue en particulier à une meilleure connaissance du fonctionnement de l'enseignant "constructeur" et la grande cohérence de cette activité doit, à notre avis, être prise en compte non seulement dans l'élaboration des formations de futurs enseignants mais aussi au niveau de l'élaboration des structures mêmes de l'enseignement (programmes et horaires) : il apparaît en effet illusoire d'espérer changer les modes pédagogiques des enseignants en maintenant des contraintes qui conduisent à un état qui, s'il est critiquable, n'en est pas moins, de fait, un état d'équilibre stable. De même, l'inexistence de références à des activités de scientifiques par les enseignants nous paraît remettre en question l'importance parfois accordée à "l'image de la science" et aux "représentations épistémologiques" dans la formation des enseignants. De façon générale, il apparaît également que la référence à "l'activité scientifique" est moins celle, réaffirmée régulièrement, à une "science expérimentale" qu'à celle de la manipulation d'instruments scientifiques. En termes de transposition, l'une de nos conclusions est bien que les critères de "scientificité", c'est-à-dire ce qui, dans la transposition, reste invariant et garantit la reconnaissance d'un enseignement de sciences est uniquement la présence et l'utilisation d'*instruments scientifiques*. Enfin, notre travail se veut également une contribution à la didactique elle-même, par la mise à l'épreuve de concepts de la didactique : celui de transposition que l'on vient de citer et qui a été introduit depuis longtemps en didactique des sciences physiques, et ceux de situation et de milieu, concepts élaborés dans la didactique des mathématiques mais dont l'application en didactique des sciences nous paraissait tout à la fois une nécessité et un enjeu d'expérimentation.

PARTIE A

PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

A. PROBLEMATIQUE ET METHODOLOGIE

A.1. LE CONTEXTE

1.1. Le rôle essentiel des expériences dans les instances ministérielles

L'enseignement des sciences physiques, comme l'indiquent les principes généraux de l'enseignement de la physique et de la chimie au collège et au lycée (B.O.E.N., 1992) repose sur la conduite d'expériences : « au travers de la démarche expérimentale, il [l'enseignement de la physique] doit former les esprits à la rigueur, à la méthode scientifique, à la critique, à l'honnêteté intellectuelle » et, ainsi, « il doit montrer que cette représentation cohérente (de l'univers) est enracinée dans l'expérience : les activités expérimentales ont une place essentielle ». Par ailleurs, l'intérêt de faire réaliser des expériences dans le cadre des travaux pratiques, où les élèves puissent effectivement manipuler eux-mêmes, comme la nécessité en est affirmée depuis longtemps » est souligné en ces termes : « plus concernés, les élèves sont plus responsables de la construction de leur propre savoir. »

Ce sont en des termes très voisins que les futurs programmes (B.O.E.N., 1999) expliquent "la place privilégiée (est) accordée aux activités expérimentales" (p.8).

La confrontation "théorie / expériences" est explicite dans les programmes de physique, soit dans les activités support proposées soit dans les commentaires par exemple, en Terminale S (B.O.E.N., 1995) :

- « vérification de la relation fondamentale de la dynamique à l'aide de documents chronophotographiques,
- analyse de mouvement à l'aide de capteurs. Traitement informatique des résultats, modélisation (exemple : chute libre et chute dans l'air)
- dans toute cette étude, l'apport de l'informatique peut être très enrichissant : saisie de données, comparaison entre trajectoire expérimentale et trajectoire théorique "simplifiée" d'une chute dans l'air, modélisation d'une trajectoire réelle [...]. »

Parallèlement, le groupe "physique-chimie" de l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale (IGEN,1998), précise, « afin d'améliorer les travaux pratiques », des « objectifs disciplinaires majeurs qui permettront [...] d'augmenter réellement l'efficacité de l'enseignement des sciences physiques » parmi lesquels :

- « prédire un phénomène, un résultat expérimental ;
- prendre conscience, grâce à une pratique réfléchie, des questions relatives à la mesure, à sa précision, au sens à donner aux résultats d'un mesurage ;
- [...]

- s'initier à la démarche expérimentale; : formuler une hypothèse, élaborer un protocole permettant de la tester, le mettre en œuvre, analyser les résultats, tirer les conclusions ;
- choisir des grandeurs à mesurer, décider de valeurs de paramètres, de conditions expérimentales, d'échelles, de nombre de mesures. »

1.2. Une situation pourtant problématique

Une lecture attentive des programmes de physique et chimie et des documents qui les accompagnent, (programmes et documents officiels mentionnés au-dessus, brochure sur les activités expérimentales des élèves en physique-chimie (IGEN, 1999), actions de formation) révèle déjà des aspects paradoxaux :

- les incertitudes de mesures n'apparaissent pas dans les programmes du lycée,
- dans les documents d'accompagnement, le traitement statistique des mesures et les incertitudes y sont très présents, avec, à la fois des développements théoriques, des résultats de travaux menés en didactique (Journeaux et al., 1995), des propositions et des exemples pour leur mise en œuvre au niveau du lycée ; en revanche, il y a peu d'indications sur la prise en compte des mesures dans les démarches expérimentales pour les TP. Le rôle des mesures ne paraît pas alors poser question.

Pour autant, le traitement statistique des mesures est très peu pris en compte dans la pratique de l'enseignement "ordinaire" comme l'indique l'enquête menée auprès d'enseignants de lycée (Séré et al., 1998) et dont la conclusion est que « pour l'instant, les enseignants peuvent [...] exprimer ce qu'il faudrait "faire", en se gardant de le faire par manque de temps et aussi de concepts indispensables ».

Par ailleurs, différents travaux tendent à montrer un décalage entre les attentes et les réalisations. Ainsi, en particulier, dans le cadre de la recherche "caractérisation et évaluation des activités scientifiques utilisant les outils informatiques" de l'Institut National de Recherche Pédagogique, les travaux menés sur l'utilisation de l'ordinateur au laboratoire de physique ont révélé d'importants "problèmes". L'étude de fiches de travaux pratiques a montré notamment (Beaufils et al., 1999, 2) que :

- L'introduction de ces nouvelles technologies n'a pas entraîné d'évolution notable des activités scientifiques proposées aux élèves ; certains (professeurs) vont même jusqu'à donner les bons paramètres pour être sûrs que les élèves obtiendront les "bons" résultats dans le temps imparti au TP. Le travail de modélisation est donc expulsé de la partie pédagogique.
- Certaines méthodes de mesures et de traitement de données sont utilisées à contre emploi :
 - sur le plan pédagogique par l'utilisation de dispositif ad hoc plus ou moins sophistiqué n'éclairant pas le phénomène et la nature des mesures effectuées,
 - sur le plan des méthodes par la mise en œuvre de méthodes d'optimisation incompatibles avec la nature des données ou du modèle, par la non prise en compte des incertitudes expérimentales, ni dans l'analyse ni dans la production des résultats,
 - sur le plan des démarches avec, par exemple, des généralisations abusives à partir d'un petit

nombre de mesures ou de situations.

- L'introduction de ces méthodes informatisées se traduit par l'augmentation des consignes "techniques" de manipulation du logiciel, et donc par un appauvrissement de l'activité cognitive des élèves (Milot et al. 1999).

Le cas de l'introduction des instruments informatisés nous semble un cas particulièrement révélateur des écarts entre activités scientifiques et activités proposées en TP, et les résultats évoqués ci-dessus recourent ceux du rapport établi par J.Brénasin et A.Weil-Barais (1994) qui signalent que « la démarche expérimentale à laquelle sont conviés les élèves est une démarche de confirmation de la théorie », mais les questions ainsi soulevées à propos du mesurage et de l'analyse quantitative des données se posent aussi dans le cas de travaux pratiques "traditionnels" tels que ceux de mécanique et électricité.

Ainsi, lors d'un travail préparatoire, nous avons étudié le cas d'un TP "classique" sur les oscillations forcées d'un circuit RLC. Les activités de l'élève, fortement centrées sur les mesures, ont été conçues par l'enseignant dans l'idée que l'élève mettra "automatiquement" en relation les objets matériels et mesures avec les théories et modèles. Notre observation et notre analyse ont montré (Richoux, 1998) qu'il n'en était rien : les élèves ont réalisé les expériences proposées, fait et relevé les mesures demandées sans aucune référence au phénomène physique des oscillations forcées, alors que l'enseignant attendait qu'ils utilisent leurs connaissances pour analyser leurs résultats. L'ensemble "matériel + activité" conçu par l'enseignant comme un cadre potentiellement riche au niveau cognitif, a donc été appauvri par les élèves. Les élèves ont, de fait, suivi à la lettre les consignes d'action données sur la fiche par l'enseignant, rempli les espaces prévus pour les réponses, honoré leur contrat. Nous retrouvons là des résultats de l'analyse faite par K. Bécu-Robinault (1997) sur les activités des élèves pendant les travaux pratiques traditionnels : la distinction de différents registres entre la réalité expérimentale et la théorie (dans le "monde des choses" le registre des mesures a une place particulière, et dans le "monde des théories et des modèles", c'est le modèle numérique qui s'impose) permet de mettre en évidence que sans consigne explicite l'articulation entre manipulation/mesures et modèle/concept reste étrangère à l'élève et le passage au registre plus abstrait des modèles et concepts ne peut avoir lieu. Plus généralement, une étude européenne sur les travaux pratiques (Labwork in Science Education), a permis différentes analyses, dont la mise en évidence de deux types d'efficacité (« effectiveness ») : celle relative aux acquisitions (conceptuelles et/ou de procédures) attendues et celle spécifique à ce que font les étudiants (Psillos et al., 1999).

1.3. L'importance d'une analyse du travail de l'enseignant

Si, clairement, un certain nombre d'écarts s'expliquent par des contraintes matérielles ou de formation des enseignants, nous considérons qu'une cohérence anime chaque fois l'enseignant qui peut justifier ces choix.

La description et l'analyse détaillée des pratiques des enseignants en physique et chimie ont été l'objet de différents travaux tels que : l'enseignement par un professeur confirmé de la deuxième loi de Newton et de la conservation de l'énergie dans une "high school" (Hewson et al., 1994), les différences entre les méthodes mises en œuvre par trois enseignants pour ce même enseignement (Olsen et al. 1996), la part des activités de modélisation dans les séances de travaux pratiques sur le haut-parleur en classe de seconde (Luc et al., 1997), les interventions et l'influence d'enseignants dans la conduite d'observations expérimentales avec des élèves (Haslam et al. 1998), les pratiques des enseignants lorsque les expériences ne "marchent" pas (Nott et al., 1995).

Notre projet, s'inscrivant dans cette approche, a donc visé la recherche des raisons qui amènent les enseignants à proposer aux élèves des instruments de mesures (oscilloscope, capteurs, ordinateur, etc.) et des méthodes d'analyse (constitutions de tableaux de mesures et de calculs, représentations graphiques, modélisation "empirique" par une fonction mathématique, détermination de grandeurs, etc.). Deux axes se sont imposés d'emblée :

- 1 - l'analyse (ou la recherche) de la (des) référence(s) scientifique(s) qui sous-tend(ent) chaque association " mesures - analyse - conclusion" que l'on retrouve en travaux pratiques.
- 2 - la prise en compte des paramètres liés à l'enseignement d'une science expérimentale au lycée : représentations plus ou moins implicites de l'apprentissage, de l'enseignement en physique, gestion d'une activité en groupe, gestion de l'articulation entre les séances de travaux pratiques et les séances de cours, contraintes matérielles, etc.

A.2. PROBLEMATIQUE ET CADRE THEORIQUE

Nous avons choisi d'étudier les pratiques des enseignants concernant les activités quantitatives qu'ils organisent pour leurs élèves des classes scientifiques du lycée lors de séances de travaux pratiques de physique. Ces séances où les élèves manipulent eux-mêmes du matériel de laboratoire font en effet partie depuis 1902 de la tradition de l'enseignement secondaire français (Belhoste et al., 1996) : elles occupent une part importante de la durée d'enseignement et sont considérées comme essentielles pour l'acquisition en physique et en chimie de connaissances et de savoir-faire par les élèves (IGEN, 1996). Le souci institutionnel qu'une telle activité expérimentale des élèves se développe, s'est traduit par la présence obligatoire à l'épreuve de physique-chimie du baccalauréat de la série S d'un "exercice à caractère expérimental" et plus récemment par une "évaluation des capacités expérimentales des élèves" (IGEN, 1998).

Par ailleurs, les expériences de cours, souvent qualitatives, assurent des fonctions de "monstration" (Johsua et al, 1993), de mise en évidence du problème, alors que les expériences faites par les

élèves durant les séances de travaux pratiques se révèlent mettre en œuvre régulièrement des aspects quantitatifs, en particulier le traitement de mesures. Les résultats de l'étude européenne "Labwork in Science Education" confirment cette tendance pour la physique (Tiberghien et al., 1999) puisque majoritairement les activités confiées par les enseignants aux étudiants consistent à "explorer une relation entre des quantités physiques" et "déterminer la valeur d'une grandeur qui n'est pas mesurée directement".

Les deux axes problématiques que nous avons indiqués au paragraphe A.1. relèvent à notre sens de deux concepts théoriques complémentaires :

- *la transposition didactique (Chevallard, 1991) pour l'étude des relations qu'établissent les enseignants entre les pratiques des scientifiques et les pratiques qu'ils font mettre en œuvre à leurs élèves ;*
- *le concept de milieu défini par G. Brousseau (1988) en didactique des mathématiques pour la construction et la mise en œuvre de séances de travaux pratiques par des enseignants.*

Les références à ces deux concepts ne sont pas indépendantes. En effet, l'étude de la transposition d'activités scientifiques (outils, méthodes et démarche) qui fait passer du savoir savant au savoir enseigné, conduit à s'intéresser aux activités qui sont, de fait, proposées aux élèves et donc au milieu didactique ou a-didactique construit par l'enseignant.

Avant d'explicitier la question de recherche de manière opérationnelle et de présenter la méthodologie qui en découle, nous voulons détailler les deux cadres théoriques choisis.

2.1. La transposition didactique

La transposition didactique est un cadre général introduit par Chevallard (1991) en didactique des mathématiques pour étudier la transformation d'un "savoir savant" en un "savoir enseigné". Ce concept est présenté par Chevallard comme "un outil qui permet de prendre du recul, d'interroger les évidences, d'éroder les idées simples, de se dépendre de la familiarité de son objet d'étude". Par là, il est utilisé pour analyser la prise en compte des concepts dans les choix du savoir à enseigner (Dusseau, à paraître), pour en étudier les transformations et pour contrôler l'élaboration du savoir enseigné sur des "choix épistémologiques" affirmés (Tiberghien, 1989).

La désignation d'un savoir à enseigner est, dans le modèle de la transposition didactique, le choix d'une "noosphère", et la transformation de ce savoir à enseigner ainsi désigné, en un "objet d'enseignement" résulte d'un travail de construction didactique. On retrouve, dans le schéma ci-dessous, les deux étapes qui caractérisent la transposition d'un savoir savant en savoir enseigné.



Différents travaux en didactique des sciences expérimentales ont montré la difficulté pour les sciences physiques du passage du savoir savant au savoir à enseigner. Ainsi en est-il de la définition même du (ou d'un) "savoir savant" (Tiberghien, 1989) : outre le fait que le savoir en physique ou en chimie est en perpétuelle évolution (des changements théoriques parfois fondamentaux remettant en cause les connaissances antérieures), la physique et la chimie ne se réduisent évidemment pas à un texte du savoir, les démarches, méthodes, instruments et savoir-faire doivent être considérés de la même façon.

L'explicitation d'une transposition au premier niveau repose sur le choix de références. Des pratiques sociales (Martinand, 1982) servent alors de légitimation des choix du savoir à enseigner. Cette mise en relation n'est évidemment pas un simple transfert d'un sous-ensemble mais se traduit par des écarts qui peuvent être identifiés et contrôlés (Durey et al., 1994). Différents travaux, en particulier sur l'introduction de l'ordinateur outil de laboratoire, ont montré la difficulté à gérer des propositions de transposition sur des pratiques explicites (Beaufils et al., 1997), voire même à caractériser ou identifier une référence en la matière. Ainsi la thèse de A. Durey (1987) a montré l'articulation possible entre les savoirs enseignés au niveau terminale et première année post-baccalauréat avec la physique du sport (étude de trajectoires, notamment). J. Winther (1992) a pris en référence les activités de "modélisation expérimentale" dans l'étude des systèmes (Trigeassou, 1988) pour proposer la transposition d'outils et méthodes informatisées au niveau de sections techniques de lycée. D. Beaufils (1991) a souligné, quant à lui, la difficulté qu'il y a à "retrouver" une ou des pratiques de référence pour l'enseignement général, et a choisi, pour la définition des activités et du contrat didactique associé, un « modèle épistémologique » du physicien. A. Guillon (1996) a développé une étude des différentes démarches du "physicien" pour proposer une transposition au niveau des travaux pratiques de DEUG.

Par ailleurs, les activités que construisent les enseignants doivent naturellement prendre en compte les contraintes qu'impose le système d'enseignement (matériel, horaires, programmes), et leur production est alors le résultat d'un compromis avec leurs choix pour l'enseignement d'une science expérimentale. Différents travaux ont aussi contribué à analyser les écarts précédemment cités, survenant dans la réalisation effective dans la classe (seconde transposition). L'analyse des activités expérimentales dans l'enseignement secondaire faite notamment par S. Johsua (1993) a ainsi montré l'importance de la "démarche inductiviste" dans l'enseignement des sciences physiques ; les résultats de l'étude des représentations des enseignants par G. Robardet (1995) soulignent la prééminence de la représentation qu'il qualifie de « naturaliste » pour la démarche scientifique : les enseignants privilégieraient une démarche d'enseignement par induction qui leur paraîtrait de mettre en adéquation à la fois leur modèle de la démarche expérimentale et leur modèle des processus d'apprentissage. Il relève que « cette représentation naturaliste semble fort répandue, pour ne pas dire hégémonique, dans le milieu de l'enseignement des sciences physiques », et qu'elle y a trouvé « une légitimité naturelle qui la dispenserait actuellement *de facto* de la nécessité d'être justifiée sur le plan théorique au cours de la formation professionnelle des maîtres » (Robardet, 1995, p.321).

Ainsi que l'écrit G. Arzac (1992 ; p.22) « lorsque l'affirmation du caractère expérimental de la physique

intervient dans le cadre de débats sur l'enseignement de la discipline, elle fait partie en général du discours apologétique qui trouve là une affirmation ayant le double avantage d'être d'une part peu contestée, et d'autre part de masquer par son expression même qui réfère à une physique unifiée, les différences éventuelles entre physique savante et physique enseignée, c'est à dire les effets de la transposition » ; l'existence même des activités expérimentales suffirait à garantir le caractère "scientifique" de l'enseignement.

Les programmes et documents institutionnels n'apportent pas de réponses pour les démarches, les méthodes, ainsi que nous l'avons déjà relevé ; ceci se traduit, en terme de transposition pour les démarches, par l'absence « d'un ensemble de transformations adaptatives qui vont les rendre aptes à prendre place parmi les *objets d'enseignement* » (Chevallard, 1991, p.39), on est dans la situation d'une absence de « transposition institutionnelle » (Arsac, 1992). Les enseignants ne disposant pas de références explicites à ce niveau, les activités expérimentales qu'ils construisent pour leurs élèves, dans le cadre contraint de l'enseignement, relèvent alors de la lecture qu'ils font des manuels, des programmes et des commentaires qui les accompagnent.

Dans le cadre de la transposition, nous nous centrons donc sur l'enseignant et sa production : porteur d'une certaine image / idée de l'activité scientifique, il est le concepteur des activités qu'il propose aux élèves en travaux pratiques. En termes de transposition notre question porte donc sur la création du savoir enseigné et pourrait s'énoncer :

Quels sont, pour les enseignants, les critères des activités des élèves en travaux pratiques qui les amènent à considérer ces activités comme scientifiques ?

Cette question recoupe celle de la définition des invariants de la transposition posée par D. Beaufils pour la construction d'activités utilisant l'ordinateur outil de laboratoire (Beaufils, 1991), et d'activités s'appuyant sur les images (Beaufils et al., 1997).

2.2. La théorie des situations, le milieu

La structure classique des travaux pratiques (dans laquelle se reconnaissent généralement les enseignants) repose sur la mise à disposition des élèves d'une fiche d'activité et des appareils adéquats pour étudier différents phénomènes et ce, généralement, d'une façon quantitative (mesures, traitements numériques, modélisation). Dans un grand nombre de cas également, cette procédure repose sur l'hypothèse d'une certaine "autonomie" des élèves : pendant une heure et demie, l'élève est confronté à la réalité de l'expérience, devant tour à tour mettre en œuvre les connaissances acquises en cours, et ainsi les consolider, ou en acquérir d'autres (savoirs et/ou savoir-faire de physicien ou de chimiste).

Quand l'enseignant élabore la séance de travaux pratiques, il vise pour les élèves des objectifs particuliers d'apprentissage, de structuration de connaissances ..., il fait alors (implicitement ?) l'hypothèse que les activités qu'il leur confie produiront les effets attendus pour l'acquisition des savoirs : c'est bien un milieu d'interaction construit spécifiquement par l'enseignant, pour les élèves, dans un objectif précis.

Ces aspects ne sont pas sans évoquer pour nous le concept de milieu défini par G. Brousseau (1988 ; p.320) dans le cadre de la théorie des situations (Brousseau, 1986) : « pour représenter convenablement le fonctionnement non didactique des connaissances, nous devons adopter le plus souvent des situations dans lesquelles les états du jeu sont déterminés alternativement par le joueur et par un SYSTÈME antagoniste qui modifie les états du jeu de façon non contrôlée par le joueur. Ce système, [...], est pour l'observateur une modélisation de l'environnement et de ses réponses pertinentes pour l'apprentissage en cours. [...] C'est ce système antagoniste que nous avons proposé d'appeler *milieu*. Il joue un rôle central dans l'apprentissage, comme cause des adaptations et dans l'enseignement comme référence et objet épistémologique ». L'analyse des activités effectives de l'élève est alors bien celle des interactions entre l'élève et le milieu.

En didactique de la physique, seule la thèse de L. Tsoumpelis (Tsoumpelis et al., 1995), relative à l'apprentissage de la concentration molaire, s'est appuyée sur la théorie des situations. Il est intéressant de noter que dans ce travail, l'hypothèse était la construction d'un milieu correspondant à une situation a-didactique, c'est-à-dire dans laquelle, un apprentissage doit avoir lieu, sans que cette intention didactique n'apparaisse. De façon générale, la proposition de travaux pratiques proches des activités scientifiques, cherchant donc à minimiser l'écart dans la transposition, conduit à des situations typiquement a-didactiques. Notons d'ores et déjà que si, dans une séance de travaux pratiques "traditionnelles", les élèves manipulent différents dispositifs et donc interagissent directement avec ces objets matériels constitutifs du milieu, les intentions didactiques de l'enseignant ne sont généralement pas masquées et les activités dites "scientifiques" correspondent alors à des situations fortement didactiques.

À ce point de notre propos, il convient de préciser ce que nous considérons comme "milieu" pour les séances de travaux pratiques. Pour Brousseau, cité par M-J. Perrin-Glorian (1994 ; p.129), « dans une situation de l'action, on appelle "milieu" tout ce qui agit sur l'élève ou ce sur quoi l'élève agit. Elle peut ne comporter ni maître ni autre élève ». Si l'environnement matériel évoqué précédemment en fait clairement partie, la question peut se poser à propos de la fiche dite "de travaux pratiques". En général, on y trouve formulés les questions auxquelles les élèves doivent répondre, les problèmes qu'ils doivent résoudre et, souvent, des indications sur les moyens à mettre en œuvre. La fiche de TP relève donc pour nous, et du fait de sa composition même, du milieu d'interaction de l'élève. Enfin pour ce qui est de l'enseignant, si sa relation à l'élève pendant la séance n'est pas définie pour nous *a priori*, dans l'enseignement traditionnel il entre en interaction avec les élèves, pendant la séance de TP et nous le considérerons alors comme partie intégrante du milieu. Par contre, nous centrant sur la

construction même de ce milieu par l'enseignant, nous n'incluons pas dans sa définition le ou les élèves interlocuteurs.

Enfin, il convient de voir que, s'inscrivant dans un cadre contraint (une séance par semaine, durée une heure trente, etc.), il est d'emblée clair que les choix des enseignants de proposer telle ou telle expérience, telle ou telle mesure ou analyse, ne relève pas seulement de paramètres "didactiques". Pour que le "processus pédagogique" fonctionne, l'enseignement doit également assurer la faisabilité des tâches. La place du travail de planification des activités est donc un point important de la structuration du milieu à analyser. Le glissement de situations a-didactiques à des situations fortement didactiques souligné précédemment, s'étend donc à la construction de situations fortement planifiées. Il nous est ainsi apparu rapidement que la question du rôle des expériences quantitatives et de l'importance des mesures et de ses traitements, ne pouvait être traitée indépendamment de l'ensemble du TP élaboré par l'enseignant et notre travail s'est donc naturellement concentré sur les connaissances de la situation mises en jeu par les enseignants (Comiti et al., 1995) et sur la recherche de la cohérence dans la construction/planification du milieu d'interaction. En termes de "milieu" et de "situation", notre questionnement pourrait se décliner en deux questions :

- *Quelles sont les raisons qui prévalent dans le choix des activités quantitatives :*
 - *raisons didactiques liées à la physique et à son apprentissage ?*
 - *raisons pédagogiques liées à l'organisation de l'enseignement ?*
- *Quelle est la part des contraintes de planification (nature et importance) dans l'élaboration - structuration du milieu ?*

2.3. Un cadre théorique avec des concepts issus de la didactique des mathématiques : pour quoi faire ?

Au-delà de l'investigation de terrain ainsi engagée, le choix d'un tel cadre théorique nous paraît un enjeu important : celui de faire fonctionner et donc mettre à l'épreuve les théories didactiques, et, en particulier de tester la fécondité, pour étudier des situations d'enseignement en physique, dans l'espace très limité des expériences quantitatives de TP, de concepts élaborés par les didacticiens des mathématiques.

A.3. LA METHODOLOGIE

3.1. Des études de cas

La compréhension des écarts que nous avons mentionnés entre des références générales plus ou moins implicites et la réalisation de milieux didactiques par les enseignants nécessite d'atteindre un niveau assez fin dans la description et dans l'analyse des séances effectivement mises en œuvre.

Compte tenu de l'ampleur de la question et de l'absence de travaux antérieurs dans ce domaine, nous avons décidé de centrer notre travail sur des études de cas.

3.1.1. Choix du niveau d'enseignement et des enseignants

Nous avons choisi de travailler avec des enseignants différents sur les mêmes thèmes de travaux pratiques d'un même niveau d'enseignement, avec des classes dont le niveau d'ensemble ne pouvait être connu *a priori* mais qui ne devait pas présenter *a priori* de caractéristiques très différentes. Nos travaux se sont centrés sur des situations "classiques" de travaux pratiques.

Le travail exploratoire (Richoux, 1998) réalisé au niveau de classes de terminale S a fait apparaître la très forte emprise du baccalauréat sur les choix faits par les enseignants : les activités et les questions proposées aux élèves sont très proches des sujets posés à l'examen, et la planification est très dépendante de cette évaluation finale : le programme doit être terminé dans un délai qui puisse permettre aux élèves d'acquérir les connaissances et compétences exigées. L'aspect institutionnel est donc omniprésent et très prégnant. Aussi avons nous choisi de travailler au niveau de la classe de première S afin que le baccalauréat ne puisse pas être la justification de tous les choix, mais que son influence éventuelle dès l'entrée en série scientifique puisse être relevée.

Nous avons travaillé avec quatre enseignants nommés ici, P1, P2, P3 et P4 qui ont des expériences professionnelles différentes (enseignants débutants et confirmés). Les professeurs P2 et P4 qui ont accepté de participer à cette investigation enseignent dans les classes scientifiques de lycée (première S et terminale S) depuis une dizaine d'année. Les deux sont chargées des fonctions de responsable de laboratoire et jouent un rôle de coordination, de proposition dans l'équipe des enseignants de sciences physiques ; par ailleurs les deux participent activement à la vie du lycée (conseil d'administration, équipes interdisciplinaires, club...). Il s'agit donc de deux enseignantes confirmées et particulièrement impliquées dans la vie éducative. Ces deux enseignantes abordent le programme de première S (BOEN, 1992) pour la première fois mais avaient, toutes les deux, enseigné le programme précédent. Les professeurs P1 et P3 sont de jeunes enseignants (respectivement trois ans et un an d'enseignement) qui abordent pour la première fois de leur carrière professionnelle l'enseignement dans une classe scientifique.

Les enseignants concernés par ce travail prévoient, en début d'année scolaire, de réaliser les trois séances de TP correspondant aux trois sujets proposés (voir ci-après). Ils ont élaboré leurs séquences sans aucune intervention de notre part et réalisé les séances selon un calendrier choisi par chacun d'eux. Ils ont mis à notre disposition la fiche de TP ou le plan des activités prévues, (au mieux) quelques jours avant la séance.

Par ailleurs, nous avons cherché à minimiser, *a priori*, l'influence du paramètre "élèves", en choisissant des enseignants qui travaillent dans des lycées pour lesquels le recrutement des élèves n'est ni privilégié ni particulièrement difficile. Toutefois, si aucune classe n'a manifesté un comportement difficile à gérer par l'enseignant, leurs niveaux ont été jugés assez différemment par les professeurs pendant les entretiens.

3.1.2. Choix des sujets pour les séances de travaux pratiques

Nous avons repéré des sujets, correspondant au programme de la classe, traités dans la plupart des manuels du niveau de première S et reconnus (ou ayant les caractéristiques) comme "sujets pérennes" par K. Bécu-Robinault (1995). Nous avons choisi, de plus, trois sujets où, *a priori*, les objectifs des séances et les activités liées aux mesures pouvaient être différents :

- Sujet 1 : la chute libre (sans préjuger du choix cinématique ou énergétique fait par l'enseignant pour l'étude),
- Sujet 2 : mesure d'une grandeur calorimétrique,
- Sujet 3 : étude d'un dipôle (électrolyseur, moteur, générateur) en vue d'un bilan énergétique.

La chute libre

Ce premier sujet fait référence au chapitre du programme de physique : « Modification du vecteur vitesse de G (direction et/ou module), *Exemple de la chute libre* », ainsi qu'aux activités support proposées « *mesures cinématiques à l'aide de capteurs et traitement sur ordinateur* » et aux commentaires du programme : « le cas $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$ peut être illustré par l'étude de la chute libre d'un corps... »

On retrouve également une référence à la chute libre dans les commentaires du programme qui accompagnent le chapitre « Bilans énergétiques » : « à partir de la connaissance de l'énergie cinétique introduite *a priori* et du principe de la conservation de l'énergie, l'expression de l'énergie potentielle de pesanteur peut être induite expérimentalement à l'aide de la relation $v^2 = 2gh$ de la chute libre. »

L'étude de la chute libre apparaît ainsi incontournable dans le programme de la classe de première S et rien dans l'intitulé du programme, des activités support proposées ou des commentaires n'impose une démarche particulière pour l'enseignant. Toutefois c'est une relation cinématique $v^2 = 2gh$ qui

est mentionnée dans la partie énergétique comme résultat de l'étude de la chute libre.

Du point de vue des références scientifiques, la chute libre est une situation idéale dans laquelle seule l'interaction entre la Terre et l'objet étudié intervient. Ce sujet nous intéresse donc à la fois :

- pour la présentation que l'enseignant fera du modèle de la chute libre à ses élèves,
- pour l'analyse qu'il fera des écarts entre les résultats expérimentaux et le modèle : la référence au modèle de la chute libre l'amènera à comparer la valeur connue de l'accélération de la pesanteur g à la valeur de l'accélération issue de l'expérience.

Par ailleurs, les lycées qui possèdent en général des appareils dédiés à l'étude de la chute verticale, sont de plus en plus fréquemment équipés de moyens de mesure et traitement informatisés qui sont mis en œuvre par les élèves. Or nous avons souligné dans les paragraphes précédents, combien l'utilisation de ces moyens rapides et puissants était porteur, a priori, d'évolution des méthodes et démarches scientifiques. D'où la question supplémentaire : qu'en est-il dans la réalité ?

Mesure d'une grandeur calorimétrique

Le deuxième sujet fait référence au chapitre 2 du programme de physique "Conservation de l'énergie", et dans les commentaires on relève : « En travaux pratiques, on définira une chaleur massique et on introduira la relation $Q = mc\Delta\theta$. On mesurera une chaleur de réaction et si possible une chaleur latente de changement d'état. »

La plupart des manuels de physique de première S présente des fiches de travaux pratiques portant sur la détermination d'une grandeur calorimétrique.

Au niveau des références scientifiques, il s'agit ici d'une activité de mesurage d'une grandeur physique.

Le travail exploratoire a fait apparaître des écarts importants entre une pratique scientifique de mesurage et la pratique de TP pour :

- les instruments utilisés : les calorimètres utilisés par les élèves sont des reproductions très simplifiées des calorimètres historiques et ils ne constituent une enceinte adiabatique que par leur nom,
- les protocoles expérimentaux : ils peuvent entraîner des résultats pour les grandeurs calorimétriques mesurées très éloignées des valeurs des tables,
- l'analyse des résultats des mesures qui reste sommaire.

Comment les enseignants justifient-ils la réalisation de telles activités ? comment interprètent-ils pour les élèves les écarts (prévisibles) ?

Étude d'un dipôle électrique

Quant au sujet n°3, c'est au chapitre 3.2. du programme de physique qu'il se réfère, « Générateurs et récepteurs. Puissance électrique. Effet Joule. Rendement d'un moteur électrique », et aux activités support proposées : « *montages de TP permettant de faire un bilan énergétique (amplificateur, régulateur de tension intégré, cuve à électrolyse, moteur, génératrice...)* ».

Les manuels scolaires et les fiches de TP mises à disposition des enseignants abordent les bilans énergétiques pour les récepteurs (moteurs et électrolyseurs essentiellement), dans leur grande majorité, par l'étude de la caractéristique intensité-tension.

Au cours de telles séances, des activités de modélisation sont en général proposées aux élèves comme, par exemple, la recherche d'un modèle mathématique de comportement, les limites du modèle, etc. Les dipôles étudiés ont des caractéristiques affines sur une partie du domaine de fonctionnement et les valeurs des grandeurs force électromotrice du générateur ou force contre-électromotrice du récepteur, résistance interne des dipôles sont issues du modèle mathématique. Dans ce cas, il n'y a pas pour ces grandeurs issues de l'expérience de référence à des valeurs tabulées.

Sur ce dernier sujet, le travail sur les modèles avec les limites de leur domaine de validité constitue la référence scientifique le plus souvent mise en avant.

Compte tenu des choix que nous avons faits pour le cadre théorique, connaître les éléments que l'enseignant prend en compte pour élaborer, pour construire le milieu de la séance de travaux pratiques que nous allons étudier est incontournable. Nous aurions pu organiser notre analyse en nous appuyant exclusivement sur les fiches de TP, mais, ces documents destinés aux élèves ne font pas apparaître les raisons des enseignants et les choix qui sous-tendent leur construction. En cohérence avec nos questions de recherche, c'est l'explicitation par les enseignants des activités qu'ils font mettre en œuvre qu'il nous faut obtenir et étudier ; aussi avons nous réalisé des entretiens avant chaque séance de travaux pratiques, avec les quatre enseignants concernés par cette étude. Nous relèverons et analyserons également les fiches de TP car celles-ci sont à la fois représentative de la construction de l'enseignant et un élément du milieu de l'élève.

L'observation des activités des élèves et de l'enseignant pendant la séquence de travaux pratiques, l'enregistrement des échanges entre les élèves et le professeur, les copies des élèves doivent nous renseigner sur le fonctionnement du milieu, et ainsi mettre à l'épreuve, tester la construction élaborée par l'enseignant. Un entretien mené après chaque séance de travaux pratiques doit permettre à l'enseignant d'expliquer, de donner sa propre analyse des éventuels écarts entre la prévision et la réalisation de la séance.

Enfin, si dans les entretiens relatifs à chaque séance de travaux pratiques les enseignants ont pu communiquer leurs références à des pratiques scientifiques, nous avons souhaité élargir, généraliser le débat aux activités expérimentales quantitatives menées dans l'enseignement secondaire en sciences physiques. Nous avons ainsi proposé, en fin d'année scolaire un entretien avec chaque enseignant, appelé entretien final.

Nous présentons ci-dessous, la méthodologie que nous avons suivie, dans un premier temps pour les entretiens, dans un deuxième temps pour les observations et enregistrement en cours de séance.

3.2. Les entretiens

3.2.1. La méthodologie pour les entretiens

L'ensemble des entretiens que nous avons menés avec les enseignants sont semi-directifs, et nous nous sommes appuyés sur les références méthodologiques données par Blanchet (Blanchet et al., 1996) et De Ketele (De Ketele et al., 1991) pour les construire.

.Nous avons choisi de suivre trois règles pendant la conduite de ces entretiens :

- nous avons posé des questions ouvertes pour les demandes de justifications de façon à ne pas induire de réponse de la part de l'enseignant interrogé,
- nous n'avons pas posé, avant la séance de TP des questions qui risquaient d'induire une modification du déroulement du TP et en particulier, des interventions de l'enseignant auprès des élèves pendant la séance,
- nous n'avons posé aucune question qui risquait de déstabiliser l'enseignant ; ainsi dans l'entretien avant la séance nous n'avons pas insisté pour obtenir de justifications sur les activités prévues (celles-ci ont été données spontanément ou après une sollicitation discrète) et après la séance nous n'avons pas interrogé directement l'enseignant sur des résultats ou activités d'élèves qui nous ont paru problématiques (qui auraient pu mettre en cause la démarche qu'il avait choisie).

3.2.2. La grille des questions pour les entretiens préalables

Le titre et les objectifs annoncés dans les fiches de TP ne révèlent pas de façon évidente les objectifs d'apprentissage fixés par l'enseignant. La fiche de TP permet, le plus souvent, de prévoir les actions des élèves et de comprendre le travail sur les mesures qui leur est demandé. Elle permet d'avoir une première approche de la démarche, mais on n'y trouve pas les justifications des choix qui ont été faits par l'enseignant.

Ces entretiens préalables doivent amener l'enseignant à expliquer l'élaboration de la séance de TP, à expliciter ses choix, à indiquer ses prévisions quant au déroulement et aux résultats, c'est à dire qu'ils doivent permettre à l'enseignant de développer sa propre analyse a priori de la séquence. Pour notre recherche, les réponses de l'enseignant devraient nous renseigner sur le milieu qu'il a construit pour les élèves et sur son fonctionnement prévu.

Q1. Les objectifs d'apprentissage que l'enseignant assigne à ce TP

- Selon les fiches étudiées des objectifs pour la séance peuvent être annoncés (parfois nombreux) ou pas. Cette question propose donc à l'enseignant de définir les objectifs prioritaires pour le TP.

Q2. La place du TP dans la progression

- Comment s'inscrit ce TP dans le programme ?
- Quelle place occupe-t-il dans la progression ? avant le cours ? après le cours ? quelle est alors sa fonction dans la progression ?

Q3. Les activités des élèves et les résultats attendus

- Décrire les activités des élèves qui sont programmées.
- Indiquer les connaissances théoriques des élèves supposées acquises qui interviennent
- Préciser les connaissances de savoir-faire des élèves qui sont prises en compte dans ce TP
- Décrire les résultats attendus.

Q4. La prise en compte de l'apprentissage

- Quelles sont les difficultés attendues ?

Q5. La démarche expérimentale mise en œuvre

- Quelle est la démarche choisie (vérifications d'une « loi », comparaison à un modèle..., recherche d'une relation de dépendances, description mathématique...)?
- Quels sont les choix des conditions expérimentales pour les mesures (montages, paramètres, appareils de mesure...)?
- Quels sont les résultats attendus ? allure satisfaisante pour la courbe, vérification "à l'œil", écart relatif, .. ?
- Quels sont critères pour juger que les résultats obtenus par les élèves sont satisfaisants ?
- Quelles sont difficultés sont attendues ?
- Si des moyens informatisés sont utilisés, qu'est-ce qui justifie leur emploi ? quels avantages et quels inconvénients apportent-ils ?

Q6. Le déroulement prévu

- Les élèves découvrent-ils l'activité ou étaient-ils avertis et avaient-ils à la préparer (cours à apprendre...)?
- Les élèves peuvent-ils travailler avec documents ?
- Quelles sont les interventions communes prévues ? les interventions auprès des groupes ? quels groupes particuliers, sur quel sujet, pour quelle activité ?
- Quels sont les contrôles des activités prévus pendant le TP ?
- La mise en commun de résultats est-elle prévue dans la séquence ? ou le travail est-il fait exclusivement par groupe de 2 ?
- Quelle est la prévision de durées des différentes activités ?
- Quelle est la partie du travail qui doit être traitée par tous, les questions supplémentaires prévues pour les rapides ?

Q7. L'évaluation du travail des élèves

- Le travail expérimental est-il évalué ? le compte rendu est-il évalué ? quelle partie ?
- Quels sont les critères pour la notation ?

Q8. Les sources utilisées par l'enseignant pour élaborer le TP

- Le TP a-t-il déjà été fait plusieurs fois ? modifié ? où ? pourquoi ?
- Le TP a-t-il été préparé à plusieurs ? y a-t-il eu un compromis sur les démarches ?
- Si le TP est nouveau : quelles sont les sources utilisées ? quelles sont les modifications apportées à la version originale ?

Ces questions (regroupées par thème) ont servi de trame pour l'entretien préalable qui est mené **en s'appuyant sur la fiche rédigée par l'enseignant**. Selon les cas, les différentes questions n'ont pas été posées dans l'ordre indiqué ci-dessus, et parfois, les réponses ont été fournies directement par l'enseignant sans qu'une question explicite n'ait été posée.

On peut noter que les questions posées aux enseignants portent essentiellement sur la planification des activités et les prévisions. En effet, une des difficultés de ces entretiens préalables a été de poser des questions qui n'induisaient pas une réponse fabriquée pour la circonstance, c'est-à-dire que certaines "raisons" qui ont prévalu lors de l'élaboration de la séquence ont pu n'être qu'implicites, il s'agit alors de ne pas faire expliciter artificiellement des arguments qui ne l'étaient pas. La part d'implicite doit être prise en compte et distinguée de l'explicite, de l'argument. C'est pour cela que nous avons posé des questions sur la planification, sur les comportements, attitudes, activités et résultats attendus et non sur les raisons.

3.2.3. Les entretiens après la séance de TP

Ces entretiens, eux aussi semi-directifs, ont pour objectifs :

- de faire expliquer par l'enseignant les écarts entre le déroulement attendu et le déroulement réel, entre les résultats attendus et les résultats obtenus ;
- d'obtenir des indications sur les interventions de l'enseignant dans des situations qui sont apparues problématiques ;
- de demander des prévisions sur des modifications du scénario pour tenir compte des difficultés rencontrées ;
- de poser les questions qui auraient pu modifier le déroulement prévu du TP (ou les interventions) comme : "tu aurais pu ne pas leur donner le schéma,... mais leur poser des questions sur...."

Ces entretiens s'appuient donc, à la fois sur l'observation de la séance et sur une première "lecture" des copies rendues à la fin de la séance par les élèves.

3.2.4. L'entretien final

L'objectif de l'entretien final réalisé avec chaque enseignant est d'amener celui-ci à préciser sa pratique d'enseignement et ses choix concernant les activités expérimentales quantitatives sur un plan plus général. Nous avons ainsi élaboré un jeu de questions autour de ces activités pour repérer :

- la part des expériences qualitatives et semi-quantitatives par rapport aux expériences quantitatives dans les classes scientifiques,
- la répartition de ces expériences entre les TP et les cours : expériences quantitatives en TP ? expériences qualitatives en cours ? quelles justifications ?
- les critères de choix pour une expérience de cours, pour une expérience réalisée par les élèves en TP ?
- les différentes fonctions que les enseignants attribuent aux expériences quantitatives (preuve, fonctionnement de la science, rigueur scientifique...) et les différentes fonctions qu'ils attribuent aux

expériences quantitatives faites en TP par les élèves eux-mêmes.

De l'entretien devrait émerger les conceptions des enseignants interviewés sur les sciences expérimentales, l'apprentissage et particulièrement l'apprentissage en sciences expérimentales.

Nous retrouvons ici le questionnement de chercheurs en didactique sur les conceptions des enseignants concernant les sciences physiques et leur enseignement (Désautels et al., 1996 ; Gil-Perez et al., 1996) ; Guilbert et al., 1993 ; Lakin et al., 1994 ; Robardet, 1995), pour ne citer que les travaux récents).

Nous avons construit une grille pour l'entretien reprenant les questions soulevées ci-dessus.

Expériences de cours
<i>Les expériences de cours sont-elles nombreuses ? fréquentes ?</i>
Exemples en classe scientifique
Exemples en seconde
<i>Sont-elles quantitatives ? donner deux exemples.</i>
<i>Qualitatives ? semi-quantitatives ? donner deux exemples</i>
Reprendre un exemple d'expérience quantitative : <i>à quoi sert-elle pour le cours ? pour les élèves ?</i>
<i>Pourquoi en cours et pas en TP ?</i>
Reprendre un exemple d'expérience qualitative : <i>à quoi sert-elle pour le cours ? pour les élèves ?</i>
<i>Pourquoi en cours et pas en TP ?</i>

Expériences en TP
<i>Faites-vous dans les classes scientifiques des TP de physique qualitatifs ou semi quantitatifs ? une partie du TP ? exemples.</i>
<i>Faites-vous en seconde des TP de physique qualitatifs ou semi quantitatifs ? exemples</i>
<i>Faites-vous des TP de physique en classes scientifiques plutôt quantitatifs ? exemples.</i>

Nous avons ensuite présenté à l'enseignant interrogé une liste d'objectifs extraite de textes présentant un statut institutionnel : "Les travaux pratiques, leur mise en œuvre et leur évaluation " publié par le groupe Physique-Chimie de l'Inspection Générale de l'Éducation Nationale (IGEN, 1998) et sur l'article de M. Giuseppin "Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques" (1996)

Objectifs des TP
Liste d'objectifs de TP sélectionnés dans des textes de l'Inspection Générale, dans des articles sur les TP :
<ul style="list-style-type: none"> • mettre en évidence un phénomène ; • prédire un résultat, un phénomène ; • vérifier une loi ; • tester un modèle (validité, limites) ; • prendre conscience, grâce à une pratique réfléchie, des questions relatives à la mesure, à la précision de la mesure, aux sens à donner aux résultats d'un mesurage ;

- acquérir la connaissance d'ordres de grandeur ;
- s'initier, dans des situations concrètes, à la démarche expérimentale : formuler une hypothèse, élaborer un protocole permettant de la tester, mettre en œuvre un protocole expérimental, analyser les résultats, tirer les conclusions (tout ou partie).

Dans cette liste présentée aux enseignants, n'apparaissent pas, volontairement, les objectifs comme "apprendre des connaissances", "aider à la conceptualisation", le terme de "concrétisation". Nous souhaitons savoir si l'enseignant repère spontanément ces absences et nous pensons recueillir ainsi une indication sur les objectifs d'apprentissage qu'il affecte aux TP. Parallèlement, nous avons choisi de faire figurer l'item "prédire un résultat, un phénomène" car cette démarche apparaît très peu usitée dans l'enseignement et peut renvoyer une vision de l'enseignant sur le fonctionnement de la science. Nous nous sommes appuyés sur cette "liste d'objectifs" pour poser aux enseignants les questions suivantes :

<i>Faites vous faire à vos élèves un ou plusieurs TP qui correspondrait à chacun des objectifs de la liste ? exemple avec description</i>
<i>Jamais certains objectifs lesquels ? pourquoi ?</i>
<i>Souvent, régulièrement certains objectifs lesquels ? pourquoi ?</i>
<i>Objectifs que vous trouvez particulièrement importants dans la liste pour des élèves <u>scientifiques</u> ?</i>
<i>Autres objectifs importants, spécifiques aux TP qui ne sont pas cités ?</i>
<i>Aider à apprendre de nouvelles connaissances ? (proposer éventuellement)</i>
<i>Comment choisissez-vous les expériences pour aider les élèves à apprendre ? les aider à conceptualiser ?</i>
<i>Comment choisissez-vous les activités pour aider les élèves à apprendre ?</i>
<i>pourquoi peu ou pas de TP qualitatifs ?(éventuellement) quelles difficultés particulières présentent-ils ? quels intérêts ?</i>
<i>qu'est-ce qui est particulièrement intéressant pour les élèves dans les activités de prise de mesure et d'exploitation ?</i>
<i>pour l'enseignant ?</i>

Pour éviter que l'entretien n'amène qu'à des considérations très (trop) générales nous nous sommes appuyés le plus systématiquement possible sur des exemples de situations de première S ou terminale S.

3.3. L'observation des séances de travaux pratiques

3.3.1. Les données à recueillir

Par l'observation des séances de TP, nous ne cherchons pas à décrire et analyser finement les

activités des élèves. Notre objectif est d'étudier si le milieu construit par l'enseignant "fonctionne" avec les élèves selon les prévisions détaillées lors de l'entretien préalable.

Il s'agit alors pour nous de relever les indices :

- sur la concordance et les écarts entre la planification et le déroulement réel,
- sur les difficultés rencontrées par les élèves et le professeur,
- sur la nature des interventions de l'enseignant auprès des élèves (aide technique, apport de connaissances, médiation, solution du problème posé...).

3.3.2. Les conditions de l'observation

Nous avons observé un groupe constitué d'une demi classe (les mêmes élèves pour les trois sujets de travaux pratiques). Nous avons fait le choix, en accord avec notre problématique, d'observer le fonctionnement "habituel" d'une "classe ordinaire". Il s'agit alors pour nous de minimiser les modifications de comportements, d'activités liés à la présence d'un observateur étranger à la classe (Comiti et al., 1994; Postic et al, 1988). Aussi, en accord avec les enseignants, nous ne sommes pas intervenu auprès des élèves pendant la séance et nous avons fait le choix d'un dispositif d'enregistrement et d'observation le plus discret possible.

Les échanges de l'enseignant avec ses élèves ont été enregistrés pendant la séance de TP au moyen d'un magnétophone "de poche" avec micro-cravate porté par l'enseignant, ce qui permet de recueillir, avec un dispositif léger et discret à la fois, toutes les interventions de l'enseignant devant toute la classe et les discussions entre l'enseignant et les différents binômes. Toutefois, les interventions publiques des élèves sont souvent difficilement audibles lors de l'écoute de l'enregistrement.

Parallèlement, nous avons fait un relevé horaire de l'état d'avancement des travaux de chaque binôme pendant la séance et nous avons noté, dans cette grille horaire, le numéro des groupes auprès desquels intervenait l'enseignant. Nous pouvons ainsi lors de la transcription de cet enregistrement, repérer précisément les groupes d'élèves avec lesquels l'enseignante est en interaction. Nous avons également essayé de repérer les difficultés techniques auxquelles les élèves et l'enseignant ont été confrontés (l'enregistrement des discussions permet de recouper les observations).

3.3.3. Les différents corpus recueillis pendant la séance

Pour chaque séance de travaux pratiques nous avons :

- transcrit partiellement l'enregistrement,
- renseigné la grille d'observation,
- relevé et photocopié les documents de chaque dyade (ou triade) d'élèves immédiatement à la fin de la séance (sauf pour les élèves de la classe de l'enseignante P4 qui n'ont jamais terminé leur travail pendant l'heure et demie du TP ; le professeur a relevé les copies quelques jours plus tard, les a corrigées puis photocopiées).

A.4. PRESENTATION DU CORPUS

Comme nous l'avons précisé au-dessus notre corpus est constitué d'un ensemble d'enregistrements (interviews des enseignants, échanges entre l'enseignant et les élèves pendant la séance de travaux pratiques) et d'un ensemble de documents (fiches de travaux pratiques élaborées par les enseignants, comptes rendus d'observations concernant le déroulement pédagogique, copies des travaux des élèves, fichiers informatiques contenant les résultats des mesures des élèves) obtenus avec quatre enseignants. Nous avons observé, interviewé deux jeunes professeurs qui enseignaient pour la première fois de leur carrière dans une classe scientifique (P1 et P3), et deux enseignantes confirmées (P2 et P4) qui, elles aussi découvraient le programme en vigueur pour la classe de première S, mais avaient enseigné régulièrement dans les classes scientifiques du lycée..

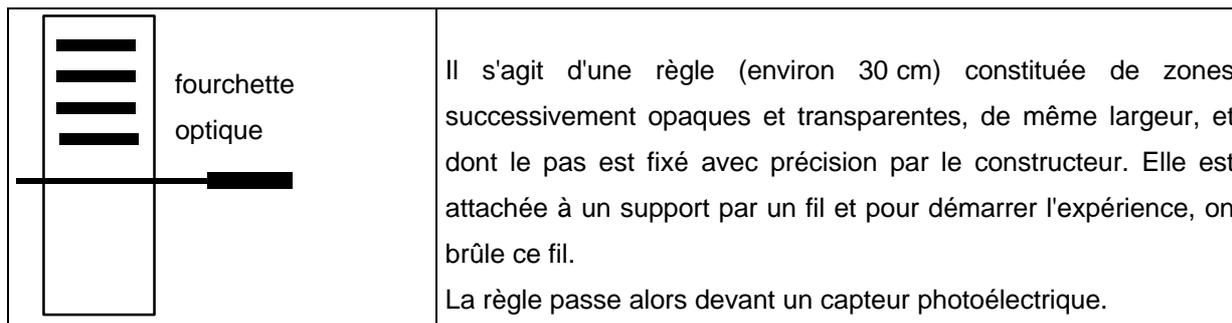
Toutefois, dans le cadre du travail qui suit, nous n'étudierons que les corpus relevés auprès des enseignantes P2 et P4. En effet, l'enseignant P1 n'a réalisé avec ses élèves que deux des trois séances de travaux pratiques prévues en début d'année (la chute libre et les mesures calorimétriques) et ces séances ne présentaient pas les caractéristiques "habituelles" des travaux pratiques : l'étude de la chute libre a été faite sans que les élèves manipulent et l'analyse des résultats des mesures obtenues par l'enseignant a été réalisée sous sa conduite. De plus, la séance consacrée aux mesures calorimétriques a pris la forme d'une évaluation. Pour ce qui concerne l'enseignant P3, il a effectivement programmé et fait réaliser par ses élèves les trois séances de travaux pratiques prévues mais, pour ce travail de thèse centré sur les explications, justifications que donnent les enseignants de leur pratique, il n'a pas pu ou su, le plus souvent, apporter son argumentation, préciser ses choix : dans ce qui correspond pour lui à une première approche, les situations expérimentales qu'il a fait mettre en œuvre font simplement référence à celles de fiches déjà construites (par d'autres collègues ou dans les manuels). On peut relever toutefois que les corpus des professeurs P1 et P3 présentent un intérêt certain pour étudier par exemple les difficultés rencontrées par des enseignants novices dans l'élaboration, la structuration de leur enseignement ou la construction de leurs références professionnelles, mais ceci relève d'une problématique qui n'est pas la nôtre ici.

Avant de préciser les traitements que nous avons réalisés sur nos différents enregistrements et le mode d'emploi pour leur repérage, nous nous proposons de donner un premier aperçu en nous appuyant sur les fiches de travaux pratiques rédigées par les enseignantes, des situations expérimentales qu'elles ont programmées.

4.1. Les situations expérimentales étudiées

4.1.1. La chute libre d'un corps (enseignant P2) (annexe 1)

Le matériel proposé aux élèves pour l'étude de la chute est un matériel dédié à l'étude des mouvements rectilignes, (ici adapté pour la chute verticale) : Magnum (Micarelec). Le système d'acquisition et de traitement est informatisé (logiciels Magnum et Regressi de Micarelec).



Le logiciel permet de déterminer la position du mobile en comptant le nombre de traits qui passent devant le faisceau infra-rouge et en relevant les dates de passage des traits. Il permet de choisir entre une mesure en "dates d'occultation" ou en "vitesses" (la détermination étant calculée à partir des dates de deux occultations successives).

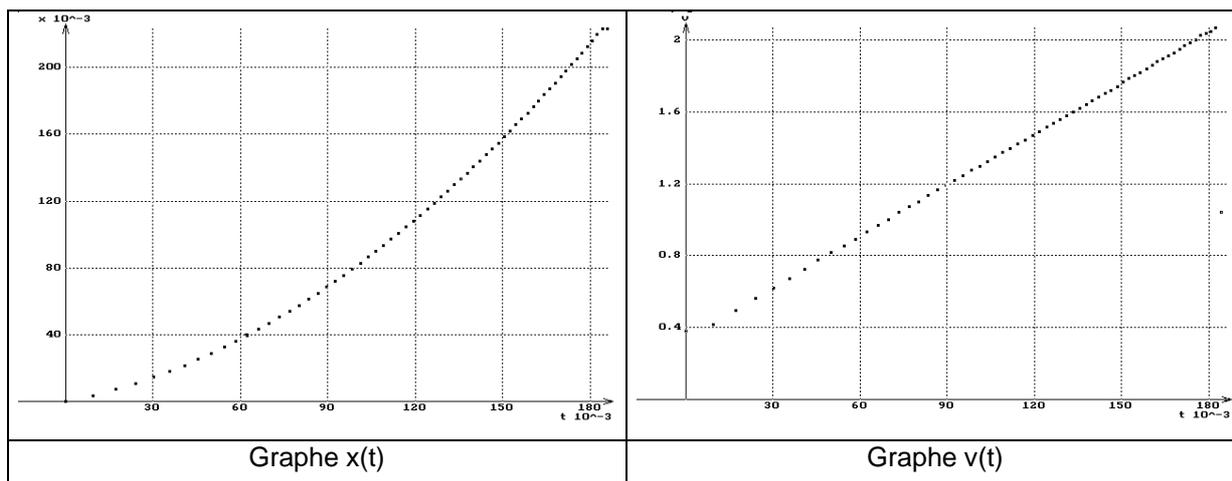
Après avoir réalisé l'acquisition des mesures, les élèves sauvegardent leurs résultats dans un fichier qu'ils exploitent ensuite avec le logiciel Regressi.

Extrait d'un tableau de mesures recueilli :

x	V	t
m	m.s-1	s
0	377.99m	0
3.6000m	415.89m	9.5241m
7.2000m	495.44m	17.312m
10.800m	563.47m	24.057m
...

Remarque : le symbole m désigne ici 10^{-3}

Exemples de graphes des points expérimentaux que les élèves doivent obtenir et exploiter :



4.1.2. Étude de la chute libre (enseignant P4) (annexe 2)

Pour cette séance de travaux pratiques, l'enseignante propose 3 dispositifs :

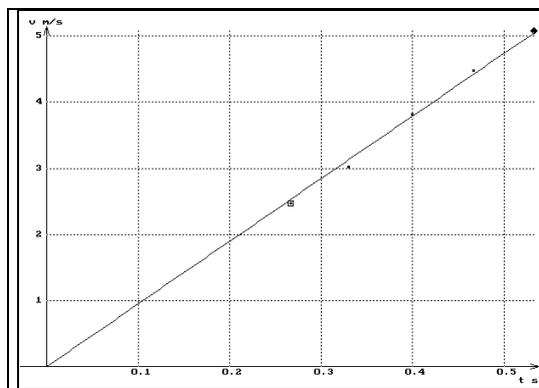
- une chronophotographie d'une chute verticale d'une bille,
- un appareil dédié formé d'une potence et d'un chronomètre "dont le déclenchement et l'arrêt sont commandés respectivement par le début et la fin de la chute" d'une bille,
- un appareil dédié appelé "obus de Lefèbvre" ou "machine de Lefèbvre".

La chronophotographie :

	<p>Les élèves disposent de la reproduction d'une chronophotographie de la chute d'une bille (schématisée ci-contre).</p> <p>Le document présente en fait la chronophotographie de la bille se déplaçant devant une règle graduée et, en parallèle, la représentation dessinée des positions successives de la bille ; s'y ajoutent les dénivellations à l'échelle 1 des positions numérotées 7, 9, 11, 13, 15 et 17 à partir d'une origine O fixée près du point de départ, l'indication des dates correspondantes $t_7, t_9 \dots$ ainsi que la valeur de l'intervalle de temps qui sépare chaque photographie : $\tau = 1/30s$ (annexe 2).</p>
--	--

En utilisant les valeurs données, les élèves doivent calculer les valeurs des vitesses "instantanées" aux dates intermédiaires $t_8, t_{10}, t_{12}, t_{14}$ et t_{16} comme la valeur de la vitesse moyenne entre les deux positions voisines, soit par exemple $v_8 = (x_9 - x_7) / 2\tau$. Ils obtiennent alors le tableau de valeurs suivant :

N°	8	10	12	14	16
t en s	0,267	0,330	0,400	0,467	0,533
V en m.s ⁻¹	2,47	3,15	3,81	4,48	5,08



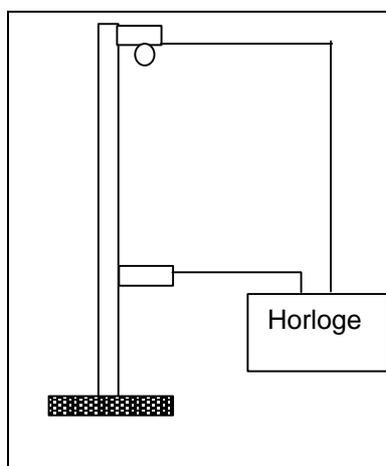
Vitesse v de la bille en fonction de la date t

Superposition des points expérimentaux et du modèle linéaire $v = a \cdot t$ optimisé

Résultat affiché pour le coefficient optimisé :

$$a = 9,5 \text{ m.s}^{-2}$$

La potence, le chronomètre et la bille



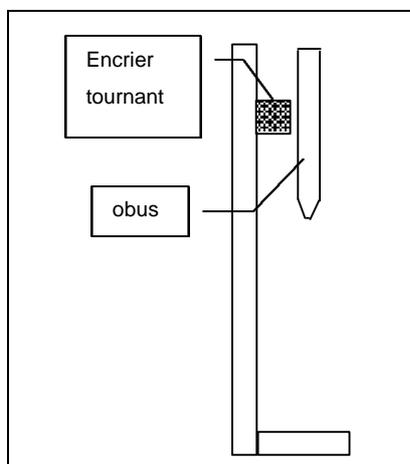
Une bille en acier, maintenue en position haute par un électroaimant, tombe dans un godet dont elle fait basculer le clapet de fermeture. (voir schéma de principe ci-contre).

L'ouverture de l'électroaimant déclenche le démarrage d'une horloge (mécanique) et la bascule du clapet provoque son arrêt.

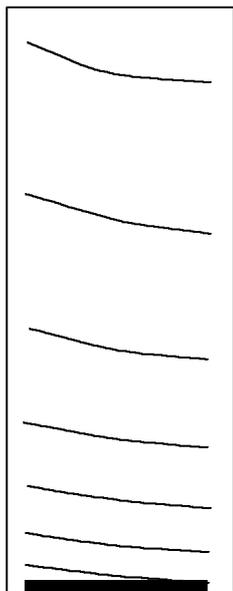
Ce système permet de mesurer les durées de chute de la bille partant sans vitesse initiale, pour des hauteurs de chute différentes (la position du godet peut être repérée sur le support gradué)

L'obus de Lefèbvre

Cet appareil dédié, traditionnellement présent dans les laboratoires de lycée, n'est plus présenté dans les manuels de physique de lycée.



On fixe une feuille de papier parallèlement à l'axe de l'obus (cylindre lourd). Un encrier tournant à la vitesse constante de 3000 tr.min^{-1} , envoie un jet d'encre sur la feuille de papier. L'obus, initialement en position haute, tombe devant l'encrier tournant. Pendant sa chute, il s'inscrit sur la feuille un ensemble de lignes disjointes formant un réseau. (voir schéma de principe ci-contre).



Sur l'enregistrement obtenu, (schématisé ci-contre), il est possible de réaliser le même travail que sur une chronophotographie, c'est à dire :

- mesurer différentes hauteurs de chute (sur une même verticale) à l'échelle 1,
- mesurer des durées (la vitesse de rotation de l'encrier étant supposée constante entre deux traits successifs il s'écoule 1/50s)
- calculer les valeurs de vitesses "instantanées" pour les points d'une même verticale (vitesse moyenne entre les deux traits voisins).

Remarque : les différents traits d'encre sont superposés au début de la chute, la date $t = 0$ ne peut être choisie à l'instant de départ de la chute de l'obus.

4.1.3. Mesures calorimétriques (enseignant P2) (annexe 3)

Les élèves doivent déterminer la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace et la comparer à la valeur tabulée.

Chaque groupe d'élèves dispose d'un calorimètre standard de TP dont la capacité thermique massique a été évaluée lors d'un TP précédent à $K = 300\text{J.kg}^{-1}$, de deux thermomètres à mercure (-10°C , 110°C et -5°C , 35°C) le premier au degré et le second au 1/5 de degré, d'une éprouvette graduée de 250 mL et d'un verre à pied gradué.

Une balance électronique au décigramme, des glaçons en cours de fusion, de l'eau à la température ambiante et du papier absorbant sont à la disposition de l'ensemble de la classe.

Pour réaliser l'expérience en suivant les consignes de la fiche, les élèves doivent :

- déterminer la masse de l'eau contenue dans le calorimètre,
- déterminer la masse de glace qu'ils ajoutent dans l'eau,
- relever la température de l'eau avant l'ajout du glaçon et après lorsque l'équilibre thermique est atteint dans le calorimètre.

4.1.4. TP calorimétrie (enseignant P4) (annexe 4)

Pour constituer le dossier qui leur est demandé, les élèves doivent chauffer du pentane contenu dans un tube à essai et obtenir le graphe montrant l'évolution de la température du composé pendant sa phase liquide et pendant sa vaporisation sous la pression atmosphérique.

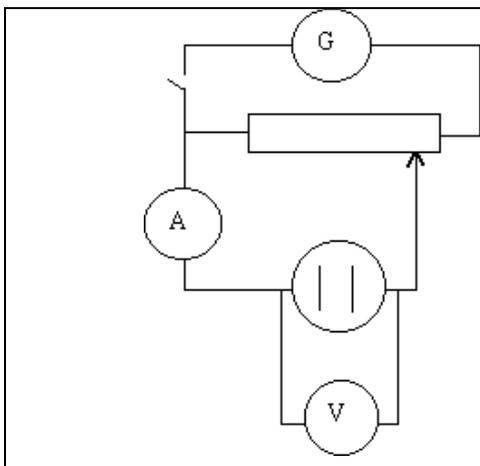
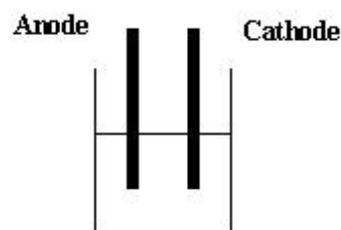
L'enseignante attend qu'ils exploitent le graphe de la température en fonction du temps qu'ils doivent obtenir en interprétant le "palier" de température correspondant au changement d'état.

Outre le matériel de laboratoire classique nécessaire à la réalisation de l'expérience (plaque électrique chauffante, récipients divers, thermomètre utilisable de -50 à +150 °C), ils disposent pour réaliser les mesures d'une sonde de température (utilisable de - 40 à +50°C) reliée à l'interface (ORPHY, Micrelec) d'un ordinateur.

4.1.5. Étude d'un récepteur électrique (enseignant P2) (annexe 5)

L'expérience qui sert de support au travail des élèves est un montage électrique, en courant continu, comprenant un électrolyseur à sulfate de cuivre.

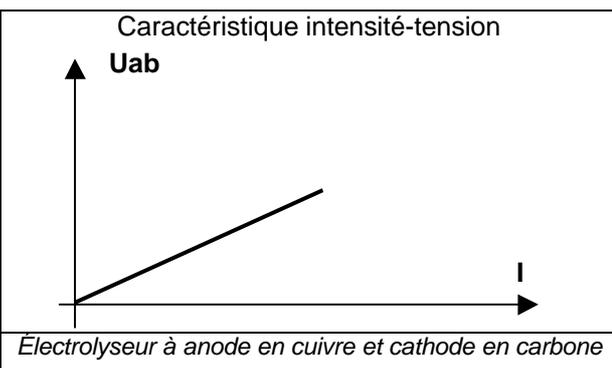
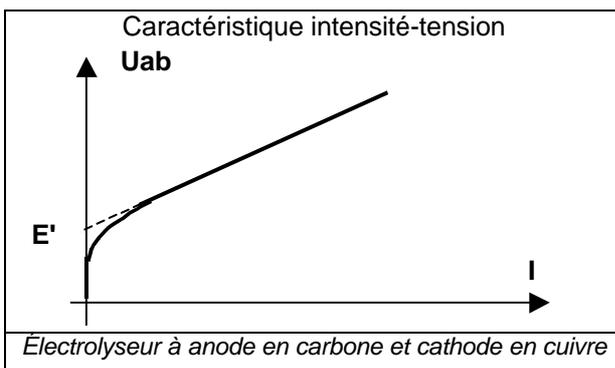
L'électrolyseur est constitué d'un récipient cylindrique (genre béccher) contenant l'électrolyte (solution aqueuse de sulfate de cuivre(II)). Les électrodes sont reliées au circuit par des pinces crocodiles et simplement posées dans le récipient. Dans une première expérience, l'anode est en charbon et la cathode est en cuivre ; dans une deuxième expérience, les élèves doivent intervertir les électrodes et l'électrolyseur a, alors, l'anode en cuivre et la cathode en charbon.



Les élèves doivent réaliser le montage électrique schématisé ci-contre :

Un montage potentiométrique permet de fait varier la tension aux bornes du récepteur. Les élèves peuvent alors mesurer les valeurs prises par l'intensité I du courant quand ils donnent différentes valeurs à la tension U_{ab} aux bornes de l'électrolyseur.

L'analyse des données expérimentales est réalisée par les élèves à travers l'étude des caractéristiques intensité - tension des électrolyseurs.



Pour le premier électrolyseur il existe une tension seuil en dessous de laquelle l'électrolyse n'a pratiquement pas lieu. Quand la tension U_{ab} est supérieure à cette tension seuil on peut observer, selon les conditions expérimentales, un dégagement gazeux de dioxygène à l'anode (en graphite) et un dépôt de cuivre sur la cathode en cuivre.

Pour cet électrolyseur, la caractéristique intensité - tension peut être modélisée par une fonction affine sur une partie du domaine, en relation avec la loi d'Ohm : $U_{ab} = E' + r'.I$ (où E' représente la force contre électromotrice de ce récepteur et r' sa résistance interne).

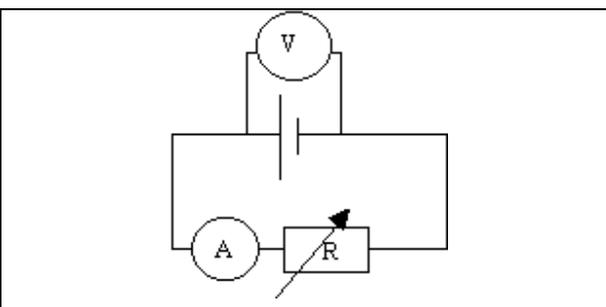
Pour l'électrolyse à anode en cuivre (dite à anode soluble) il se produit un dépôt de cuivre sur la cathode et une "disparition" du cuivre de l'anode ; la tension seuil est nulle ici. La fcm de ce récepteur est alors nulle.

4.1.6. Caractéristiques intensité - tension d'un générateur et d'un récepteur (P4) (annexe 6)

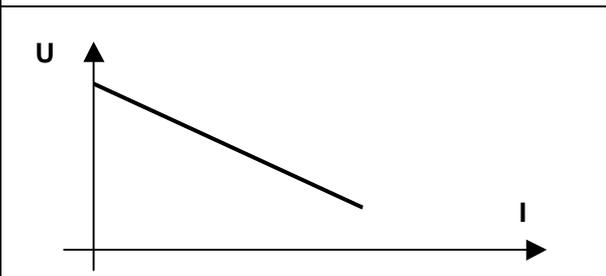
Trois expériences permettant de tracer des caractéristiques de récepteur ou de générateur sont proposées aux élèves.

Étude d'une "pile"

Pour réaliser le montage schématisé ci-contre les élèves disposent d'un "boîtier - pile" contenant une pile de 1,5 V et une résistance montée en série de 100Ω , et d'une plaquette "résistance" comportant plusieurs résistances montées en série (faisant office de résistance réglable).



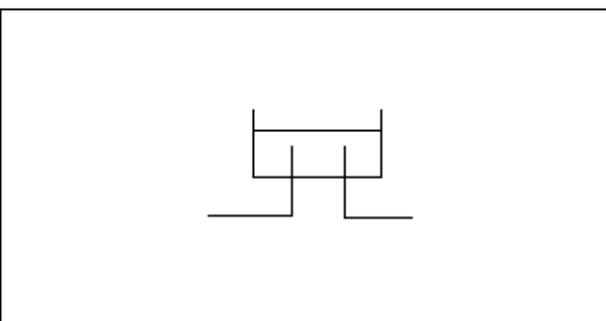
Compte tenu de la constitution du "boîtier pile", la caractéristique intensité - tension a une pente accentuée dans le domaine étudié. Par ailleurs, les élèves ne peuvent pas choisir les points de mesure qui sont imposés par la plaquette "résistance".



Étude d'un électrolyseur

L'électrolyseur dont on étudie la caractéristique intensité - tension a des électrodes en nickel (électrodes inattaquables) et contient de l'acide sulfurique.

La distance entre les électrodes reste constante par construction.



<p>Le générateur du commerce utilisé pour réaliser le montage ci-contre a une tension de sortie réglable. Les élèves disposent ainsi de deux réglages possibles de la tension U_{ab} aux bornes de l'électrolyseur : aux niveaux du générateur et du rhéostat.</p>	
<p>La caractéristique attendue est représentée ci-contre</p>	

Étude d'un moteur qui ne tourne pas

Le montage d'étude est analogue à celui de l'électrolyseur.

Le moteur à courant continu ne commence à tourner qu'à partir de 0,5 V environ. Les élèves devront donc faire un nombre suffisant de mesures pour une tension aux bornes du moteur comprise entre 0 et 0,5 V.

Remarque : l'étude est celle du moteur quand il ne tourne pas. La caractéristique attendue est, pour ce domaine d'étude, linéaire.

4.2. Le corpus des différents entretiens et enregistrements

4.2.1. Les entretiens

Nous avons transcrit dans leur intégralité l'ensemble des entretiens réalisés avec les deux enseignantes :

- entretiens avant chaque séance de travaux pratiques
- entretiens après chaque séance
- entretien final.

Nous avons mis en forme l'ensemble des entretiens faits avant les séances de TP en repérant et numérotant chaque prise de parole.

8	donc avec cette histoire de vacances bizarres là, il se trouve que ma leçon sur les récepteurs a été faite avant, donc les élèves savent ce qu'est la fcm, la résistance interne et // le rendement énergétique on l'a défini. Ce qui fait que par rapport à un TP découverte, du récepteur, je voulais évaluer aussi leur travail, enfin un petit peu de ce qu'ils avaient retenu de mon petit chapitre, de ce que j'ai fait en leçon. C'est pour ça qu'au départ, si tu veux, alors les objectifs classiques : montage électrique, le réaliser, manipulation, si tu veux, électrique, tracé de caractéristiques et puis bon ben, étude de cette caractéristique, à ces deux objectifs classiques c'est rajouté l'histoire des rendements énergétiques, parce que je voulais voir s'ils avaient un peu bossé, s'ils avaient un recul par rapport à ce qu'on avait fait, tu vois (?). C'est pour ça que la dernière ligne là, elle y était pas, je l'ai rajoutée
9	<i>tu l'as rajoutée pour donc</i>
10	pour voir un peu, parce que je compte relever, je suis pas du tout sûr de noter, d'évaluer parce que c'est pas évident, par contre je vais relever leur compte-rendu pour voir un peu ce que ça donne
11	<i>alors dans ton TP les objectifs qui doivent être atteints contre vents et marées c'est quoi (?)</i>
12	hé ben c'est concevoir le montage électrique, c'est à dire je leur ai laissé de la place pour le dessiner, on a déjà travaillé là-dessus, voilà ; le réaliser, bon ça va avec, et puis bon tracer la caractéristique et puis arriver à me trouver l'équation de la droite de modélisation, voilà, d'accord (?)
13	<i>et puis les valeurs de r et de E</i>
14	E' et r'

4.2.2. Les observations et les échanges professeur / élèves pendant la séance de TP

Nous avons partiellement transcrit les dialogues entre les enseignantes et les élèves pendant les séances de travaux pratiques : nous n'avons reproduit qu'une fois les échanges qui se sont répétés. Les relevés des observations que nous avons faites pendant le déroulement de chaque séance nous permettent de préciser le groupe d'élèves qui discute avec l'enseignante.

Par contre, ainsi que nous l'avons déjà indiqué, il est très difficile de comprendre à l'écoute de l'enregistrement les questions ou les interventions des élèves placés loin de l'enseignante.

4.2.3. Les copies des élèves et les fichiers de mesure

Nous avons photocopié la copie remise à l'enseignante par chaque groupe d'élèves (ou une copie par groupe) et reporté sur la copie le numéro du groupe correspondant.

De même nous avons dupliqué les fichiers de mesures obtenus par des moyens informatiques afin de pouvoir les analyser avec les logiciels mis à disposition des élèves.

4.2.4. Le repérage des différents corpus

Pour préciser, dans le cours de l'analyse qui suivra, les entretiens ou les documents desquels nous extrayons des phrases, nous les repèrerons par le code indiqué dans le tableau ci-dessous :

	Chute libre		Mesures calorimétriques		Récepteurs, générateurs électriques	
	P2	P4	P2	P4	P2	P4
Entretien avant le TP	E1	E2	E3	E4	E5	E6
Entretien après le TP	E'1	E'2	E'3	E'4	E'5	E'6
Observation / échanges pendant le TP	O1	O2	O3	O4	O5	O6
Copies des élèves	C1	C2	C3	C4	C5	C6

Les entretiens finaux sont codés F2 pour l'enseignant P2 et F4 pour l'enseignant P4.

Le repérage d'une réplique sera alors donné par le code de l'entretien suivi du numéro de la répartie ; ainsi pour l'extrait ci-dessus, la première intervention de l'enseignante P2 sera repérée par E5-8.

PARTIE B

**QUELS SONT LES ELEMENTS PRIS EN
COMPTE PAR LES ENSEIGNANTS POUR
CONSTRUIRE LE MILIEU DE L'ELEVE
EN TRAVAUX PRATIQUES ?**

B. QUELS SONT LES ELEMENTS PRIS EN COMPTE PAR LES ENSEIGNANTS POUR CONSTRUIRE LE MILIEU DE L'ELEVE EN TRAVAUX PRATIQUES ?

B.1. INTRODUCTION

Notre travail de recherche porte sur les expériences quantitatives que les enseignants font réaliser à leurs élèves dans les séances de travaux pratiques mais, comme nous l'avons souligné dans la partie précédente, ces activités ne forment pas un bloc indépendant des autres activités de l'élève, elles sont intégrées dans le travail prévu pour la séance (et peut-être pour plusieurs séances de cours et TP). En d'autres termes, si notre objectif est d'analyser le rôle effectif des activités quantitatives sur lesquelles sont centrés les TP, une première analyse doit être faite relativement à l'élaboration globale du TP.

Cette étude que nous présentons ici, repose sur l'analyse des entretiens dits "préalables" (qui se sont tenus avant chaque séance de travaux pratiques), l'étude des fiches de TP (constitutives du milieu) et les observations en séance.

Pour mener à bien l'analyse des entretiens et l'extraction des éléments pris en compte par l'enseignant dans l'élaboration des TP, nous avons dû construire une grille d'analyse. La construction de cette grille a été faite à partir de nos premiers entretiens et des entretiens que nous avons eus avec des enseignants de terminale S. Cette grille constitue un premier résultat et nous la présentons en tant que tel. C'est ce que nous expliquons dans la partie 2.1. ci-après, avant de présenter la grille finale et son mode d'emploi, pour, dans la partie 2.3. faire le bilan des analyses.

B.2. LA STRUCTURATION DES DIFFERENTS ELEMENTS

2.1. Élaboration de la grille d'analyse

Dans un premier temps, nous avons tenté de nous appuyer sur les grilles existantes. Des grilles anciennes telles que la grille pour l'évaluation de l'UNESCO (1976) et "A Trial List of Objectives of Experimental Work in Science Education (Hellingman, 1982) se sont avérées inadéquates car centrées sur la description des actions des élèves, et d'autres telles que la "MAP of the variety of labwork" (grille de caractérisation et d'analyse des travaux pratiques élaborée dans le cadre de la recherche LabWork in Science Education, Ref. ISBN 0-904-42191-0) s'est, inversement pourrait-on dire, avérée insuffisamment fine.

Partant de cette dernière nous avons dans un premier temps distingué :

- les objectifs d'apprentissage de l'enseignant (apprentissages de contenus, de méthodes)
- les activités programmées (que doivent faire les étudiants avec les objets ? les observables ? sur le plan des idées ? ...)

Mais l'application aux travaux pratiques que nous avons étudiés conduit à considérer que, sous le vocable "objectif" se trouve regroupé un ensemble très hétérogène. Ainsi, par exemple, dans les différents textes publiés par le groupe Physique-Chimie de l'Inspection Générale (IGEN, 1998), on découvre des objectifs nommés « disciplinaires majeurs » comme :

- *prédire un phénomène, un résultat expérimental ;*
- *acquérir la connaissance d'ordres de grandeurs ;*
- *choisir des grandeurs à mesurer, décider des valeurs des paramètres...*

et des objectifs de « service disciplinaires », tels que :

« de manière générale, tout ce qui permet de concrétiser les situations abordées en cours, en complétant une activité purement intellectuelle par une pratique mettant en jeu le geste, la vue, le corps. »

Les enseignants, quant à eux, indiquent (dans les entretiens et parfois sur la fiche de TP les objectifs tels que « *Concevoir un montage électrique pour tracer une caractéristique* », « *Réaliser ce montage* », énoncés qu'il convient de qualifier de "but de la manipulation pour l'élève" (Larcher et al., 1999 ; p9 et serveur de l'académie de Nancy Metz).

Certains de ces "objectifs" correspondent donc à la planification d'une activité des élèves comme "prédire un phénomène", "concevoir et réaliser un montage", "choisir", "décider"...(ce que les élèves auront à réaliser), d'autres correspondent effectivement à des objectifs d'apprentissage comme "acquérir la connaissance d'ordre de grandeurs", ou à des objectifs autres comme "développer le souci de la précision", "concrétiser les situations abordées en cours" c'est à dire à des raisons ou choix d'enseignement.

Pour ce qui concerne les activités planifiées, les questions que nous avons posées aux enseignants ont précisément porté sur les activités qu'ils ont programmées pour leurs élèves, et sur les activités qu'ils prévoient pour eux-mêmes. Les enseignants développent ce thème sans réticence, avec précision. D'une manière générale, si la planification des activités et productions des élèves ne fait aucun doute dans la pratique générale des enseignants (Tochon, 1989), elle est encore plus visible dans le cadre des activités expérimentales de travaux pratiques puisque fréquemment des fiches d'activités (ou fiches de TP) sont distribuées aux élèves. Les enseignants interrogés ont élaboré, créé de telles fiches pour leurs élèves, et une première lecture rend compte d'une planification précise des activités mais aussi des productions des élèves :

« faire le schéma du montage, [...], réaliser le montage, [...] »

« vérifier que sa partie inférieure est bien placée dans la fourchette optique »

« vous réaliserez en priorité l'expérience informatisée et vous ne ferez l'expérience non informatisée que s'il vous reste du temps ».

« le compte-rendu devra comporter en particulier les réponses aux questions posées, la présentation des expériences... »

« tracer la courbe $U_{PN} = f(I)$... »

S'il nous apparaissait que la "programmation, planification des activités " était bien un thème d'analyse en cohérence à la fois avec nos questions sur le rôle "constructeur" de l'enseignant (Comiti et al., 1995) et avec les données que nous avons collectées, la planification des enseignants va bien au-delà de celle des activités des élèves pendant la séance de TP : elle englobe également les productions des élèves, les activités propres de l'enseignant pendant la séance et aussi une programmation sur une échelle de temps plus longue.

Dans le cadre de la transposition, telle que nous l'avons précédemment envisagée, notre hypothèse était que les enseignants procédaient à des choix et que ceux-ci étaient justifiés par différentes raisons, en particulier la référence à des "critères de scientificité" (appareils, méthodes, démarches). Il était donc essentiel dans notre travail de considérer une troisième rubrique concernant les raisons des choix faits par l'enseignant.

Pour cette rubrique, nous avons alors travaillé dans un premier temps à une structuration autour des conceptions des enseignants sur le fonctionnement de la science, sur l'apprentissage et l'enseignement en physique (Johsua et al. 1993 ; Robardet, 1995). Une première analyse des entretiens a fait d'emblée apparaître des raisons multiples et variées, telles que :

- *« pour finir le programme »*
- *« mais je voulais montrer que l'on peut passer de l'un à l'autre (grandeurs mathématiques grandeurs physiques), que c'est pas des choses indépendantes »*
- *« mais j'ai trouvé quand même très intéressant que le moteur ne tourne pas, je pensais pas obtenir une droite et c'est ce que j'ai obtenu, donc je me suis dit ce serait bête de le laisser de côté. »*
- *« ce qui fait que par rapport à un TP découverte du récepteur, je voulais évaluer aussi leur travail, enfin un petit peu de ce qu'ils avaient retenu de mon premier chapitre, de ce que j'ai fait en leçon »*
- *« j'ai qu'une heure et demie »*
- *« parce que je suis pas sûre d'avoir tout le monde sur des ordinateurs »*
- *« donc je m'étais dit il faut qu'ils fassent quelque chose.....il faut absolument que les autres soient occupés »*
- *« Je pense que c'est important pour eux d'être capables de lire des choses un peu techniques, entre guillemets. »*

Très clairement, les références à des démarches scientifiques que nous attendions ne sont pas apparues spontanément pendant les entretiens expliquant la construction des séances de travaux pratiques, et par ailleurs l'articulation didactique / scientifique ne s'est pas manifestée non plus de façon explicite dans le discours des enseignants. La catégorisation des raisons fondée sur une articulation démarche didactique - démarche scientifique que nous avons d'abord testée, s'est révélée inopérante dans notre contexte. Une première analyse des entretiens a montré que lorsqu'un enseignant donne des raisons pour légitimer, expliquer ses choix, il n'explicite pas pour autant ses conceptions sur la science et ses méthodes et sur l'apprentissage. De fait, il n'a pas été possible de

déterminer objectivement ce qui pouvait relever des conceptions de l'enseignant. Si, discuter de ses choix est la pratique de la recherche, elle n'est pas *a priori* celle de l'enseignement !

Là encore, nous avons fait évoluer notre catégorisation vers une prise en compte de références à l'enseignement scientifique et de références à la gestion du groupe.

En résumé, nous avons été ainsi amenés à distinguer deux grands thèmes, eux-mêmes découpés en deux catégories :

- Thème 1 : La planification des activités et des productions des élèves, des activités de l'enseignant qui se décompose en deux sous-niveaux :
 - la planification globale
 - la planification interne au TP
- Thème 2 : les raisons de ces activités et productions, les choix faits par l'enseignant qui également se déclinent en
 - Raisons d'entreprise
 - Raisons d'enseignement.

Avant de détailler les items regroupés dans les différentes catégories, nous voulons insister sur le fait que, par rapport à l'idée d'une transposition, l'analyse des entretiens nous a amenés à un décentrage : les références à des activités scientifiques ne sont quasiment pas apparues dans les discours des enseignants, ce qui se traduit par le fait que la grille d'analyse finalement retenue n'indique plus de "raisons scientifiques" en tant que catégorie principale : ces raisons, si elles apparaissent peuvent être classées dans une sous catégorie des "raisons".

2.2. La grille d'analyse

Nous présentons ici le détail de la grille finalement retenue pour l'analyse des entretiens.

Les items de planification

Les entretiens ont fait apparaître des éléments de planification relatifs à la place du TP par rapport au programme de la classe (aspect institutionnel) et par rapport à la progression suivie par l'enseignant dans la classe particulière étudiée, que nous avons distingués des éléments de planification interne au TP. Dans cette dernière catégorie, nous avons en fait distingué différentes sous-catégories. En effet les problèmes d'organisation matérielle de la séquence (durée de chaque activité, déplacement des élèves sur les différents postes de montage,...) sont répertoriés par les enseignants et pris en compte pour la planification de la séance, et les activités des élèves, comme celles de l'enseignant, sont prévues. Par ailleurs, ce qui est également apparu comme incontournable dans les fiches de TP analysées et les séances observées sont la demande et l'attente d'une production écrite des élèves sous la forme de tableau, graphe, schéma et, ou compte-rendu), l'enseignant délimite ainsi la part publique (Mercier; 1995) du travail de l'élève, part qui sera éventuellement évaluée.

Nous obtenons le premier schéma pour l'analyse de la planification :

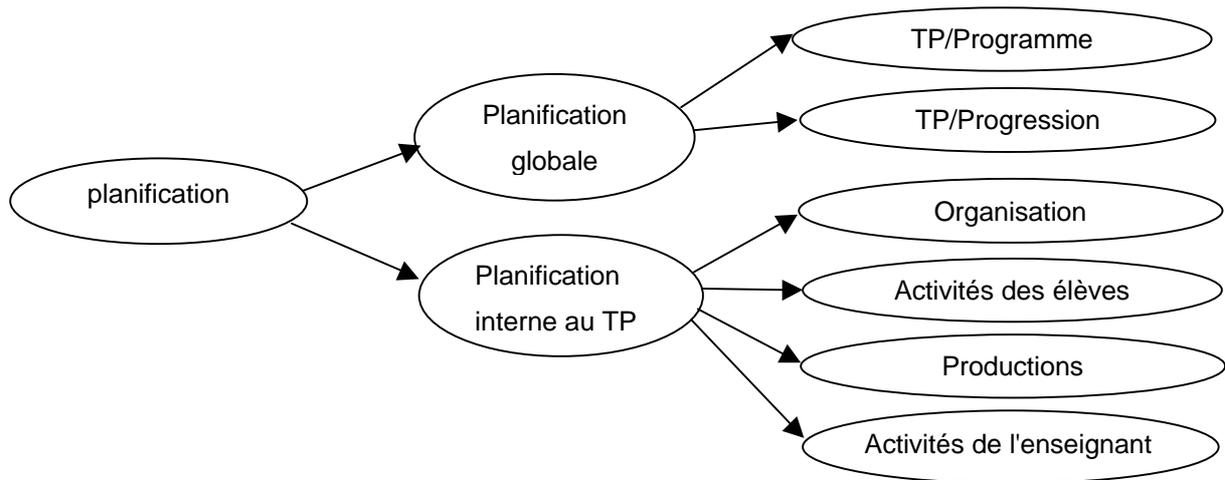


Figure B-1. structuration des items de planification

Portant notre attention sur la place du quantitatif dans les TP, nous avons cherché à analyser plus finement tout ce qui concerne les activités des élèves à ce niveau : acquisition des mesures (proposition et réalisation du montage expérimental, réglages, étalonnages, obtention des mesures), traitement mathématique des mesures (tableau, traitement graphique, établissement d'une relation algébrique, vectorielle, traitements statistiques..) et analyse, regroupant en fait sous cette dernière rubrique un large spectre d'activités qui va de la critique des valeurs acquises, à la mise en relation des mesures, des relations et des graphes avec le modèle physique, la théorie (Bécu-Robinault, 1997) et à la discussion du choix d'un modèle ou de ses limites.

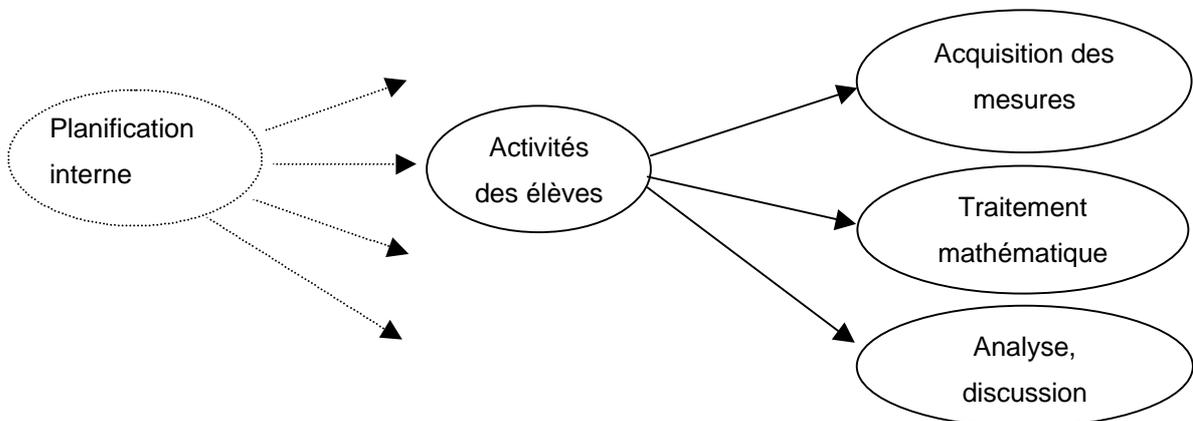


Figure B-2. Détail des items relatifs à la planification de l'activité des élèves

Les items de raison / justification / argumentation

Si les items de planification ont été facilement déterminés à partir d'une première analyse des entretiens lors desquels les enseignants ont précisé sans difficulté le déroulement prévu, il n'en est pas de même pour l'explicitation des justifications et des choix : leur communication au cours du

dialogue est quasiment laissée à l'initiative de chaque enseignant interrogé et la formulation s'est révélée très personnelle et fait apparaître différents types d'argumentation : énoncés de simples "raisons", justifications explicites, développement argumentés.

Comme nous l'avons déjà indiqué, nous distinguons là encore deux catégories que nous avons appelées "raisons d'entreprise" et "raisons d'enseignement".

Dans la catégorie "raisons d'entreprise" nous avons considéré ce qui relevait des programmes, durée des séances, niveau des classes, qui sont des contraintes que l'enseignant doit, institutionnellement, prendre en compte. De même apparaissent des contraintes matérielles spécifiques à l'enseignement expérimental : matériel disponible pour les élèves, équipement de la salle de TP etc. À ceci nous avons ajouté un point spécifique de l'organisation de l'enseignement des sciences au lycée : l'alternance des séances de TP et de cours.

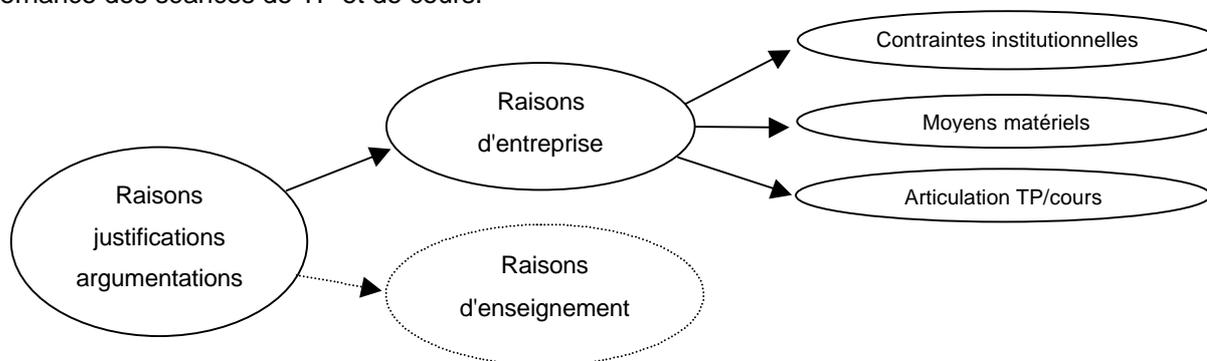


Figure B-3. Structuration des items relatifs aux "raisons d'entreprise".

Dans la catégorie que nous avons appelée "raisons d'enseignement", nous mettons les raisons correspondant à l'enseignement et à l'apprentissage, ou aux choix propres de l'enseignant concernant la séance, ou encore à la gestion du groupe pendant l'activité.

Dans la rubrique "gestion de l'activité du groupe", nous mettons à l'évidence tout ce que l'enseignant invoque pour que les élèves puissent travailler de façon "autonome", qu'aucun ne reste inactif, que l'enseignant lui-même soit disponible pour intervenir auprès des différents groupes : ce sont des "raisons" que les professeurs interrogés donnent fréquemment dans les entretiens. À ces arguments correspondant à des choix, nous avons associé ce qui constituent des incertitudes quant au déroulement de la séance, des difficultés possibles quant au fonctionnement du matériel, à la réelle autonomie des élèves etc.

À un niveau voisin, nous avons ajouté ce que nous avons appelé "les objectifs généraux de l'enseignement", qui se réfèrent directement aux "objectifs non disciplinaires" listés par l'Inspection Générale de Physique-Chimie (IGEN, 1998) pour les travaux pratiques comme par exemple :

- développer le sens du travail en équipe,
- développer l'initiative, la créativité, l'esprit critique,
- [développer] la maîtrise du langage, vecteur privilégié de la communication.

Pour ce qui concerne les "Choix pour l'enseignement de la physique", nous avons déjà précisé que les enseignants interrogés ne faisaient pas de références à leurs conceptions du fonctionnement de la science mais précisent régulièrement les choix d'enseignement qu'ils ont faits pour élaborer la séance de travaux pratiques.

"[...] ils m'ont crue, c'est moi qui l'ait fait, mais c'est quand même mieux que ça soit eux qui le fassent, qui le, [...] qu'ils l'exploitent après"

et

"oui, j'aime bien, quand ça marche, quand ça marche dans la progression j'aime bien plutôt voir en TP, introduire en TP exploiter derrière, je préfère, [...]"

" il me semble que les élèves savent de quoi je parle, puisqu'ils l'ont, [ils se sont un peu coltiné avec la difficulté expérimentale, ils ont vu ce que c'était, donc quand moi je vais faire le cours, attention c'est une chute modélisée, idéale etc. ils sauront de quoi je parle [...]"

On retrouve d'ailleurs à ce niveau les déclarations-types du questionnaire d'enquête élaboré par G. Robardet (1995, p.165), par exemple :

- *Un enseignement de sciences physiques doit donner la priorité aux manipulations des élèves.*
- *Une bonne méthode pour qu'une séance de T.P. se passe bien consiste à donner aux élèves une feuille sur laquelle ils trouveront la procédure à suivre ainsi que les consignes concernant les mesures et les travaux à effectuer.*
- *Une bonne expérience de T.P. doit être conduite suivant les quatre étapes suivantes:
Mise en route du montage. Observations et/ou mesures. Interprétation. Conclusion.*

Mais il convient toutefois de remarquer que, si dans les déclarations-types ci-dessus, les choix proposés sont particulièrement affirmés, les "raisons" données par les enseignants peuvent parfois être simplement évoquées.

Dès la première étude des entretiens, l'importance accordée par les enseignants à ce que nous avons appelé "construire un référent" nous est apparu très clairement. Dans de nombreuses circonstances, l'un des "objectifs" du TP est d'apporter aux élèves une connaissance sur laquelle va pouvoir se construire la suite du cours : observation ou expérience commune qui sera évoquée à nouveau lors du cours théorique suivant, ou qui sera censé être ré-évoqué par les élèves eux-mêmes lorsqu'un exercice fera mention de tel ou tel appareil, tel ou tel protocole, tel ou tel comportement expérimental. Cette raison a d'ailleurs un caractère ambivalent : construire un référent pendant la séquence de travaux pratiques pourrait aussi être un moyen pour gérer l'alternance des cours et des TP.

Enfin, pour ce qui concerne "l'enseignement et l'apprentissage" nous avons distingué "enseignement de connaissances, savoir-faire et démarches de physique" et "prise en compte de l'apprentissage en physique". D'un côté l'enseignant argumente en effet l'organisation de sa séance en fonction de connaissances, savoir-faire à acquérir par tous (nous classons alors ces arguments en "enseignement de savoirs..."), mais de l'autre, l'enseignant peut s'intéresser plus spécifiquement à l'élève-apprenant,

et prendre en compte les difficultés particulières (nous classons alors les arguments dans "prise en compte de l'apprentissage"¹).

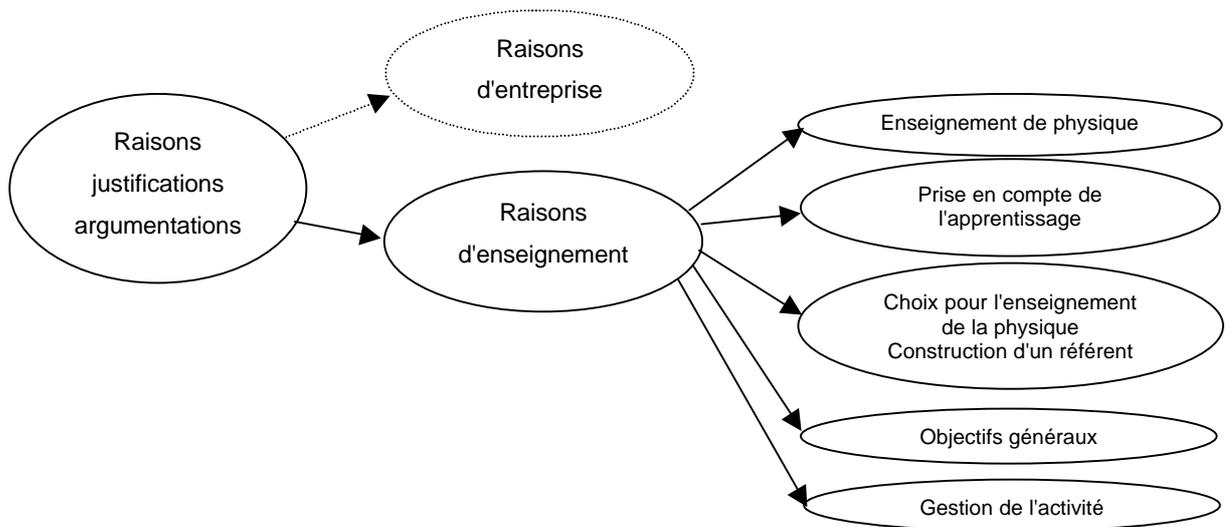


Figure B-4. Structuration des items "raisons d'enseignement"

En résumé

Le premier résultat de notre analyse est cet ensemble d'items représentatifs des éléments pris en compte par les enseignants que nous avons interviewés, ensemble structuré dans lequel, rappelons-le, la référence à la science ou aux activités des scientifiques n'apparaît pas directement.

Cette structure a constitué ce que nous avons appelé la grille d'analyse et, de façon à pouvoir repérer plus facilement et quantifier les occurrences, nous l'avons complétée par un code qui figure dans la dernière colonne du schéma récapitulatif ci-dessous.

¹ Dans la version finale de la grille de codage donnée ci-après, nous avons codé séparément pour la physique, l'enseignement de connaissances, celui de savoir-faire et celui de démarches.

La construction du milieu du TP

				Code	
Planification	Planification globale	Place du TP par rapport au programme		Pg1	
		Place du TP dans la progression du cours		Pg2	
	Planification interne au TP	Organisation de la séance		Pi1	
		Activités des élèves	Montage et mesures		Pi2
			traitement		Pi3
			Analyse, discussion		Pi4
			Autres		Pi5
		Productions des élèves		Pi6	
	Activité de l'enseignant		Pi7		

Raisons	Raisons d'entreprise	Contraintes institutionnelles (programmes, durée, ...)		Re1	
		Moyens matériels (disponibilité, qualités...)		Re2	
		Articulation TP - cours		Re3	
	Raisons d'enseignement	Enseignement de connaissances		Rd1	
		Enseignement de savoir faire		Rd2	
		Enseignement d'une démarche		Rd3	
		Prise en compte des difficultés des élèves, de l'apprentissage pour la physique		Rd4	
		Construction d'un référent		Rd5	
		Choix propres pour l'enseignement en physique		Rd6	
		Gestion de l'activité	Élèves actifs		Rp1
			Enseignant disponible		Rp2
			Élèves autonomes		Rp3
			Incertitudes, difficultés pour l'enseignant		Rp4a- matériel Rp4b-élèves
	Objectifs généraux de l'enseignement		Rp5		
	Autres		Rp6		

Figure B-5. Grille d'analyse complète et code des items

Les libellés des items sont ici très compacts ; il peut être nécessaire de se reporter à la description donnée plus haut.

2.3. Mode d'emploi de la grille de codage

Le découpage du discours en unités de signification

Le découpage en séquences thématiques

Le premier découpage (Bardin, 1993) est thématique selon les critères suivants:

Une séquence est formée :

- soit de l'ensemble des phrases de l'enseignant interviewé comprises entre deux questions abordant des thèmes différents, ainsi les interventions de l'interviewer de type, soutien, demande d'explicitations etc. ne sont pas prises en compte.
- soit d'une fraction d'un développement de l'enseignant quand celui-ci aborde spontanément des thèmes différents ; ainsi dans l'unité de découpage, initiée par la question suivante : "*bon est-ce que tu peux m'expliquer maintenant en suivant la fiche ce qu'ils vont faire, comment tu as prévu ce qui allait se passer,...*", l'enseignant précise la planification relative à la question théorique de la chute libre :

« nous rentrons, je les installe à leur place normale avec leurs affaires, bon, donc avec eux je vais lire les objectifs je vais expliquer grosso modo, c'est à dire je leur donne de suite la feuille, et puis je vais leur faire une lecture un petit peu commentée de ce qu'on va faire, quoiqu'ils sachent déjà qu'on va étudier la chute des corps puisque j'en ai parlé ce matin. Bon et j'en ai parlé lundi, quand je me suis arrêté dans le cours j'ai dit, bon, ce qui venait après. Bon / on va répondre aux questions B »

Puis, dans le même paragraphe, l'enseignant aborde la question de l'acquisition des mesures, il change alors de thème, et l'extrait suivant fera alors partie d'une nouvelle séquence :

« donc après on va attaquer la manip, donc que je vais leur expliquer qu'il y a que deux postes d'acquisition/ ça c'est important, il faut qu'ils y passent par groupes de trois / donc normalement j'ai /18 élèves, je vais avoir 6 groupes, donc ça doit aller, donc ils vont passer par groupes de trois, je vais pas leur ré-expliquer, ça ils auront qu'à le lire, hein, ça sert à quelque chose le poly, je vais leur dire c'est détaillé mais moi je serai / j'ai que deux postes de manips donc ça va je serai vraiment derrière pour voir ce qu'ils font, et je vais leur demander de partir avec leurs mesures sur une disquette, j'ai amené les disquettes j'espère hein, voilà donc de laisser la place libre jusqu'aux 2 derniers groupes qui resteront là où ils sont pour traiter directement leurs mesures, eux ils ont pas besoin d'enregistrer puisqu'il y a aussi Regressi, donc ils resteront là, donc voilà ce que j'avais pensé faire... »

L'unité de signification

L'unité de signification contient un argument ou un élément de planification selon la grille d'analyse étudiée précédemment.

Le principe du codage des unités de signification

Dans une même séquence thématique, l'analyse du discours permet de comptabiliser les différentes unités de signification mais également de ne pas doubler le codage pour des répétitions liées à l'argumentation. Ainsi, nous allons illustrer le découpage - codage sur l'extrait suivant (E1-62) :

« alors qu'est-ce, le plus important là-dedans (?) / c'est vrai qu'il est important qu'ils sachent ce qu'est une chute libre mais j'aurais pu le faire en classe ça hein, en classe entière pas en TP / heu / j'sais pas je pense que c'est ré, moi, dans le premier groupe c'est réaliser une bonne acquisition, c'est sûrement ça l'aide de l'ordinateur effectivement mais réaliser une bonne acquisition pour avoir une bonne base de données expérimentales c'est plus important bon, étudier la vitesse du corps en chute libre, en fait ça c'est une, comment dire, c'est l'occasion d'étudier la vitesse au cours d'un TP mais ça pourrait être autre chose hein, si on avait atteint, on arrivait à atteindre d'autres données, ça serait d'autres données donc en fait le plus important c'est réaliser une bonne acquisition j'ai pas mis hein, une bonne acquisition »

a	alors qu'est-ce, le plus important là-dedans (?)	Non codé
b	c'est vrai qu'il est important qu'ils sachent ce qu'est une chute libre	Rd1
c	mais j'aurais pu le faire en classe ça hein, en classe entière pas en TP	Rd6
d	heu / j'sais pas je pense que c'est ré, moi, dans le premier groupe c'est réaliser une bonne acquisition c'est sûrement ça l'aide de l'ordinateur effectivement mais réaliser une <u>bonne</u> acquisition	Pi2
e	pour avoir une <u>bonne</u> base de données expérimentales c'est plus important bon	Rd5
f	étudier la vitesse du corps en chute libre, en fait ça c'est une, comment dire, c'est l'occasion d'étudier la vitesse au cours d'un TP mais ça pourrait être autre chose hein, si on avait atteint, on arrivait à atteindre d'autres données, ça serait d'autres données	Identique à b Non codé
G	donc en fait le plus important c'est réaliser une bonne acquisition j'ai pas mis hein, une bonne acquisition	Identique à d Non codé

Le codage des unités de signification

Reconnaître des unités de planification des unités de raisons

La séparation des unités de planification et de raisons est parfois difficile, et correspond à une articulation forte planification / raisons sur laquelle nous reviendrons au paragraphe B.4.

Extrait de l'entretien E6

E6-102 : « Voilà la question va venir et puis si elle vient pas, ben, il y en a certains, c'est pour ça que j'ai mis la phrase "n'hésitez pas à refaire des mesures" parce que je pense qu'il y en a qui vont faire deux points puis trois points et puis après qu'ils en déduiront n'importe quoi puisqu'on pourra pas, je crois que c'est ça, c'est confronté à des mesures, c'est comment gérer des mesures. À la limite, c'est un peu le même problème qu'on retrouve en terminale quand on trace une courbe de dosage et puis que, mais là c'est moins grave parce qu'on peut revenir en arrière et qu'on s'aperçoit qu'on n' a pas fait assez de points et »

E6-106 : « qu'ils donnent pas l'électrolyseur au voisin en disant on a fini, donc je veux qu'ils fassent d'abord leur courbe et qu'ils voient si c'est satisfaisant d'abord »

E6-104	<i>Voilà la question va venir et puis si elle vient pas, (ben ,il y en a certains), c'est pour ça que j'ai mis la phrase "n'hésitez pas à refaire des mesures"</i> planification de l'activité liée au mesurage	Pi2
E6-106	<i>qu'ils donnent pas l'électrolyseur au voisin en disant on a fini",</i> planification de l'activité des élèves liée à l'organisation de la séance de TP	Pi1
E6-106	<i>donc je veux qu'ils fassent d'abord leur courbe ,</i> planification de l'activité des élèves liée au traitement des mesures	Pi3
E6-106	<i>et qu'ils voient si c'est satisfaisant d'abord,</i> planification de l'activité des élèves liée à la discussion, à la critique du résultat.	Pi4
E6-102	<i>parce que je pense qu'il y en a qui vont faire deux points puis trois points et puis après qu'ils en déduiront n'importe quoi,</i> unité codée en raison : difficultés prévisibles	Rp4b
E6-102	<i>puisque'on pourra pas, je crois que c'est ça, c'est confronté à des mesures, c'est comment gérer des mesures,</i> unité codée raison liée à l'enseignement d'une démarche	Rd3
E6-106	<i>À la limite, c'est un peu le même problème qu'on retrouve en terminale quand on trace une courbe de dosage et puis que, mais là c'est moins grave parce qu'on peut revenir en arrière et qu'on s'aperçoit qu'on n'a pas fait assez de points et</i> unité non codée car elle fait référence à une situation indépendante de celle que l'on étudie.	Non codée

La nécessité de tenir compte du contexte

Nous allons montrer sur l'exemple ci dessous (extrait E2-53) qu'il n'est pas possible de coder les différentes unités indépendamment du contexte :

« bon là sur le début, // moi j'essaie d'insister beaucoup sur le vocabulaire, hein donc / de voir là, allez vous réellement réaliser et étudier une chute libre ? je pense qu'ils vont qu'ils vont on a pas mal parlé de l'air, je pense qu'ils vont parler de l'air, j'espère et puis s'ils m'en parlent pas // à mon avis ça va pas les arrêter parce que // c'est qu'une question, pour eux ils ont pas encore bien compris que la question, ici pouvait être un préliminaire à la réflexion / des fois je marque réflexion préliminaire là je l'ai pas marqué, // je pense qu'ils vont passer directement à la suite / donc ça devrait pas trop les bloquer // sur les recommandations, bon j'essaie aussi de / de leur donner des extraits de, bon j'ai repris la notice, c'est une très vieille notice donc j'ai pas voulu la photocopier parce qu'il y avait des mots assez anciens et autres // je pense que c'est important pour eux d'être capables de lire des choses un peu techniques entre guillemets, donc c'est pourquoi j'ai / ben voilà, je leur ai fait des petits schémas a priori, j'ai pas trop l'intention de les aider à se servir du matériel / bon, ça on verra hein ; je ne veux pas que ni leur sécurité soit en jeu ni celle du matériel, bon, sur l'obus, je pense pas qu'ils iront mettre les doigts en dessous mais enfin on sait jamais »

La construction du milieu du TP

E2-53a	<i>bon là sur le début, // moi j'essaie d'insister beaucoup sur le vocabulaire,</i>	Rp5
E2-53b	<i>hein donc / de voir là, allez-vous réellement réaliser et étudier une chute libre ?</i> Nous avons codé cette unité Pi6 car d'après la fiche de TP qui est commentée ici, il s'agit d'obtenir une réponse écrite à cette question, donc une production.	Pi 6
E2-53c	<i>je pense qu'ils vont qu'ils vont on a pas mal parlé de l'air, je pense qu'ils vont parler de l'air, j'espère, et puis s'ils m'en parlent pas // à mon avis ça va pas les arrêter</i>	Pi5
E2-53d	<i>parce que // c'est qu'une question, pour eux ils ont pas encore bien compris que la question, ici pouvait être un préliminaire à la réflexion</i>	Rd4
E2-53e	<i>/ des fois je marque réflexion préliminaire là je l'ai pas marqué, // je pense qu'ils vont passer directement à la suite / donc ça devrait pas trop les bloquer // sur les recommandations,</i>	(Reprise E2-53c)
E2-53f	<i>bon j'essaie aussi de / de leur donner des extraits de, bon j'ai repris la notice, c'est une très vieille notice donc j'ai pas voulu la photocopier parce qu'il y avait des mots assez anciens et autres //</i> Il s'agit ici de donner aux élèves des extraits de notice pour qu'ils puissent utiliser le matériel fourni (planification activité de mesure)	Pi2
E2-53g	<i>je pense que c'est important pour eux d'être capables de lire des choses un peu techniques entre guillemets,</i> Nous avons choisi Rp5 car cette remarque n'apparaît pas comme un choix particulier pour l'enseignement de physique	Rp5
E2-53h	<i>donc c'est pourquoi j'ai / ben voilà, je leur ai fait des petits schémas a priori, j'ai pas trop l'intention de les aider à se servir du matériel / bon, ça on verra hein,</i> Pour cette unité nous avons choisi la prévention des difficultés pour l'enseignant : de la nécessité pour lui de ne pas être accaparé par le seul groupe qui manipule avec l'obus de Lefebvre (d'où des schémas simples pour rendre les élèves de ce groupe autonomes) et donc de donner une notice facile à lire aux élèves. Mais on pourrait également relier ce type de production de l'enseignant au traitement particulier élaboré pour des élèves faibles (Mercier, 1995)	Rp4b
E2-53i	<i>je ne veux pas que ni leur sécurité soit en jeu ni celle du matériel, bon, sur l'obus, je pense pas qu'ils iront mettre les doigts en dessous mais enfin on sait jamais</i>	Re2

Raisons ? justifications ? argumentation ? évocation ?

Une autre remarque importante à nos yeux est le niveau de l'argumentation ; la planification d'une activité est le plus souvent clairement explicitée mais pour ce qui est des raisons, ce sont de simples évocations qui sont données spontanément par l'enseignant, il est donc difficile de distinguer les justifications des arguments ou encore d'une évocation. La part d'implicite est-elle liée à une connivence spontanée avec l'interviewer enseignant, ou rend-elle compte du niveau d'expertise du professeur qui prend en compte de façon habituelle, intériorisée, de nombreux facteurs comme les difficultés des élèves, ... Le recouplement avec l'entretien final nous permettra peut-être de lever cette ambiguïté.

B.3. RESULTATS DE L'ANALYSE DES ENTRETIENS

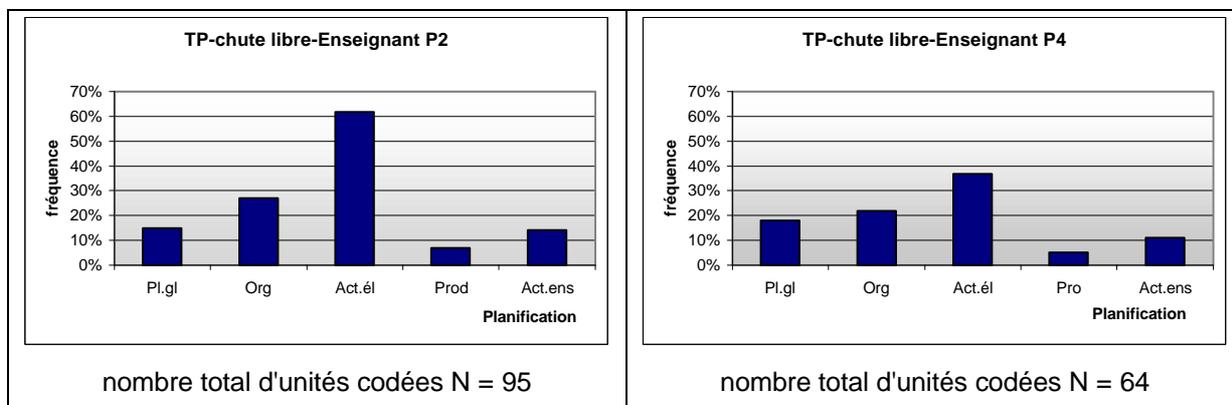
Nous avons codé en nous appuyant sur la grille que nous venons de présenter, les six entretiens préalables aux travaux pratiques que nous avons enregistrés (trois séances de TP pour les enseignantes P2 et P4). L'analyse des transcriptions conduite comme indiqué précédemment nous a permis de compter les occurrences de chacun des items de planification et ceux des raisons/justifications/argumentations.

3.1. Premier bilan à propos de la planification

Nous présentons ici, un premier bilan de l'analyse en termes de planification pour l'ensemble des six séances de travaux pratiques.

Le total cumulé des occurrences pour les items de planification est d'environ 80 pour l'enseignante P2 et d'environ 50 pour l'enseignante P4. Les occurrences de chaque item restent donc faibles et, bien que nous ayons été attentif à ne pas insister sur tel ou tel point, nous avons jugé qu'un regroupement des items de codage rendait plus lisibles les résultats et suffirait pour faire apparaître les tendances, pour mettre en évidence d'éventuelles concordances, des différences, suivant les situations, suivant les enseignants. Nous avons donc regroupé les items pour retrouver les axes principaux de planification :

- Planification globale (*Pl.gl*) : Pg1 + Pg2
- Planification de l'organisation de la séance (*Org*) : Pi1
- Planification de l'ensemble des activités des élèves (*Act.él*) : Pi2 + Pi3 + Pi4 + Pi5
- Planification d'une production des élèves (*Prod*) : Pi6
- Planification de l'activité de l'enseignant (*Act.ens*) : Pi7



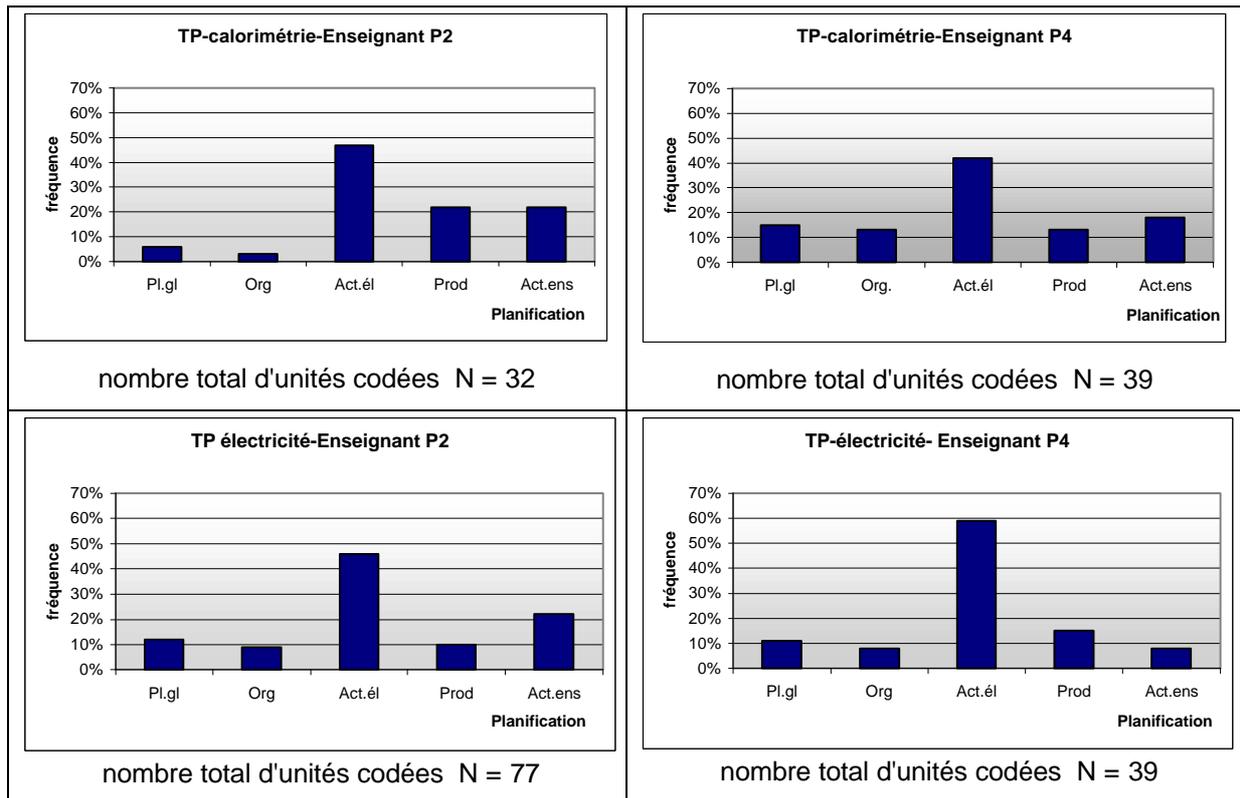


Figure B-6 : Diagrammes des fréquences (en pourcentage) des catégories principales .

On voit sur cette représentation que pour tous les TP et les deux enseignants, tous les aspects de planification sont couverts : organisation de la séance, activités des élèves et de l'enseignant, planification à plus long terme de l'enseignement. On remarque aussi que la planification des activités des élèves est la plus importante, et ce, quel que soit le sujet de travail, quelle que soit l'enseignante : ce résultat peut provenir du regroupement d'un nombre d'items de codage plus important, d'un nombre de questions dans les entretiens concernant cette planification plus important mais il dénote également que les enseignantes avaient effectivement des réponses à donner, des précisions à développer pour ce qui apparaît comme leur préoccupation principale.

Des différences apparaissent cependant selon les sujets étudiés. Ainsi, si pour l'étude de la chute libre et celle des récepteurs électriques nous trouvons de fortes similitudes entre les planifications faites par les deux enseignantes, des différences notables apparaissent pour la séance sur les mesures calorimétriques en ce qui concerne la planification globale, l'organisation, et la prévision des activités de l'enseignant. Nous verrons plus précisément par la suite qu'en fait ces deux TP particuliers sur les mesures calorimétriques sont différents des TP "traditionnels" (les quatre autres) : l'enseignante P2 a organisé une évaluation s'appuyant sur les activités et les résultats expérimentaux alors que l'enseignante P4 a demandé à ses élèves de constituer un dossier comportant des descriptions d'expérience, des résultats expérimentaux en réponse à une demande d'arguments scientifiques. On ne peut alors déterminer (sans faire intervenir une analyse plus fine) ce qui, du sujet ou de la situation élaborée, peut induire les différences.

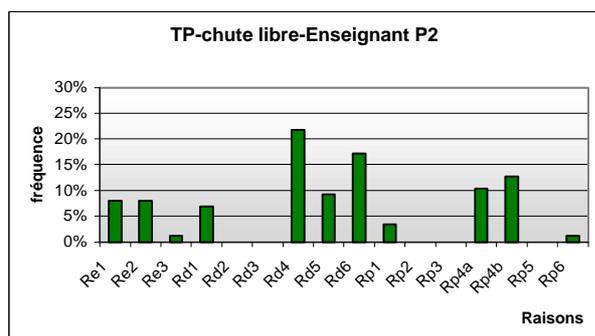
Pour aller plus loin dans cette analyse, il est nécessaire de mettre en regard les raisons et les choix de l'enseignant qui ont amené à ces planifications, point que nous abordons dans la partie suivante.

3.2. Premier bilan des raisons/justifications/argumentations

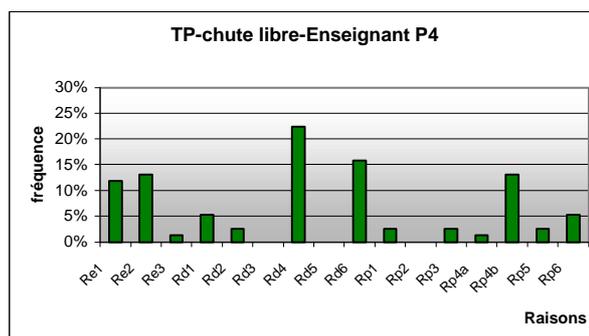
Nous allons faire un premier bilan du codage des raisons données par les deux enseignantes pour expliquer la construction de leurs séances de travaux pratiques.

Si, comme nous l'avons évoqué précédemment, les réponses de l'enseignant concernant la planification sont corrélées aux questions posées, il n'en est pas de même pour les raisons : chaque enseignant a eu le choix d'apporter (ou pas) son argumentation et ses références personnelles. Nous rappelons également que les unités de raisons /justifications / argumentations² que nous avons codées, n'ont pas toutes le même poids, certaines correspondent à un argument, d'autres à une évocation. Dans ce premier bilan nous les comptons sans distinction.

Nous présentons ci-dessous les résultats pour chaque TP sous la forme d'un diagramme en bâtons, donnant la fréquence pour chaque item, pris séparément cette fois, dans chacun des entretiens préalables afin de mieux faire apparaître les raisons qui apparaissent systématiquement et celles qui, au contraire, ne se retrouvent quasiment pas. Comme pour le bilan du codage pour la planification, le nombre total d'unités de signification codées varie selon les entretiens entre 45 et 87. La fréquence de chacun des items de raisons reste donc faible et nous n'utiliserons les renseignements obtenus que comme des indicateurs de tendance.



nombre total d'unités codées :87



nombre total d'unités codées :76

² Dans la suite de cette partie, et pour des questions de lisibilité nous utiliserons le terme "raisons" comme raccourci pour "raison/justification/argumentation".

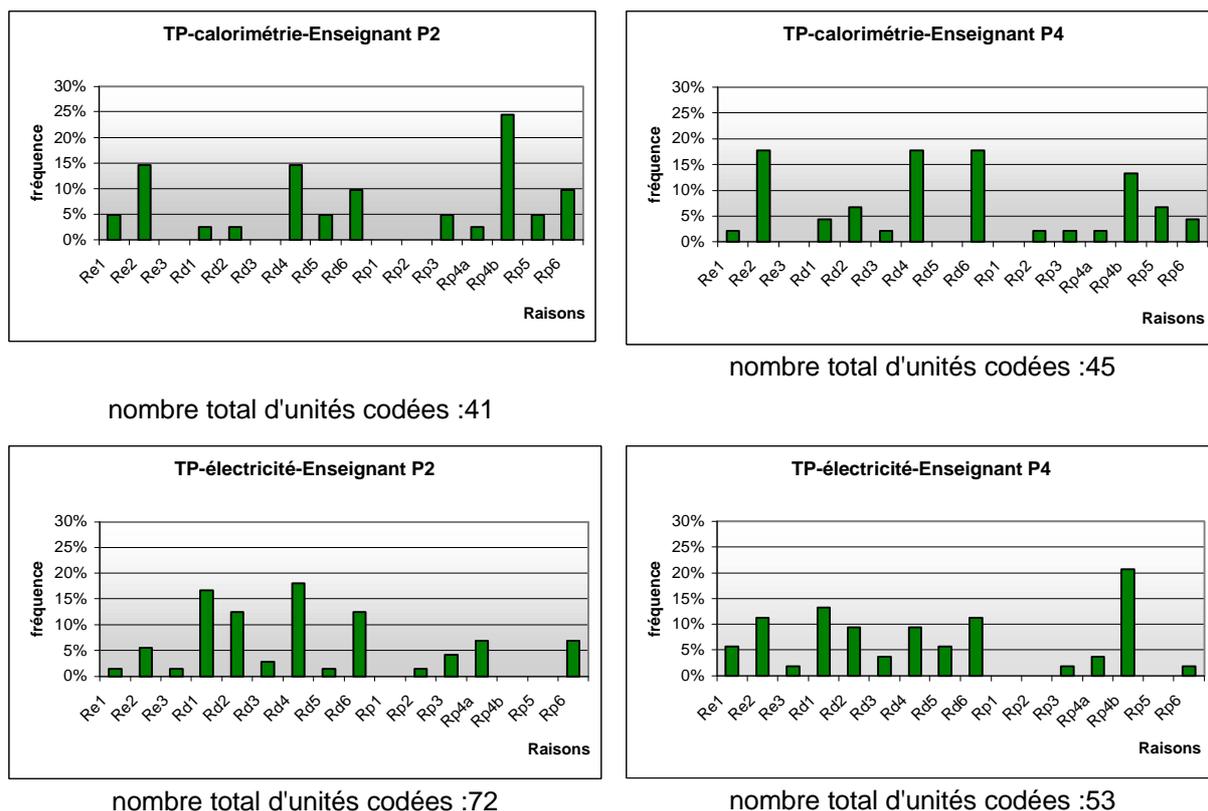


Figure B-7 . Diagrammes des répartitions des types de "raison" invoquées par les enseignants

Dans le bloc des "raisons" d'entreprise, qui regroupe Re1, Re2 et Re3, on remarque que la fréquence la plus importante pour tous les TP étudiés est celle concernant le matériel (Re2). Elle est d'ailleurs toujours parmi les plus importantes quand on la rapporte à l'ensemble des "raisons". Ceci est en cohérence avec l'importance prise par le matériel didactique déjà relevée pour expliquer la persistance des habitudes (Couchourou et al., 1996 ; Hirn, 1998), les rôles de l'expérience dans les démarches expérimentales mises en œuvre dans l'enseignement (Johsua et al., 1987) ou pour caractériser les expériences pérennes (Bécu-Robinault, 1997). Il n'en est pas de même pour les raisons Re1 liées essentiellement aux programmes de la classe, à la durée de la séance. Pourquoi les deux TP d'électricité n'ont-ils pas nécessité de références au programme contrairement aux TP de calorimétrie ? Pourquoi, pour l'étude de la chute libre, l'enseignante P2 ne s'y réfère-t-elle quasiment pas, alors que l'enseignante P4 en éprouve la nécessité ? D'évidence, ces "raisons" sont sensibles à chaque situation particulière. Enfin, pour ce qui est des "raisons" Re3 relatives à la gestion officielle du temps (l'emploi du temps, alternance des TP et des cours, vacances), elles apparaissent avec une fréquence qui reste faible, voire nulle.

Pour ce qui concerne les "raisons" relatives à l'enseignement/apprentissage de la physique (Rd1, Rd2, Rd3 et Rd4), une première comparaison des diagrammes fait apparaître la présence toujours importante (entre 10 et 20%) de l'item Rd4 témoignant de la prise en compte des difficultés d'apprentissage et montrant que les enseignantes connaissent et / ou prévoient les difficultés des élèves face à l'apprentissage en physique. Nous étudierons plus loin, comment elles prennent en

compte les difficultés qu'elles ont répertoriées, pour construire chacune des séances. La comparaison des diagrammes met également en évidence la quasi absence, pour les six entretiens, de l'item Rd3 relatif à l'enseignement de démarches scientifiques : aucun des ces six TP n'a en effet comme objectif d'apprendre aux élèves à mettre en œuvre une démarche expérimentale. Enfin, pour ce qui concerne l'enseignement de connaissances et de savoir-faire (Rd1 et Rd2) les fréquences de ces deux items apparaissent dépendantes de la situation ; nous étudierons plus loin chaque cas particulier.

À propos des "raisons" en liaison avec les choix personnels des enseignants (Rd5, Rd6), on peut relever que l'apparition de l'item Rd5 relatif à la construction d'un référent (graphe, modèle mathématique ou résultat numérique attendu de chaque groupe d'élèves dans la durée du TP) est importante quand le cours suivant est construit sur ces résultats. La construction de ce référent commun aux élèves et à l'enseignant est donc un objectif didactique précis et sa présence est liée à la place du TP dans la progression choisie par l'enseignant ; ainsi, pour l'étude de la chute libre de l'enseignante P2, le TP se déroule avant le cours et les résultats doivent être analysés dans le cours suivant (Rd5 13%), alors que pour l'autre enseignante, le même TP sur la chute libre est considéré comme un complément, il n'est pas indispensable pour la progression et la fréquence de l'item Rd5 est nulle. Quant aux arguments correspondants à des choix personnels pour l'enseignement de la physique, tous regroupés dans Rd6, ils sont a priori corrélés à une image de l'enseignement de la physique. Les choix "pour la physique" évoqués dans les différents entretiens sont très variés et nous les étudierons en détail plus loin ; ici, nous pouvons relever, dans un premier temps, que le sceau de chaque enseignante (fréquence des Rd5+Rd6) est nettement imprimé. Ceci est en cohérence avec la construction des six TP qui sont des créations originales (ou des adaptations) qu'elles ont réalisées.

Sur l'ensemble des items Rp1, Rp2, Rp3 et Rp4 qui concernent la prévision de déroulement de la séance, nous notons la quasi absence des items Rp1, Rp2 et Rp3 relatifs à la prise en compte dans la construction du comportement des acteurs du TP (élèves actifs Rp1, autonomes Rp3, enseignant disponible Rp2), mais nous relevons parallèlement la présence massive de Rp4 dans tous les entretiens. Cet item regroupe les difficultés que risque de rencontrer l'enseignant pendant la séance (difficultés liées au matériel (Rp4a), difficultés liées aux élèves (Rp4b) comme leur comportement, leur investissement), les incertitudes quant au déroulement. Peut-on faire l'hypothèse que le comportement des élèves en classe conserve pour des enseignants chevronnés une part significative d'imprévisible ? Que ce comportement ne peut être orienté par l'enseignant vers une prise en charge autonome du travail ? Ou bien est-ce le signe d'un déroulement pédagogique "traditionnel" qu'il n'est pas besoin d'explicitier et dont n'émergent que les difficultés potentielles ? Quelles que soient les réponses à ces questions, la fréquence de l'item Rp4 montre que, dans la projection que l'enseignant fait du déroulement du TP, il est très présent et il devra s'adapter aux difficultés qui se présenteront (Tochon, 1989).

Enfin, les "raisons" concernant les objectifs généraux d'enseignement (Rp5) apparaissent peu dans les bilans de codage que nous avons réalisés. Il est présent notamment quand un des objectifs d'apprentissage est la rédaction d'une argumentation (mesures calorimétriques P4) et la lecture de

notices d'utilisation de matériel technique (chute libre P4). Ce sont essentiellement des objectifs disciplinaires qui guident l'élaboration des TP de physique. De même, les "raisons" autres (codées Rp6) apparaissent très faiblement pour chaque entretien et nous étudierons les arguments donnés dans chaque cas particulier.

3.3. Synthèse des résultats : un modèle pour la construction du TP

Nous avons vu plus haut qu'aucune des six séances de travaux pratiques étudiées n'avaient pour objectif d'apprendre aux élèves à mettre en œuvre une démarche expérimentale ; parallèlement, nous avons déjà relevé qu'aucun des enseignants interviewés n'a fait référence à une pratique scientifique dans l'élaboration des séances de travaux pratiques ce qui nous a conduit, (comme nous l'avons précisé précédemment), à ne pas distinguer par un item particulier cette référence à une activité scientifique et à l'inclure dans l'item "autres Rp6".

En terme de transposition didactique, il apparaît que, bien que les textes officiels soulignent l'importance des démarches expérimentales, les enseignants ne trouvent pas de références institutionnelles explicites quant à ces démarches dans les programmes (savoir à enseigner), et, de plus, ils ne font pas appel non plus à leurs références scientifiques en la matière. Dans le schéma de la transposition que nous avons précédemment proposé, on est alors (déjà) amené à conclure que l'activité scientifique n'est l'objet d'une transposition didactique ni de l'institution, ni des enseignants.

DANS LE CAS DES PROGRAMMES, CETTE CONCLUSION EST VALABLE POUR LE SAVOIR A ENSEIGNER PROPOSE ET NON, BIEN SUR POUR LES OBJECTIFS GENERAUX.

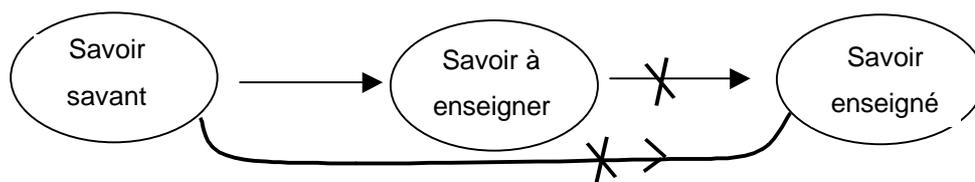


Figure B-8 : schéma de la transposition pour les démarches

La question qui demeure est alors de définir les références qu'ont les enseignants pour les activités expérimentales des élèves.

Dans l'analyse des raisons /justifications / argumentations que nous venons de présenter, nous avons fait une partition entre les "raisons" d'entreprise et les "raisons" d'enseignement et si nous regardons ces dernières en référence aux trois sommets du triangle didactique de Chevallard (1991), nous pouvons regrouper différemment les items et retrouver l'élève, le savoir enseigné et l'enseignant :

La construction du milieu du TP

- le savoir enseigné : enseignement de connaissances Rd1, de savoir-faire Rd2, de démarches Rd3,
- les élèves : apprentissage en physique Rd4, les apprentissages généraux Rp5, comportement Rp1+Rp3
- l'enseignant : ses choix pour l'enseignement Rd5+Rd6 et ses prévisions pour le déroulement Rp2+Rp4.

Mais la situation de travaux pratiques est particulière ; en effet l'élève n'est pas directement en relation avec le texte du savoir enseigné, il y accède à travers les activités construites par l'enseignant, dans son interaction avec le milieu du TP et le "triangle didactique" serait plutôt :

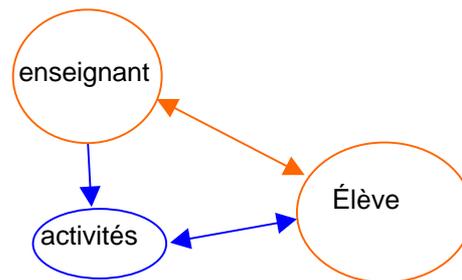


Figure B-9 : Triangle didactique représentatif des situations de TP

On remarque que l'élève est alors en relation avec l'enseignant et l'ensemble des activités qui lui sont proposées, les doubles flèches indiquant qu'il y a interaction (comme nous l'avons évoqué lors de notre analyse en terme de milieu), tandis que la flèche entre l'enseignant n'est a priori qu'en sens unique, traduisant le rôle de construction joué ici par le professeur.

Mais l'enseignant, nous l'avons montré, construit son "milieu - TP" en référence au savoir à enseigner (c'est-à-dire à partir du texte des programmes et non en référence au "savoir savant") et qu'il tenait fortement compte des contraintes institutionnelles. Le schéma ci-dessus doit donc être complété par ce deux "pôles".

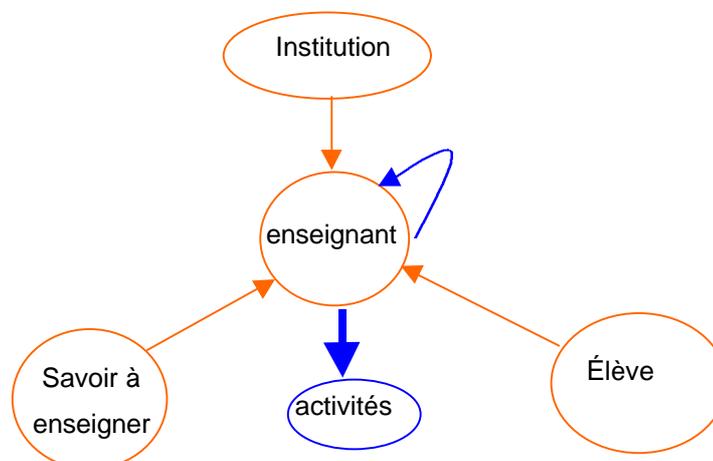


Figure B-10 : l'enseignant constructeur au centre des interactions

Dans le diagramme ainsi obtenu, centré sur l'enseignant-constructeur, apparaît une flèche supplémentaire. La relation entre l'enseignant et le pôle "institution" est évidemment multiple : prise en compte du programme, gestion du matériel, des salles disponibles, des horaires ...). Mais pour autant, elle ne prend pas en compte des décisions telles que "la séance de travaux pratiques permettra de construire un référent", " les élèves travailleront de façon autonome", "prendre en charge des difficultés". Ceci résulte de choix et de références qui sont propres à l'enseignant, d'où la flèche en retour que nous avons ajoutée.

Le diagramme présenté ci-dessus reflète la construction du TP par l'enseignant, mais ne rend pas compte de son fonctionnement avec les élèves ; pour ce faire, nous le complétons par un nouveau diagramme, centré sur l'élève.

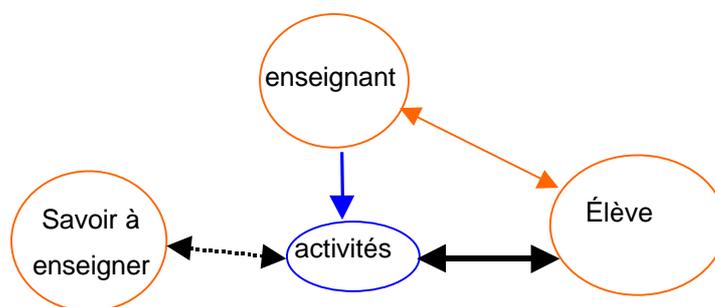


Figure B-11 : l'élève dans l'activité du TP

La flèche en pointillés entre le savoir à enseigner et les activités proposées aux élèves indique un lien ténu : elle traduit qu'un lien direct peut exister, mais que dans les premières analyses que nous avons menées, aucune relation de ce type n'est apparue. Les élèves sont restés dans "le faire" au niveau du monde des objets et des mesures (Bécu-Robinault, 1997) et n'ont pas établi les relations attendues avec les niveaux du modèle et de la théorie. En termes métaphoriques, on pourrait dire que, pour l'élève, derrière l'activité n'apparaît pas toujours le savoir pourtant visé par l'enseignement.

Nous avons vu plus haut que, dans la construction du TP l'enseignant prend en compte à la fois le pôle "institution" et ses propres choix et références. Ce dernier point est en fait essentiel et notre analyse nous a conduit à une structure bipolaire du "noyau professeur". Il est clair en effet que tout un ensemble d'éléments relèvent d'une gestion des contraintes extérieures pourrait-on dire, et que par ailleurs, tout un ensemble de choix repose sur une certaine connaissance de la classe, des élèves, de l'enseignement. Pour la situation de travaux pratiques que nous étudions, à partir de l'analyse des entretiens, il apparaît donc deux ensembles, l'un appelé "gestion des contraintes" et l'autre "modèle pour la mise en œuvre de l'enseignement". Ce dernier recouvre pour chaque enseignant, le modèle qu'il se fait de l'enseignement scientifique et le modèle de l'élève qu'il s'est construit, de façon un peu

générale, ou plus spécifiquement pour la classe qu'il a en charge durant une année. Le modèle pour la construction devient alors :

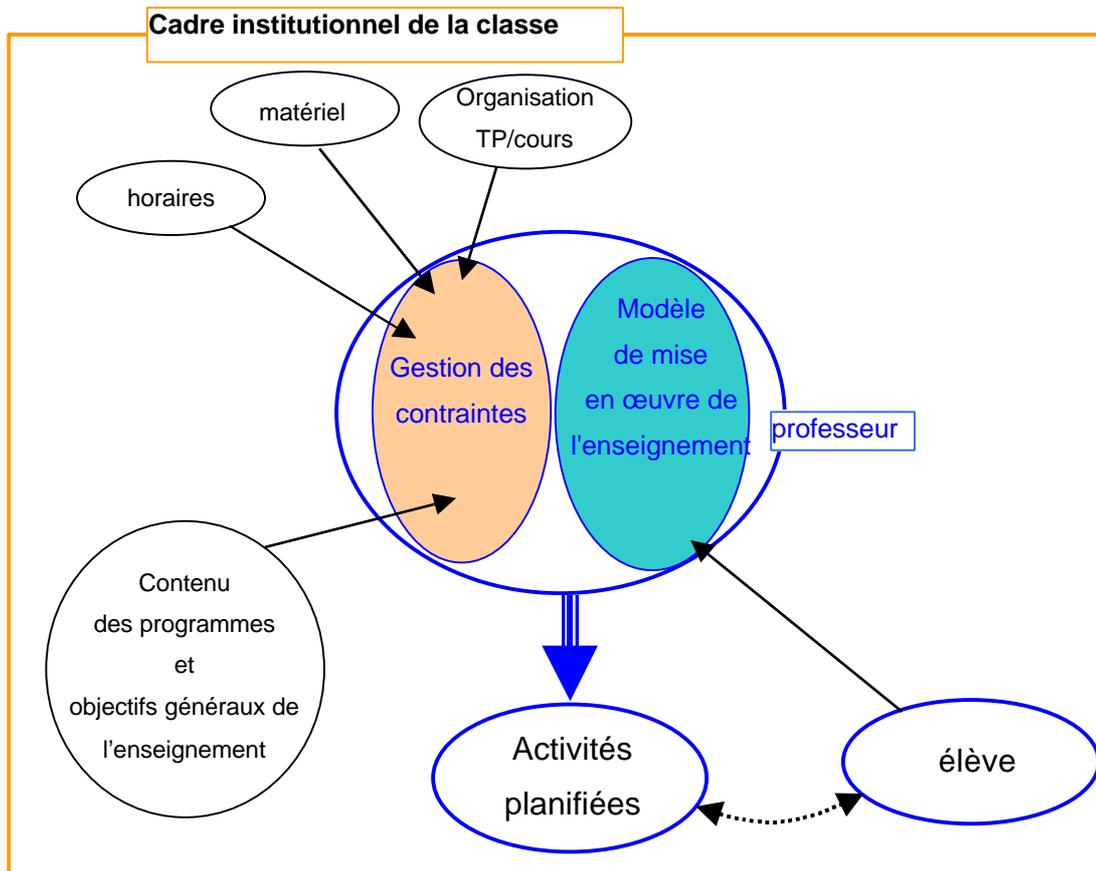


Figure B-12 : modèle final de construction d'un TP

La flèche professeur / activités planifiées représente ici l'activité de construction de l'enseignant.

Il est important de noter que nous avons inscrit *l'ensemble* dans un cadre qui représente le cadre institutionnel de la classe car, s'il ne fait aucun doute que programmes, horaires, contraintes matérielles font partie du cadre institutionnel de l'enseignement, il nous apparaît que l'enseignant est aussi un membre de cette institution et que le modèle de l'élève que nous avons évoqué, n'est pas celui de l'élève-individu-apprenant, mais bien l'élève dans un sens plus générique, "l'élève de la classe X" en quelque sorte.

Dans l'analyse de la construction du milieu que nous ferons pour les différentes séances de travaux pratiques, nous nous appuyerons sur le modèle que nous venons d'élaborer. Les regroupements

d'items de raisons/argumentations/justifications sont modifiés par rapport à ceux qui nous ont servi pour l'analyse des "raisons", et deviennent :

- Pour la gestion des contraintes :
 - gestion des contraintes institutionnelles (matériel, horaires, alternance TP/cours, programmes) : Re1, Re2, Re3, Rp4a;
 - gestion / interprétation des programmes et objectifs généraux de l'enseignement : Rd1, Rd2, Rd3 et Rp5.
- Pour le modèle de mise en œuvre de l'enseignement : Rd4, (prise en compte de l'apprentissage) Rd5, Rd6 (choix pour l'enseignement de la physique) Rp1, Rp2, Rp3 et Rp4b (gestion de l'activité).

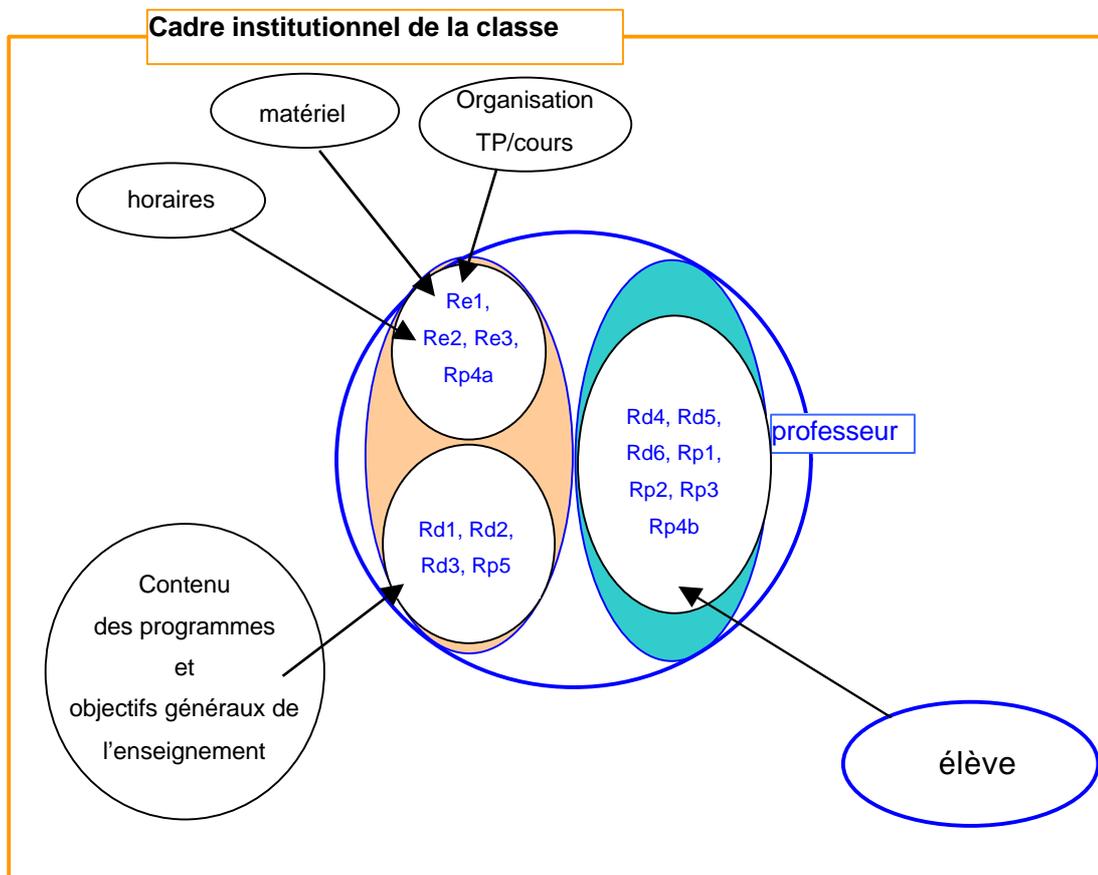


Figure B-13 : le regroupement des items dans le modèle de construction d'un TP

B.4. ANALYSE DE LA CONSTRUCTION DU MILIEU DU TP PAR L'ENSEIGNANT

Nous avons réalisé le codage en planification et "raisons /justifications / argumentations" de chacun des entretiens préalables, mais, sans jusqu'ici nous intéresser à l'articulation du discours de l'enseignant qui explicite (raisons /justifications / argumentations) les choix qu'il a faits lorsqu'il a organisé (planification) le travail de ses élèves. Nous avons relevé que, parfois, la séparation entre planification et raisons s'avérait difficile ; notre objectif ici, est de rechercher et d'étudier les liens établis par l'enseignant entre "raisons" et "planification".

Nous exposons tout d'abord la méthode d'analyse que nous avons mise en œuvre puis, nous présentons de façon détaillée les deux TP portant sur la chute libre, enfin nous donnons un résumé de l'étude de chacun des quatre TP restants (mesures calorimétriques et étude des générateurs et récepteurs électriques), les études détaillées de ces derniers TP se trouvant en annexe.

4.1. Méthode d'analyse

Nous avons fait le choix d'étudier, pour chacune des six séances de travaux pratiques comment l'enseignant a construit le milieu de l'élève. En effet, chacune des situations observée est particulière : pour un même sujet la place dans la progression est différente, un enseignant organise un contrôle en travaux pratiques alors que l'autre, pour le même sujet, demande la rédaction d'une lettre argumentée... Souhaitant étudier les relations entre les choix de l'enseignant et l'élaboration et la gestion de la séance, seule une analyse fine de chaque situation peut nous apporter des réponses.

Pour chacun des TP, nous analyserons comment l'enseignant articule ses choix, les contraintes et la planification des activités des élèves qu'il met en place. Nous étudierons enfin, comment à travers la fiche d'activités il dévolue le travail aux élèves.

Pour réaliser cette étude nous allons nous appuyer sur des outils d'analyse que nous détaillons ci-dessous.

4.1.1. Les relations planification / raisons

En reprenant les entretiens codés, nous avons relevé les unités de planification et les unités de "raisons" reliées dans le discours comme nous le montrons dans l'extrait ci-dessous (E1) :

42		Rd6	oui, j'aime bien, quand ça marche, quand ça marche dans la progression j'aime bien plutôt voir en TP, introduire en TP exploiter derrière, je préfère, mais il y a des fois on peut pas avec (NA)
43			<i>Donc quand tu peux tu fais comme ça (?)</i>
44	Pg2		oui, dès que je peux je fais comme ça
45			<i>et ça t'apporte , tu penses que c'est</i>
46		Rd5	il me semble que les élèves savent de quoi je parle, puisqu'ils l'ont, si tu veux ils l'ont un petit

La construction du milieu du TP

		peu quand même, ils l'ont travaillé, ils ont / comment te dire, ils se sont un peu coltiné avec la difficulté expérimentale, ils ont vu ce que c'était, donc quand moi je vais faire le cours, attention c'est une chute modélisée, idéale etc. ils sauront de quoi je parle, puisqu'ils vont avoir du mal, c'est pas simple / heu, moi j'ai fait des essais à tire larigot, c'était pas évident hein, donc moi je trouve que c'est mieux, ils vont mieux, enfin moi je
47		<i>oui, oui, non, non, c'est ton opinion que je veux</i>
48		par rapport à la chute libre mais pas par rapport, seulement à la chute libre, par rapport à plein de /à plein d'exemples, ouai/
49		<i>donc de l'avoir fait avant eux-mêmes, tu penses que</i>
50	Rd4	moi je pense que ça devrait rester davantage, enfin moi je pense/ ça doit rester davantage

Lorsqu'une unité de planification P est liée dans le discours avec une unité de "raisons /justifications / argumentations R nous définissons un couple noté P/R. Nous décomptons ensuite la fréquence pour chaque combinaison de couples P/R dans le discours de l'enseignant interrogé. Quand une unité de planification est expliquée, justifiée par plusieurs "raisons" distinctes nous décomptons autant de couples planification / raisons que d'items de raisons ainsi, par exemple, quand l'unité codée Pg2 est en relation avec une unité Rd6, une unité Rd5 et une unité Rd4 nous décomptons alors les couples Pg2/Rd6, Pg2/Rd5 et Pg2/Rd4. Nous représentons le résultat sous la forme d'un graphique pour chaque item de raison : nous portons en abscisse les items de planification et en ordonnée le nombre d'occurrence du couple correspondant. Les unités "célibataires" P ou R du discours ne sont pas décomptées ici et ne figurent pas dans le graphique. Nous obtenons un graphique dont un exemple est donné ci-dessous pour les seules raisons liées codées Re2 (contraintes dues au matériel).

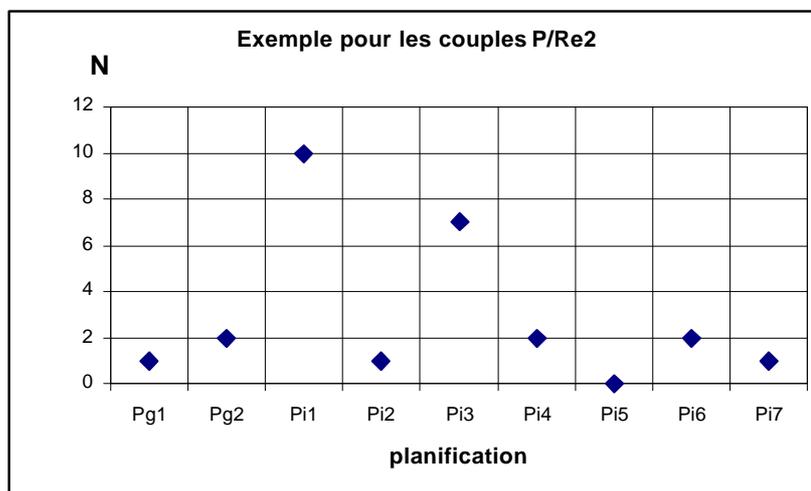


Figure B-14 : exemple de représentation planification / raisons

Dans le bilan des couples P/R planification / raisons pour l'entretien préalable au TP, nous avons regroupé les items de raisons /justifications / argumentations en appliquant le modèle de construction que nous avons précédemment élaboré. Ainsi nous rassemblons l'ensemble des items de raisons qui correspondent aux "contraintes institutionnelles" (programmes, horaires, matériel...), les items qui correspondent à la "lecture des programmes" que fait l'enseignant (enseignement de connaissances,

savoir-faire, objectifs généraux) et enfin tous les items qui caractérisent le modèle de "mise en œuvre de l'enseignement".

Nous obtenons alors un graphique ci-dessous pour l'entretien préalable au TP :

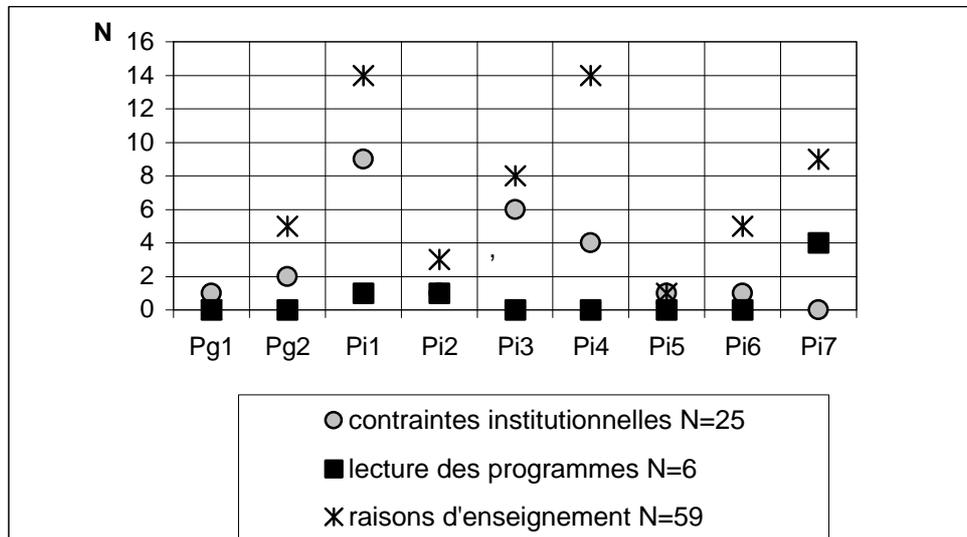


Figure B-15 : Planification / raisons - chute libre - enseignant P2

Nous nous appuyons, pour cette analyse des liens planification / raisons, sur des extraits de l'entretien préalable que nous avons repérés grâce au codage, et nous étudions les raisons /justifications / argumentations que donne l'enseignante pour expliquer la programmation et les activités qu'elle a prévues.

Nota : là encore la fréquence de chacun des couples P/R reste faible, et nous utiliserons ce graphique, non pour obtenir des indications quantitatives mais pour étudier des tendances, des cohérences.

4.1.2. La transmission par la fiche

Nous avons indiqué à plusieurs reprises que la fiche de TP était constitutive du milieu. Dans cette partie de l'analyse plus détaillée, elle constitue une source d'informations essentielle : traduisant le passage de la planification aux "activités planifiées", elle permet d'analyser les activités qui, de fait, sont proposées aux élèves. Dans un grand nombre de cas, comme notre étude exploratoire et les travaux de K. Bécu-Robinault (1997) l'ont montré, les élèves sont dans "le faire" et suivent "à la lettre" les consignes écrites.

Nous proposons dans les deux paragraphes qui suivent, deux "outils" qui permettent d'une part de faire une présentation systématique des fiches pour faciliter les comparaisons et, d'autre part, de communiquer une première description détaillée des activités planifiées.

La construction du milieu du TP

Un cadre "général" pour la présentation du contenu des fiches et documents fournis aux élèves

Nous présenterons chacune des fiches sur un même modèle, dans lequel apparaîtront verticalement les éléments qui, outre la présentation orale faite par l'enseignant, contribuent à la prise en compte en particulier de la (les) question(s) ou le problème de physique à résoudre qui apparaissent en tête de la fiche, comme :

- l'ensemble des connaissances et des renseignements apportés qui peuvent contribuer à un fonctionnement cognitif autonome des élèves : connaissances théoriques, description et mode d'emploi des instruments mis à la disposition des élèves,
- les consignes pour les activités des élèves : consignes pour obtenir les mesures, consigne pour réaliser le traitement des mesures, ..., consignes pour rédiger un compte-rendu ...

tous ces éléments permettant d'interpréter la dévolution.

Nous séparerons dans deux colonnes différentes ce qui apparaît dans la fiche d'activités proprement dite de ce qui se trouve dans les documents distribués aux élèves en complément (descriptifs techniques par exemple)

Nous rajoutons au tableau une dernière colonne, dans laquelle, en reprenant une grille descriptive des activités des élèves en travaux pratiques élaborée pour la recherche (Beaufils et al., 1999, 1) nous caractérisons l'activité planifiée par la fiche.

Nous obtenons pour chaque fiche un tableau dont un extrait est présenté ci-dessous :

Titre Chute libre	Le contenu de la fiche	Le contenu des documents annexes	Caractéristiques de l'activité planifiée et commentaires
Questions ou problème de physique à résoudre	- <i>étudier la vitesse d'un corps en chute libre</i>		
Apports théoriques			
Apports techniques	- Liste du matériel -		
Consignes pour l'activité	- La réalisation de l'expérience et acquisition des mesures		Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées : - lancer le logiciel
Consignes pour la production	- <i>quelles sont les conditions pour réaliser une chute libre ?</i>		Énoncer une connaissance théorique.

Tableau B-1 : extrait du tableau de présentation systématique des fiches de travaux pratiques

Note : nous indiquons en italique les citations extraites de la fiche.

La planification portée par la fiche

Afin d'étudier comment la planification est transmise aux élèves, nous avons réalisé le codage de la fiche qui leur est donnée en utilisant les mêmes items de planification que pour les entretiens préalables. La grille ayant été élaborée pour les entretiens, son utilisation pour le codage des fiches doit être adaptée ou précisée. Nous illustrons par des exemples tirés de la fiche donnée par l'enseignant P2 pour étudier la chute libre, la méthode que nous avons suivie :

Extrait	Code	Règle de codage
<p>A-Objectifs</p> <p><i>Définir le mouvement de chute libre d'un corps.</i> <i>En réaliser une acquisition à l'aide d'un ordinateur .</i> <i>Étudier la vitesse du corps en chute libre</i></p> <p>2-Principe de l'enregistrement</p> <p><i>L'émetteur de la fourchette optique envoie un faisceau I.R , intercepté par un corps opaque ...</i></p>	-	Nous ne codons que la planification des <u>activités et productions</u>
<p>B - Questions</p> <p><i>Définir : chute d'un corps ; chute libre .</i> <i>Quelles sont les conditions pour réaliser une chute libre ?</i></p>	Pi5 et Pi6 Pi5 et Pi6	Nous codons chaque demande, question différente (comme pour les entretiens chaque unité différente). Nous mettons un codage pour l'activité (Pi5) et un codage pour la production d'une réponse écrite (Pi6).
<p>D-Manipulation</p> <p><i>Vérifier que sa partie inférieure est bien placée dans la fourchette optique .</i> <i>Lancer le logiciel Magnum ; dans "interface", choisir le port série utilisé pour l'interface Orphy.</i> <i>Effectuer le " test " préalable pour vérifier le fonctionnement de la fourchette optique .</i></p> <p><i>Sauver les mesures " au format Regressi "</i> <i>Quitter (dans " bureau ") le logiciel Magnum .</i></p>	Pi2 Pi2 Pi2 Pi2 Pi2 Pi2	Nous avons codé chaque action planifiée. Nous les avons codées Pi2 car elles concernent, toutes, l'acquisition des mesures et on trouve des actions équivalentes (Richoux, 1998) avec un matériel non informatisé comme : - relever les résultats dans un tableau - éteindre l'alimentation "...
<p>E-Traitement des mesures avec le logiciel Regressi</p> <p><i>2- Equation horaire du mouvement</i></p> <p>Choisir "Graphe", puis " Coordonnées" : abscisse : t ordonnée : x</p> <p><i>Tracer x(t) : " F5 " .</i></p> <p><i>a-Question : Peut-on exploiter un tel graphe facilement ?</i></p> <p><i>b-Modélisation de l'équation horaire des oscillations :</i> <i>Choisir "Intervalle" puis "Bornes" et choisir avec la souris les bornes extrêmes de la courbe à modéliser .</i> ... <i>Utiliser le relevé de mesures ci-dessous pour tracer le graphe v(t) .</i> <i>Caractériser le graphe obtenu</i> <i>et donner l'expression v(t).</i></p>	Pi3 Pi3 Pi4 Pi3 Pi3 et Pi6 Pi4 et Pi6 Pi3 et Pi6	Équivaut à tracer les axes manuellement Équivaut à placer les points expérimentaux Équivaut à choisir les bornes extrêmes de la courbe à modéliser. Ici on retrouve à la fois l'activité de réaliser un graphe mais également sa production. Idem

Tableau B-2 : méthode de codage des consignes des fiches de travaux pratiques

La fréquence cumulée des items de planification de la fiche nous apportera des indications sur l'encadrement par les consignes des activités des élèves, et par ailleurs la fréquence de chaque item nous renseignera également sur la différence des guidages en fonction des activités planifiées.

Ce cadre de description / analyse de la fiche, n'en donne pas tous les aspects. Ainsi :

- il ne permet pas de montrer par exemple comment sont apportés les compléments (apports théoriques et techniques) ; tous ensemble au début ? répartis en fonction des besoins supposés dans chaque paragraphe de la fiche ?
- il ne permet pas non plus de connaître, lorsque la planification apparaît sur la fiche, l'ordre dans lequel les consignes sont données et dont la connaissance nous est nécessaire pour analyser les activités des élèves.

Nous compléterons alors ce cadre par un graphique indiquant l'ordre des compléments techniques, connaissances théoriques (en gris) et des consignes.

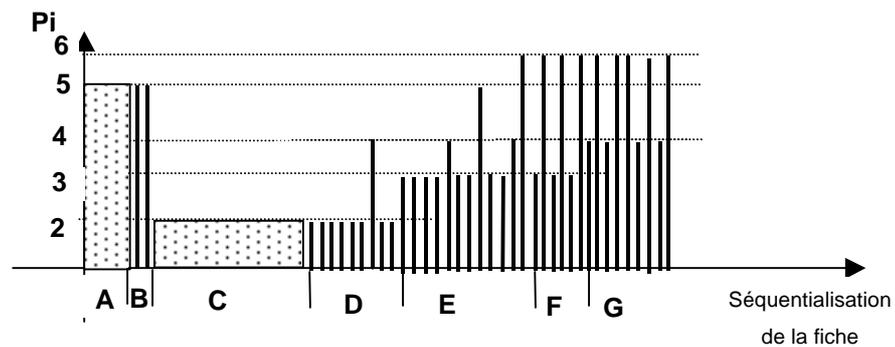


Figure B-16 : planification transmise par la fiche "chute libre" de l'enseignant P2

Les plages "grises" ont des longueurs qui donnent une représentation de la longueur correspondante du texte, chaque segment vertical représente lui une consigne. Nous donnons ainsi une image de la séquentialisation de la fiche.

Pour chacune des six séances de TP nous présentons les différentes facettes de l'analyse dans l'ordre suivant :

- la présentation et l'analyse des liens entre planification et raisons
- la fiche de TP suivant la structure systématique que nous avons définie ci-dessus
- la transmission de la planification par la fiche,

Nous compléterons par une comparaison aux observations de la séance.

4.2. Étude du TP "chute libre" - Enseignant P2

La fiche d'activités que nous étudions (voir fiche en annexe 1) apporte aux élèves, à la fois les objectifs et question de physique, les informations techniques sur le principe de fonctionnement du matériel didactique utilisé (Magnum), les activités à effectuer, les productions à obtenir. On y trouve également un tableau de mesures (obtenu par l'enseignante) que les élèves doivent (peuvent) prendre en compte pour représenter le graphe $v(t)$.

4.2.1. Analyse des liens planification / raisons

Nous nous proposons d'étudier les raisons /justifications / argumentations que l'enseignant donne pour expliquer la planification du TP qu'il a élaboré.

Nous avons réalisé le bilan des couples P/R planification / raisons pour l'entretien préalable au TP et nous obtenons alors le graphique présenté figure B-15.

Nous nous appuyons, pour cette analyse, sur des extraits de l'entretien préalable que nous avons repérés grâce au codage que nous avons réalisé.

Nous étudions ici, les "raisons" que donne l'enseignante pour expliquer la programmation et les activités qu'elle a prévues.

Raisons pour la planification globale (Pg1+Pg2)

Pour ce qui concerne la place du TP par rapport au programme, il n'y a pas de raisons /justifications / argumentations qui soit associées. Le TP se situe dans la progression donnée par les textes du B.O.E.N. :

1.4. Mouvement du centre d'inertie

1.4.1. $\sum \vec{F} = \vec{0}$ Principe d'inertie et définition du centre d'inertie G.

1.4.2. $\sum \vec{F} \neq \vec{0}$ Modification du vecteur vitesse de G (direction et/ou module).

Exemple de la chute libre

E1-34 : *bon si tu veux mon plan de cours / mouvement du centre d'inertie, chapitre 4, donc principe de l'inertie c'est fait, grand un/ après j'ai un grand deux, modification de la vitesse du centre d'inertie c'est fait, [...] et j'ai un grand trois chute libre, [...]*

peut-on alors inférer que l'enseignante ne juge pas nécessaire d'avoir à justifier son choix, qu'elle suive "naturellement" le programme imposé ?

Pour la planification du TP dans la progression c'est à dire par rapport au cours, aux exercices ...les raisons données par l'enseignante sont essentiellement des raisons d'enseignement :

E1-42 : *oui, j'aime bien, quand ça marche, quand ça marche dans la progression j'aime bien plutôt voir en TP, introduire en TP exploiter derrière, je préfère, [...]*

E1-46 : *il me semble que les élèves savent de quoi je parle, puisqu'ils l'ont, si tu veux ils l'ont un petit peu quand même, ils l'ont travaillé, ils ont / comment te dire, ils se sont un peu coltiné avec la difficulté*

expérimentale, ils ont vu ce que c'était, donc quand moi je vais faire le cours, attention c'est une chute modélisée, idéale etc. ils sauront de quoi je parle, puisqu'ils vont avoir du mal, c'est pas simple [...]

E1-50 : moi je pense que ça devrait rester davantage, enfin moi je pense/ ça doit rester davantage [...]

Ainsi le choix de faire réaliser le TP avant le cours, n'est pas lié à des raisons de matériel, d'alternance... mais dans le cas présent c'est bien sa préférence, ses choix pour l'enseignement que présente le professeur P2 : l'obtention d'une référence expérimentale commune doit permettre à ses élèves de "concrétiser" la situation de la chute libre, la réalisation difficile de l'expérience doit leur permettre de mémoriser cette situation.

Pour autant, il est difficile d'affirmer, ici, que ce sont les conceptions de l'enseignante sur le fonctionnement de la science et l'apprentissage qui expliquent ces choix.

Raisons pour la planification de l'organisation de la séance (Pi1)

Quelles sont les raisons qui expliquent que plus du 1/3 des unités de planification concernent cet item Pi1 ?

Les contraintes de matériel (Re2)

E1-94 : donc après on va attaquer la manip, donc que je vais leur expliquer qu'il y a que deux postes d'acquisition/ ça c'est important, il faut qu'ils y passent par groupes de trois, [...], je vais pas leur réexpliquer, ça ils auront qu'à le lire, [...], et je vais leur demander de partir avec leurs mesures sur une disquette, [...] voilà donc de laisser la place libre jusqu'aux 2 derniers groupes qui resteront là où ils sont pour traiter directement leurs mesures, eux ils ont pas besoin d'enregistrer puisqu'il y a aussi Regressi, donc ils resteront là, donc voilà ce que j'avais pensé faire, avec les moyens du bord [...].

Des contraintes de temps (Re1)

E1-52 : enfin bon, je leur donne le matériel, je leur dis comment ça marche, c'est un petit peu ce que j'ai voulu présenter [...], j'ai été obligée de les guider, j'ai qu'une heure et demie [...]

Des raisons d'enseignement liées aux élèves (Rd4+Rp4b)

Mais les "raisons" qui apparaissent avec la plus grande fréquence concernent les élèves : la prise en compte de l'apprentissage (Rd4), les difficultés, les incertitudes quant à leur comportement en classe (Rp4b) :

E1-52 : j'ai été obligée de les guider, [...], en plus le logiciel Regressi ils le connaissent, à mon avis ils le connaissent pas, [...]

E1-94 : oui, c'est ça d'ailleurs je n'ai pas posé de questions j'aurais pu, j'avais hésité, dans mon premier brouillon là/ dans mes premiers brouillons j'avais / là déjà glissé quelques questions disant exprimer / heu/ la position, [...] et puis j'avais mis / exprimer la vitesse, et puis je me suis dit s'ils commencent à réfléchir là dessus, déjà que ils sont pas très rapides, / c'est pas une mauvaise classe hein mais c'est une classe de première, ils ont pas encore de rapidité de raisonnement, je veux dire on fera pas la manip

E1-132 : *mais je suis pas sûre d'avoir une réponse alors [...], et puis quand on va arriver à fonction, je passerai les voir hein, ça ça sera plus par groupe ça hein, les explications là ça sera forcément plus par groupe*

E1-186 : *et même maintenant si jamais au niveau de l'apprentissage de Regressi il y a des groupes qui prennent beaucoup de retard, j'interromprai leur apprentissage, tant pis, on reprendra une autre fois*

E1-98 : *je ne veux pas qu'ils cherchent, donc tous les postes, les 4 postes sur le côté seront déjà sous Regressi, / ils auront même pas besoin d'aller chercher, enfin, j'ai fait des petites icônes, c'est pas difficile, mais je veux pas qu'ils bidouillent, [...]*

Les choix de l'enseignant et ses conceptions de l'enseignement (Rd5+Rd6)

E1-90 : *Voilà, donc là je comptais par rapport à cette question là, la laisser quand même, laisser répondre, mais quand même avoir défini la chute libre avant/ parce que s'ils ont pas de bases ils peuvent rien faire*

E1-94 : [...] *d'ailleurs je n'ai pas posé de questions, je veux dire on fera pas la manip, or c'est quand même la manip qui est importante pour moi*

E1-98 : [...] *les 4 postes sur le côté seront déjà sous Regressi, [...] et puis les deux postes de mesure seront déjà ouverts sous Magnum, qu'ils aient pas trop à chercher, c'est pas la peine, c'est pas un TP d'informatique,/ c'est un TP d'acquisition et puis après d'exploitation, donc voilà.*

L'organisation de la séance est, on le note, très précisément élaborée, argumentée par l'enseignante. La répartition suivante, si elle est justifiée par l'organisation qui est mise en place, apparaît bien différente des autres :

E1-90 : *par contre je laisse / je comptais laisser un petit peu en suspend / la question suivante, leur laisser, la laisser un petit peu libre de réponse parmi eux/ qu'il y réfléchissent ensemble, quelles sont les conditions pour réaliser une chute libre*

Elle n'indique aucun guidage des élèves, elle représente comme une "respiration" dans la programmation d'ensemble des activités. Quelle est sa fonction ? on peut ici inférer qu'elle correspond à une "planification floue ou souple" : les questions, les attentes de l'enseignant n'ont pas obligatoirement de réponses pendant la séance, l'absence de réponse n'hypothèque pas la production attendue pendant la séance. On peut faire l'hypothèse que ces questions permettent à l'enseignant de gérer le travail des différents groupes, en proposant des activités aux élèves qui attendent, ou qui sont particulièrement rapides ; ces questions permettent la gestion pédagogique du groupe. On doit alors retrouver leur utilisation au cours de l'observation de la séance de travaux pratiques.

Les raisons pour la planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

Dans l'entretien préalable la planification des actions des élèves sur le matériel pour l'acquisition des mesures apparaît très peu (6%), celle pour le traitement des mesures guère plus (10%), alors que la planification pour l'analyse de l'expérience et des résultats est, elle, plus finement décrite (17%).

Des raisons d'entreprise (Re1+Re2+Re3+Rp4a)

Elles apparaissent parmi les couples planification / raisons qui concernent les activités des élèves essentiellement pour des difficultés liées au matériel :

E1-130 : *mon idée c'était, puisqu'ils vont répondre non, on va faire bosser l'ordinateur, on va essayer de modéliser, d'accord (?)/ d'accord le problème quand on modélise, tu connais Regressi*

E1-132 : *tu connais Regressi, ben il faut / envoyer l'ordinateur sur une fonction, il va pas modéliser sans rien*

E1-140 : *oui c'est à dire que, si jamais, c'est toujours pareil c'est le problème de Regressi, enfin de la version sous DOS, parce que la version sous Windows est meilleure*

E1-134 : *et je vais leur dire d'après vous pourquoi est-ce qu'on lance ça comme fonction de modélisation, et logiquement ils doivent faire tilt à ce moment là, j'espère, j'espère/ bon mais c'est pas évident hein, pas évident*

E1-136 : *oui parce que / si on lui donne rien comme valeur, il met n'importe quoi, il démarre pas Régressi*

E1-152 : *j'espère pouvoir en faire quelque chose mais c'est pas sûr, je vais te dire pourquoi c'est pas sûr, parce que moi j'ai fait des dizaines d'essais et j'ai des résultats vraiment // qui sont quelquefois très divergents, enfin, très divergents, j'ai eu quelquefois 1% d'erreur, impeccable, / et puis quelquefois j'en avais 15, et tout dépend de ta vitesse initiale*

Des raisons liées à la lecture des programmes (Rd1+Rd2+Rd3+Rp5)

Ces raisons (enseignement de connaissances, savoir-faire, démarche) sont quasiment absentes de l'argumentation de l'enseignante.

Des raisons liées à la mise en œuvre de l'enseignement

(Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)

L'étude du graphique planification / raisons pour les activités des élèves (Pi2, Pi3 et Pi4) montre que ce sont des raisons d'enseignement qui sont le plus souvent données par le professeur P2 (on ne peut guère s'en étonner), mais elles n'apparaissent avec une fréquence assez importante que pour la planification du traitement des mesures et pour l'analyse des mesures relevées ou des résultats obtenus.

Prendre en compte l'apprentissage

E1-90 : *au moment ils font le test pour vérifier si Magnum fonctionne, ils verront les cellules qui s'obturent / en passant le doigt / on leur fait passer le doigt pour qu'ils comprennent bien cette histoire cellules émettrice, réceptrice*

E1-92 : *donc qu'ils m'expliquent comment notre ordinateur va s'y retrouver dans ses calculs / voilà, donc qu'en fait on mesure un temps / ça c'est important / qu'on mesure un temps, mais que le logiciel sait que c'est une échelle qui va défiler / donc je vais essayer de leur faire comprendre ça / voilà*

E1-132 : *je vais leur dire d'après vous pourquoi est-ce qu'on lance ça comme fonction de modélisation, et logiquement ils doivent faire tilt à ce moment là, j'espère, j'espère/ bon mais c'est pas évident hein, pas évident*

E1-168/170/172 : [...], *ensuite le corps étudié est-il isolé (?) / hé ben j'attends que non [...], donc c'est vraiment en relation avec la leçon et / avec juste la question d'avant, pour essayer de faire / faire la relation avec ce qu'on a fait sur le principe d'inertie*

Quelles sont les autres raisons /justifications / argumentations qui expliquent les activités d'analyse programmées ? ce sont des choix propres de l'enseignant dont nous allons détailler quelques exemples :

- Étudier tous une chute avec une vitesse initiale nulle : l'enseignante précise sur la fiche les conditions expérimentales pour tous les élèves (*l'échelle fixée au support par l'intermédiaire d'une ficelle qui sera brûlée, la **partie inférieure, (au départ) bien placée dans la fourchette optique***). La modélisation qu'elle planifie ensuite pour décrire $x(t)$ s'appuie sur cette hypothèse.

E1-120 : [...], *Bon la deuxième source d'erreurs qui, enfin la deuxième possibilité d'avoir un mauvais enregistrement, ils ne peuvent pas le voir là, / moi je sais, c'est qu'ils ne démarrent pas avec une vitesse initiale nulle, [...], mais même en brûlant il suffit que, je sais pas, elle parte mal, enfin bon, c'est difficile, on a du mal à avoir $v = 0$. [...]*,

- Reconnaître g : dans la méthode expérimentale organisée ici, les élèves doivent reconnaître dans la valeur du paramètre k du modèle numérique $v = kt$, la valeur de la l'intensité de la pesanteur.

E1-174 : *et puis la suite / bon après exprimer la vitesse v du corps en fonction de t / donc normalement ils doivent reprendre et donc exploiter leur graphe / et donc mes mesures à moi j'ai trouvé / la pente c'est à peu près 9,4 / bon donc j'aimerais qu'ils reconnaissent g / je sais pas / j'aimerais qu'ils sentent que, peut-être il y a une relation avec g*

E1-178 : *Voilà qui est de l'ordre de 5 on dira, 5 alors en $m.s^{-2}$ aussi, qu'ils fassent la corrélation avec les unités ce qu'on vient de voir, ah tiens, c'est des $m.s^{-2}$ aussi, bon, qu'ils disent ah ben, $g/2$*

- Utiliser un modèle mathématique simple : décrire par un modèle mathématique l'ensemble des points expérimentaux $x(t)$ nécessiterait de prendre en compte la vitesse initiale du solide qui tombe. L'enseignante choisit ici l'hypothèse d'une vitesse initiale nulle parce que les élèves n'ont pas de connaissances mathématiques suffisantes.

E1-152 : [...], *ben oui parce qu'en réalité, ce qu'il faudrait c'est, mais c'est pas ce que je voulais faire, mais tant pis j'ai laissé, il faudrait modéliser $b*t^2+c*t+$ je sais pas quoi, $+c$, d'accord (?)*,

- Gérer la dispersion des résultats : le logiciel de traitement des données affiche simultanément la valeur des coefficients obtenus par optimisation du modèle, l'indication de l'incertitude sur ses valeurs calculées et enfin un "écart relatif" exprimé en pourcentage. C'est de la valeur de cet écart relatif que les résultats obtenus par chaque groupe seront conservés ou pas.

E1-152 : [...], *mais je souhaite quand même qu'ils relèvent le pourcentage d'erreur, / + ou - tant, [...] mais au moins le pourcentage d'erreur parce que ça c'est parlant, de manière à ce que, après, on puisse ou pas garder les résultats de tel et tel groupe, on fera au moins ce tri là.*

E1-208 : *4%, ils savent, parce qu'on en a déjà parlé que quand on est en dessous de 5% dans un TP de physique c'est déjà bien (rires) / je leur ai déjà dit, c'est vrai on en a déjà parlé*

- Expliquer l'écart avec le modèle proposé : l'enseignante connaît (pour les avoir eues) les difficultés à obtenir un fichier de mesures dont les résultats sont satisfaisants ; elle prévoit donc d'analyser les conditions expérimentales pour expliquer les écarts probables au modèle de la chute libre.

E1-208/210 : *donc mon idée c'était de réinvestir un peu tout ça par rapport à notre système de mesures, la manière dont on a conduit nos mesures, notre système expérimental, la manière dont v est acquis, c'est quand même une vitesse moyenne, / sur chaque petit intervalle etc., essayer de leur faire sortir quelques idées, sans formaliser, quelques idées, quelques sources d'erreurs quelques etc. et ce qu'ils pensaient du modèle par rapport à ce qui se passe vraiment/ ça c'était mon idée, [...] non mais en essayant bien quand même de / de concentrer leur intérêt sur les problèmes, tout ce qu'on a pu rencontrer dans l'acquisition, le traitement, tout ce qu'on a laissé de côté etc.*

Raisons pour la planification des productions des élèves (Pi6)

Les arguments qui expliquent la planification de la production apparaissent avec une fréquence faible dans l'entretien préalable. On relève l'importance que donne l'enseignante à l'obtention du graphe "manuel" construit avec le tableau de mesures qu'elle a fourni, à la fois pour la "garantie" d'un résultat acceptable et pour l'assurance que tous les élèves puissent exploiter des mesures pour le cours suivant :

E1-162/164 : [...] *rapides / ils pourront faire $v(t)$ mais ils me feront aussi quand même quelques points à la main*

ouai, puisqu'au moins là les mesures, je sais que ça, j'ai fait mes calculs / avec mon modèle à moi / c'est pas trop mauvais / c'était pas terrible hein / c'est pas extraordinaire c'était / ah j'ai trouvé 9,4 fois t / 9,4 fois t [...]

E1-186 : *et même maintenant si jamais au niveau de l'apprentissage de Regressi il y a des groupes qui prennent beaucoup de retard [...] et ils iront tracer un graphe qu'ils aient quelque chose.*

On retrouve également la nécessité que les élèves aient recopié la valeur du coefficient "a" du modèle obtenu par optimisation logicielle, ainsi que les indications sur la précision du résultat affiché :

E1-146 : [...] *eh bé je veux qu'ils me relèvent tout/ et on en discutera, [...] mais on va en parler justement*

Raisons pour la planification de l'activité de l'enseignante (Pi7)

C'est, dans un premier temps pour l'organisation, puis essentiellement pour apporter des connaissances (Rd1) ou pallier des difficultés rencontrées par les élèves (Rd4 et Rp4b) que l'enseignante prévoit ses interventions pendant la séance :

La construction du milieu du TP

E1-88 : [...] *mais je vais les aider parce que chute d'un corps ça va, mais chute libre, il va falloir définir ce que c'est, [...]*

E1-90 : [...] *je leur expliquerai quand même à tous ce qu'est une interface / hein puisque ce n'est pas une mesure comme d'habitude, [...] donc je réexpliquerai mais très rapidement hein, [...]*

E1-194 : [...] *voilà mais je tournerai hein/ je vais tourner les aider, ils vont m'appeler/ je crois, ils m'appellent tout le temps*

E1-90 : *et si vraiment d'ici la fin du TP ils n'ont pas avancé là-dessus, je regarderai ce qu'ils vont faire, je leur dirai peut-être alors la feuille morte elle tombe comment (?), la plume (?), [...]*

E1-174 : [...] *bon donc j'aimerais qu'ils reconnaissent g / je sais pas / j'aimerais qu'ils sentent que, peut-être il y a une relation avec g et je vais les guider ça c'est évident, ceux qui ne verront pas je vais les aider.*

Nous présentons ensuite la transmission de la planification par la fiche.

La construction du milieu du TP

Chute libre d'un corps (P2)	Fiche	Documents annexes	Caractérisation de l'activité
Questions ou problème de physique à résoudre	- Étudier la vitesse d'un corps en chute libre		
Apports théoriques			
Apports techniques	- Liste du matériel - Principe de l'enregistrement - Tableau de mesures		
Consignes pour l'activité	<ul style="list-style-type: none"> - Manipulation. - - Le traitement des mesures - Équation horaire du mouvement <p>Graphe donnant la vitesse du corps en fonction du temps</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tracer le graphe $v(t)$ - caractériser le graphe et donner l'expression de $v(t)$ <p>Exploitation des résultats</p> <ul style="list-style-type: none"> - Quelle est la nature du mouvement de chute libre ? - Le corps étudié est-il isolé ? - Exprimer la vitesse d'un corps en chute libre [...] en fonction de t - Relation entre v et la hauteur de chute - Quelle est l'influence de la masse du corps en chute libre ? 		<p>Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - effectuer le test... - brûler la ficelle... <p>Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir "graphe" ... <p>Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir avec la souris les bornes ..., - taper $x=b*\text{sqr}(t)$.... <p>Construire une représentation graphique</p> <p>Traiter un graphe</p> <ul style="list-style-type: none"> - reconnaître une droite - Déterminer son équation <p>Lire une représentation graphique</p> <p>Mettre en œuvre un principe</p> <p>?</p> <p>Effectuer un calcul</p> <p>Proposer une interprétation qualitative.</p>
Consignes pour la production	<ul style="list-style-type: none"> - définir : chute d'un corps ; chute libre - quelles sont les conditions pour réaliser une chute libre ? - Relever la valeur de b (dans $x = bt^2$) - Tracer le graphe $v(t)$ et le caractériser - donner l'expression de $v(t)$ - Quelle est la nature du mouvement de chute libre ? - Le corps étudié est-il isolé ? - Exprimer la vitesse d'un corps en chute libre [...] en fonction de t - Relation entre v et la hauteur de chute - Quelle est l'influence de la masse du corps en chute libre ? 		

4.2.2. Transmission de la planification par la fiche

Nous avons réalisé le codage de la fiche pour la planification et nous présentons ci-dessous en superposition, les graphiques représentant la fréquence (exprimée en pourcentage) des items de planification pour l'entretien préalable (E1) et pour la fiche de TP.

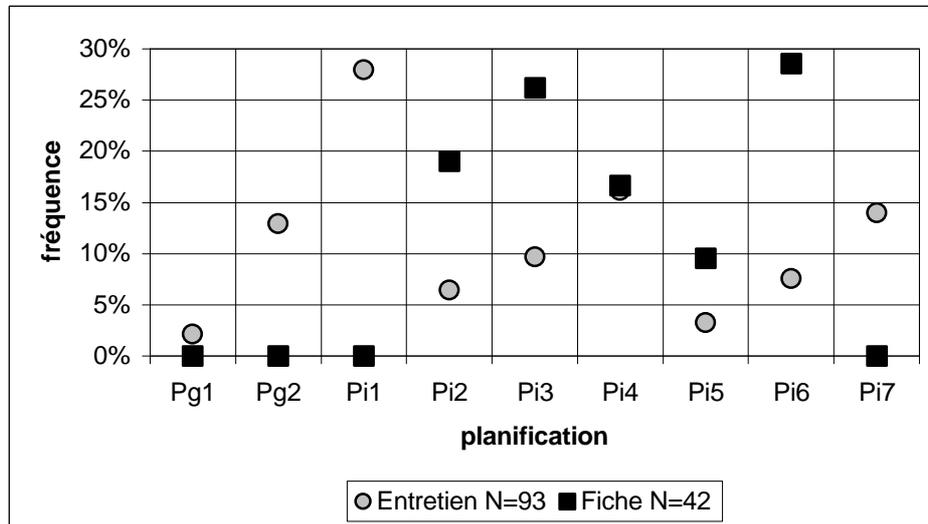


Figure B-17 : Planification dans l'entretien et la fiche de TP
Chute libre - Enseignant P2

Deux domaines de planification apparaissent disjoints, un premier qui concerne la planification générale (programmes, progression), l'organisation d'ensemble de la séance et les interventions de l'enseignant, dont on ne retrouve pas de trace dans la fiche, et le second, la planification des activités et productions des élèves dont la présence, y est très marquée.

L'organisation pédagogique (Pi1)

On relève dans l'entretien préalable qu'environ 1/4 des items de planification concernent l'organisation pédagogique de la séance : la mise en place de l'activité des élèves est prévue de manière détaillée pour l'ensemble du TP comme nous l'avons vu. Parallèlement, aucune indication de la fiche ne transmet cette organisation, c'est l'enseignante qui donnera oralement les consignes nécessaires.

La planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

37% des unités de planification de l'entretien correspondent à la planification des activités des élèves pour :

la réalisation de l'expérience et l'acquisition des mesures (Pi2 = 6)

la réalisation du traitement mathématique des mesures (Pi3 = 10)

l'analyse de l'expérience et des résultats obtenus (Pi4 = 16)

autres activités (Pi5 = 3).

Comment cette planification se retrouve-t-elle dans la fiche pour les élèves ?

La figure B-16 fait apparaître que la quasi totalité des unités de planification de la fiche concernent les activités des élèves, la part restante concernant la production.

Nous retrouvons dans la fiche un découpage séquentiel des actions sur les objets et des activités de traitement mathématique des mesures. Ainsi toutes les consignes pour la réalisation de l'expérience et l'acquisition des mesures (Pi2) se retrouvent dans le paragraphe :

D. Manipulation",

celles concernant le traitement des mesures (Pi3) dans les paragraphes

E ; Traitement des mesures avec le logiciel Regressi"

F. Graphe donnant la vitesse du corps en fonction du temps".

Les consignes concernant l'analyse de l'expérience et des résultats (Pi4), se trouvent essentiellement regroupées à la fin de la fiche et nous les étudierons plus loin.

On relève ainsi une succession de consignes d'action qui guide étroitement les activités des élèves, aussi bien pour la réalisation de l'expérience et l'acquisition des mesures :

vérifier, lancer, choisir le port... effectuer le test, réaliser l'acquisition, suivre les instructions, brûler, valider, sauver",

que pour leur traitement avec le logiciel ou sans le logiciel :

lancer, charger, choisir "graphe...",... tracer, choisir "calcul...", valider, taper, recommencer..

On peut relever que le verbe "choisir" ne laisse aucun choix aux élèves, puisqu'il s'agit pour eux de sélectionner la commande indiquée sur la fiche dans une liste.

C'est bien une planification importante des activités techniques des élèves qui est mise en œuvre ici.

Nous pouvons rapprocher ce résultat de l'analyse que nous avons faites des raisons qui sous-tendent la planification :

E1-62 : dans le premier groupe, c'est réaliser une bonne acquisition, c'est sûrement ça, à l'aide de l'ordinateur effectivement, mais réaliser une bonne acquisition, pour avoir une bonne base de données expérimentales, c'est le plus important

E1-158 : donc lundi je les vois, donc de toutes façons lundi dans le cours il faut que je fasse la chute libre, donc ben la première des choses que je vais faire c'est faire le bilan du TP, mettre tous les groupes au même niveau s'ils ont pas fini

La fiche de TP assure un guidage étroit des activités des élèves. Ce guidage doit être mis en relation avec la difficulté qu'a eue l'enseignante pour obtenir un fichier de mesures "exploitable" (vitesse initiale nulle et suffisamment de points de mesure) lors de la préparation du TP et, également, avec l'absence de connaissances des élèves de l'appareil dédié à la chute libre et des logiciels d'acquisition et traitement qu'elle connaît.

Comment l'enseignant transmet-il aux élèves le travail "d'analyse" (Pi4) des résultats expérimentaux ?

Consigne :

Valider l'acquisition si elle convient, sinon recommencer.

Attente :

(E1- 104, 106) "Moi j'ai fait x essais parce que j'avais deux points...alors deux points de mesure, ça c'est clair hein...(ça fait juste) un peu juste, donc rien que ça ils vont pouvoir se dire que ça c'est à recommencer. Heu, qu'est-ce qu'il y a d'autre aussi, une fois que l'acquisition est continuée il nous affiche $x(t)$ une magnifique parabole ... donc ils peuvent vérifier quand même l'allure de la courbe et voir si elle est bizarre, c'est très intuitif "

E1-120 : [...] ben recommencer jusqu'à ce qu'on ait suffisamment de points. [...]

Consigne :

"peut-on exploiter un tel graphe facilement ?"

Attente :

E1- 130 : [...] non, j'ai envie qu'ils me disent on sait faire quand c'est une droite, / enfin un peu ça quoi/ parce que jusqu'ici en seconde tout était / alors ils vont me dire, oh là, là, enfin bon normalement je m'attends à des grognements/ il y aura bien un ou deux fut-fut qui vont me dire ah ben oh si on dirait une parabole"

E1- 132 : [...] c'est quand même un super problème au niveau de / de la conception du TP parce que j'aimerais bien quand même qu'ils me disent que c'est une espèce de parabole c'est à dire qu'on attend un t^2 , [...]

Quelles sont les connaissances des élèves qui leur permettraient de répondre à ces questions ?

E1-128 : [...] mais je suis pas sûre qu'ils le reconnaissent parce qu'en mathématique c'est pas dit qu'ils soient très avancés / sur les fonctions, c'est pas sûr / ça serait plus une question pour des terminales [...]

On peut relever que cette fois ci les questions, les consignes sont "ouvertes" : les élèves doivent savoir qu'il faut assez de points, que la courbe ne doit pas être "bizarre", ils n'ont pas forcément les connaissances qui leur permettraient de reconnaître une parabole, en tous cas de connaître son équation cartésienne. Ainsi ils n'ont aucun moyen de résoudre le problème par eux-mêmes, il n'y a pas dévolution. C'est *a priori* par effet du contrat didactique que l'enseignante paraît attendre une réponse des élèves.

Les deux consignes "valider l'acquisition si elle convient, sinon recommencer" et "peut-on exploiter un tel graphe facilement ?" permettent l'entrée des élèves dans ce contrat : on peut faire l'hypothèse qu'elles sont là d'abord pour attirer l'attention des élèves sur des difficultés potentielles : difficultés expérimentales qu'a rencontrées l'enseignant ou difficultés liées à l'utilisation, nouvelle pour les élèves en physique, d'une fonction parabolique et les inciter à analyser les résultats obtenus, à passer du "faire" au "réfléchir, critiquer".

Parmi les items de planification, certains correspondent à des attentes de l'enseignant comme :

La construction du milieu du TP

E1-88 : [...] *ils vont prendre des notes j'espère*..:

E1-90 : [...] *ça serait que j'aie le temps, le temps de leur faire dire que le x qu'on va mesurer c'est n fois le [...]*

ou la planification d'activités dont le support n'est pas directement l'expérience comme :

quelles sont les conditions pour réaliser une chute libre ?

Réponse attendue :

E1-90 : [...] *j'attends pas grand-chose, qu'ils me disent qu'on néglige l'influence de l'air. "*

On peut qualifier cet ensemble de "planification floue ou souple". Les questions, les attentes de l'enseignant n'ont pas obligatoirement une réponse pendant la séance, l'absence de réponse n'hypothèque pas la production attendue du TP.

On retrouve dans l'entretien cette même stratégie, ainsi l'enseignante détaille sur la fiche le principe de l'acquisition des mesures avec l'appareil Magnum dont la connaissance lui paraît importante afin de tenir compte d'éventuelles difficultés dans la gestion du temps :

E1-90 : [...] *donc à la limite, si on a le temps, mais c'est pas sûr, tout va dépendre comment on va s'installer / ça serait que j'aie le temps de leur faire dire que le x qu'on va mesurer c'est n fois le petit a qui est le pas de / de l'échelle [...]*

On peut faire l'hypothèse que ces questions permettent à l'enseignant de gérer le travail des différents groupes, en proposant des activités aux élèves qui attendent, ou à ceux qui sont particulièrement rapides ; ces questions permettent la gestion pédagogique du groupe. On doit alors retrouver leur utilisation au cours de l'observation de la séance de travaux pratiques.

Planification de la production (Pi6)

La production de résultats est présente à la fois dans la fiche distribuée aux élèves et dans l'entretien préalable au TP.

Dans la fiche de TP, les titres des paragraphes ou sous paragraphes, les consignes font explicitement référence à la production attendue comme :

E. Équation horaire du mouvement...relever la valeur de b (dans l'expression $x = b \cdot \text{sqr}(t)$)

F. Graphe donnant la vitesse en fonction du temps....donner l'expression de $v(t)$

G. Exploitation des résultats : exprimer la vitesse v d'un corps en chute libre sans vitesse initiale en fonction de t . Unités. Déterminer la relation entre v et la hauteur de chute.....

En dehors des titres et des demandes de rédaction des résultats obtenus, la planification des activités en vue de produire un résultat apparaît clairement dans la fiche.

Pour obtenir l'équation horaire du mouvement, en dehors des consignes pour utiliser le logiciel, les bornes pour la modélisation sont indiquées ainsi que l'expression symbolique de la relation mathématique à proposer $x = b \cdot \text{sqr}(t)$. Même si les élèves n'ont pas reconnu une parabole, ils peuvent obtenir la valeur de la constante b (celle-ci étant calculée par le logiciel par optimisation).

Pour obtenir l'expression de $v(t)$, un tableau des mesures obtenues par l'enseignant est fourni sur la fiche. Le graphe et l'expression du modèle descriptif ne doivent pas poser de problème : il s'agit d'une droite (avec des points ne montrant aucune dispersion) et d'un modèle linéaire.

Pour l'enseignant il est indispensable que les élèves obtiennent les résultats attendus dans les paragraphes E. et F. pour les exploiter ensuite

E1-166 : [...] alors je voulais qu'ils me relèvent les valeurs numériques et l'exploiter dans G.

E1-158 : [...] donc lundi je les vois, donc de toutes façons lundi dans le cours il faut que je fasse la chute libre, donc ben la première des choses que je vais faire c'est faire le bilan du TP, mettre tous les groupes au même niveau s'ils ont pas fini, prendre les résultats et essayer de faire l'exploitation des résultats qui n'aura pas été faite, ça de toutes façons la réponse aux questions G c'est lundi, la correction des questions G c'est lundi. Dans une heure et demie, à mon avis j'ai pas le temps de, / mes rapides oui l'auront peut-être fait, mais moi avec tout le monde.

4.2.3. Comparaison avec les observations

Nous ne présentons ici qu'une "vue" de l'organisation pédagogique de la classe et nous noterons simplement les activités et productions obtenues par les élèves et donnerons un aperçu des échanges entre le professeur et les élèves.

Pour ce travail nous nous appuyons sur différents documents :

- la grille des activités remplie pendant la séance et qui nous permet de suivre le déroulement des activités des élèves,
- les copies de chaque groupe d'élèves,
- l'enregistrement des interventions de l'enseignante et de ses échanges avec les différents binômes d'élèves.

Organisation pédagogique (Pi1)

Les activités des élèves et de l'enseignante se sont déroulées selon l'organisation planifiée par l'enseignante :

- dès le début de la séance, l'enseignante distribue la fiche d'activités du TP puis présente le sujet du travail et pose le problème de la définition de la chute libre. Elle montre ensuite le matériel informatisé pour l'acquisition et explique le principe d'une acquisition de mesures avec ordinateur. Enfin, elle donne les consignes pour l'organisation du travail des groupes.
- les élèves accèdent ensuite aux postes d'acquisition et de traitement par roulement.

La construction du milieu du TP

Dans le tableau ci-dessous nous avons relevé le déroulement des activités pendant la séance de TP :

Durée en min	G1	G2	G3	G4	G5	G6
0	début de la séance de TP travail en commun					
20	Installation acquisition	Installation acquisition				
40	fin de l'acquisition	fin de l'acquisition	installation acquisition	Installation acquisition		
45				Fin de l'acquisition	Installation acquisition	
65	fin pour $x = bt^2$	fin pour $x = bt^2$	fin de l'acquisition			Installation acquisition
70					fin de l'acquisition	
75				fin pour $x = bt^2 ?$		fin de l'acquisition
80					fin pour $x = bt^2$	
85						fin pour $x = bt^2$
90			fin pour $x = bt^2$			

Tableau B-3 : Déroulement des activités des élèves

Les élèves ont donc tous réalisé l'expérience et ont tous travaillé sur un fichier de mesures pour modéliser $x(t)$, A la fin de la séance, le dernier groupe ayant accédé au montage expérimental a réalisé l'acquisition des mesures et obtenu, avec l'aide active de l'enseignante, la valeur du paramètre pour $x = b \cdot t^2$.

On peut également noter que les moments de "planification floue" ont permis que la durée consacrée à l'expérience et son exploitation soit suffisamment longue pour que tous les élèves réalisent l'ensemble :

"si on a le temps, mais c'est pas sûr, tout va dépendre comment on va s'installer, ça serait que j'aie le temps de leur faire dire que le x qu'on va mesurer c'est n fois le a qui est le pas de l'échelle...je n'ai pas posé de questions j'aurais pu, j'ai hésité [...] et puis je me suis dit s'ils commencent à réfléchir là dessus, déjà qu'ils sont pas très rapides [...] je veux dire on fera pas la manip".

Effectivement l'enseignante n'a pas entrepris cette étude avec les élèves mais elle leur a laissé le soin d'y réfléchir :

"donc je voudrais que vous réfléchissiez à la manière dont on peut exprimer l'abscisse sachant que chaque petite raie obscure et transparente ont la même largeur c'est a, donnée dans l'énoncé".

Les activités expérimentales des élèves (Pi2)

Le professeur connaît la difficulté à obtenir un fichier de mesures "exploitable" (vitesse initiale nulle et suffisamment de points de mesure) et connaît également l'origine de ces difficultés. Elles les a pris en compte pour rédiger la fiche d'activités distribuée aux élèves comme nous l'avons déjà signalé.

Que s'est-il passé pendant la séance ? Tous les groupes ont effectivement réalisé une acquisition mais tous ont eu des difficultés, au niveau du logiciel d'acquisition (malgré les consignes), au niveau de l'expérience elle-même puisque, par exemple, un groupe a réalisé l'expérience 6 fois et a exploité le fichier d'un autre groupe. L'enseignante est resté très vigilante et est intervenue de nombreuses fois, soit pour rectifier des erreurs dans l'utilisation du logiciel soit pour rappeler les consignes ou pour aider à la réalisation de l'expérience.

S'il a été simple aux élèves (et à l'enseignante) de vérifier que le nombre de points de mesure était suffisant et que l'allure de $x(t)$ paraissait être celle d'une parabole, vérifier que la vitesse de l'échelle est nulle au déclenchement de l'acquisition n'a pas (n'a pu) été réalisé au vu du graphe affiché $x(t)$ et ne l'a pas été non plus avec les valeurs du tableau de mesures comme l'attendait l'enseignante :

E1-122 : [...] *Magnum affiche aussi v donc comme on aura discuté, là j'ai souligné sans vitesse initiale, ils peuvent déjà vérifier l'ordre de grandeur de v pour leur premier point, s'ils estiment alors, si c'est quelques millimètres seconde moins un, c'est OK, on prend, [...]*

Les activités de traitement des mesures (Pi3)

Tous les groupes ont affiché le graphe des points expérimentaux $x(t)$, proposé la fonction pour la modélisation $x = bt^2$ et obtenu une valeur pour le paramètre b après optimisation (même s'ils ne l'ont pas tous relevée comme le groupe 3). Ils ont réalisé le travail demandé sur la fiche pour cette partie de l'exploitation. Les élèves ont très rarement demandé des explications notamment sur le choix du modèle proposé.

L'enseignante est intervenue pour résoudre des difficultés techniques mais également pour provoquer des discussions autour de la modélisation.

Les activités d'analyse (Pi4)

Les activités d'analyse menées avec l'enseignante sont en nombre limité et concernent essentiellement la manipulation et la superposition des points expérimentaux et du modèle comme nous l'avons relevé précédemment.

Les productions écrites des élèves (Pi6)

E1-146 : "je veux qu'ils me relèvent tout et on en discutera après" (l'affichage pour la valeur de b) : les élèves de 4 groupes sur 6 ont effectivement recopié sur leur compte-rendu les valeurs de b , de l'incertitude évaluée ainsi que l'indication de l'écart relatif. Aucun groupe n'a travaillé sur la vitesse,

avec son fichier de mesures, et seuls les élèves d'un binôme ont représenté $v(t)$ à partir de 5 mesures issues du tableau fourni sur la fiche.

Pendant la séance, essentiellement vers la fin l'enseignante intervient avec insistance pour obtenir que les élèves relèvent leurs résultats. comme sur les extraits suivants :

(P2 à tous) *ceux qui sont retournés à leur place travailler, c'est très bien, je veux une petite rédaction quand même de ce que vous avez obtenu là ! que ça reste, qu'il y ait une trace, comment voulez vous qu'on exploite ça ensuite ensemble lundi, qu'on travaille dessus si ce n'est qu'une mémoire visuelle !*

(P2) *mais non vous me rédigez un petit quelque chose que ça reste, hein*

(G1) *on rédige quoi ?*

(P2) *on rédige quoi ? ce qu'on a vu !*

(P avec G1)...*là peut-on exploiter ? non, pourquoi non ? non brut comme ça ? il faut me rédiger ! modélisation, je vous ai expliqué SQR quand je suis passé vous voir ça veut dire carré. Pourquoi est-ce qu'on a lancé un bt?, d'où ça sort ? vous avez peut-être une petite idée ? bon et puis après vous me dites b, vous me le rédigez, égale tant, le pourcentage vous l'avez pas relevé visiblement, il était donné ?*

Toutefois, la rédaction des compte - rendus reste très sommaire, elle reprend quelques éléments de la présentation initiale faite par l'enseignante puis, de manière générale, les élèves se contentent de recopier l'affichage, sans commentaires.

4.2.4. Un premier bilan

Les choix de l'enseignante qui ont guidé l'élaboration et la conduite de la séance ont été clairement explicités :

- faire le TP avant le cours sur la chute libre pour que les élèves "sachent de quoi on parle",
- établir les relations cinématiques $x(t)$ et $v(t)$ pour le mouvement et en déduire $v(x)$; cette dernière relation est celle du programme et c'est sur elle que repose l'introduction de l'énergie mécanique d'un système,
- étudier la chute de l'objet avec une vitesse initiale nulle.

Les contraintes qu'elle a prises en compte pour l'organisation de la séance sont bien définies :

- un seul type de matériel pour l'acquisition des mesures : une chaîne informatisée en deux exemplaires,
- l'absence de connaissances informatiques des élèves,
- la nécessité d'obtenir, avant le cours suivant, la production des résultats pour $x(t)$ et $v(t)$.

Nous avons relié ces choix et contraintes aux activités planifiées dans le schéma synoptique fig. B-18 présenté ci-contre. Les flèches qui relient les choix et contraintes aux activités correspondent aux différentes planifications mises en place par l'enseignante.

Nous visualisons ainsi que les choix d'enseignement du professeur induisent des contraintes qui, à leur tour, induisent une planification particulière des activités : ainsi quand l'enseignante choisit de

construire la progression de son cours sur la chute libre en s'appuyant sur les résultats quantitatifs obtenus pendant le TP précédent, alors les élèves doivent obtenir les résultats attendus pendant la séance de TP ; alors elle fournit un tableau de valeurs (et non de mesures puisqu'il s'agit des valeurs lissées pour une expérience "qui marche" (Nott et al., 1995)) que les élèves pourront traiter sans ordinateur et qui donne un résultat "pas trop mauvais" pour $v(t)$.

Nous relevons également que l'enseignante gère l'absence de connaissances informatiques des élèves par un guidage étroit des activités (notamment pour la modélisation).

Dans un deuxième temps nous notons que, dans la préparation de la séance, l'enseignante a pris en compte les difficultés potentielles liées au système d'acquisition qu'elle a préalablement détectées : ainsi elle a clairement précisé toutes les conditions expérimentales indispensables à l'acquisition par les élèves d'un fichier de mesures exploitable. Ce guidage s'est révélé efficace puisque, malgré les difficultés réelles que nous avons observées, tous les élèves ont mené à bien l'expérience, obtenu et exploité un fichier de mesures. L'enseignante a géré tous les impondérables.

On peut également remarquer que les élèves, dès qu'ils ont eu accès à l'appareil pour l'acquisition des mesures sont actifs : ils ont réalisé, exécuté la succession des consignes de la fiche, ils n'ont pas eu de moment pour réfléchir.

Tout ce réseau de planifications tressé par l'enseignante pour prendre en compte ses choix et toutes les contraintes caractérise à la fois la forte cohérence dans la construction de ce TP mais également l'expertise de l'enseignante, expertise dans sa connaissance *a priori* des difficultés et dans la projection du déroulement, expertise dans la transmission de la planification (consignes strictes pour ce qui doit être impérativement réalisé et obtenu, des consignes "souples, ouvertes" pour les activités non obligatoires) et expertise quant à la gestion pédagogique de la classe.

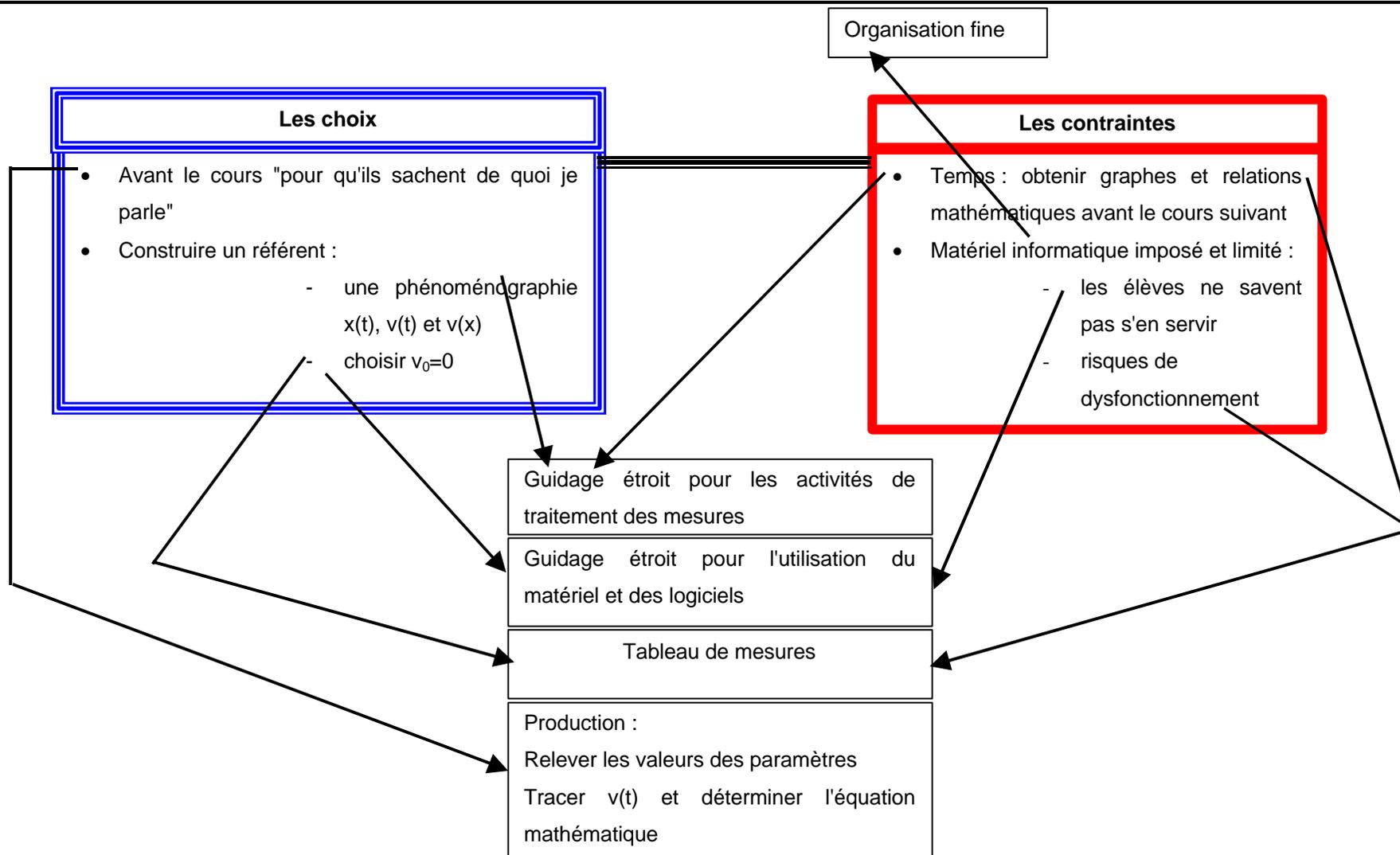


Fig.B-18 : Relations entre les activités planifiées et les choix et contraintes

4.3. Étude du TP "chute libre" - Enseignant P4

Les élèves travaillent sur trois dispositifs expérimentaux (obus de Lefèbvre, chronophotographie et appareil pour l'étude de la chute d'une bille). Ils ont à leur disposition un ensemble de documents (annexe 2) :

- Une fiche de TP en trois parties correspondant dans un premier temps à un travail théorique, dans un deuxième temps à une étude qualitative mettant en œuvre les trois dispositifs et enfin une étude quantitative sur un dispositif à choisir "judicieusement" ;
- Une chronophotographie complétée par le relevé des valeurs des côtes des différentes positions ;
- Une feuille annexe portant des consignes pour la manipulation du matériel, consignes qui ont été réécrites par l'enseignante pour les rendre plus abordable à ses élèves.

4.3.1. Analyse des liens planification / raisons

Comme pour l'étude de la chute libre de l'enseignant P2, nous avons regroupé les items qui correspondent aux contraintes institutionnelles "CI", ceux qui rendent compte de la lecture des programmes "LP" et enfin les items qui constituent le modèle de mise en œuvre de l'enseignement "E".

Nous obtenons alors le graphique ci-dessous pour l'entretien préalable au TP :

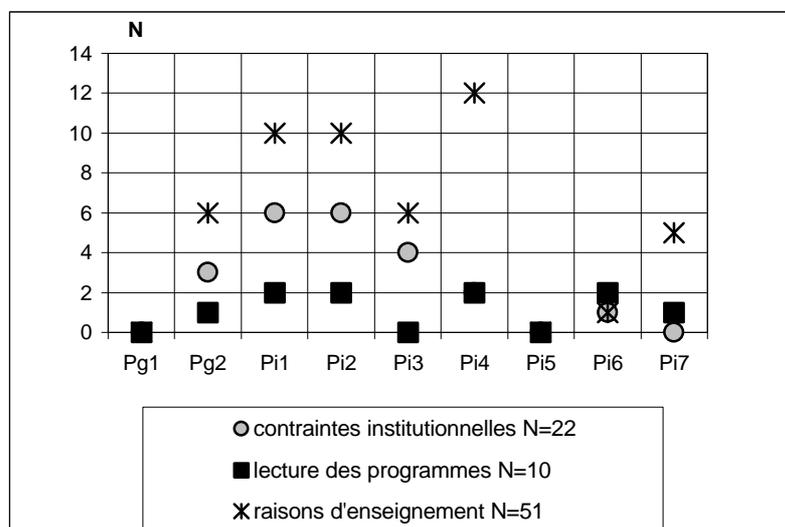


Figure B-19 : Planification / raisons - chute libre- Enseignant P4

Un premier examen de la figure ci-dessus fait apparaître que parmi les raisons que donne l'enseignante, la "lecture des programmes" apparaît très peu, alors qu'elle avance le plus fréquemment des "raisons d'enseignement" pour expliquer la planification des activités des élèves.

En nous appuyant sur des extraits de l'entretien préalable nous étudierons et nous préciserons les raisons, notamment les raisons d'enseignement, qui expliquent la programmation de la séance.

Raisons pour la planification globale (Pg1+Pg2)

L'enseignante n'indique pas que la planification de ce TP dépend du programme mais par contre, elle précise :

E2-1 : si vous n'étiez pas venue, la chute libre je ne sais pas si je l'aurais faite, oui, parce que ça ne me paraissait pas être, par rapport aux programmes, quelque chose à développer, mais ça c'est un premier point, mais étant donné que mes collègues le font je ne voulais pas trop me démarquer, mais je ne le fais pas du tout comme eux, c'est à dire eux ils ont choisi d'étudier v en fonction de h et moi je préfère faire v en fonction de t donc voilà.

Les raisons qu'elle donne pour la programmation du TP s'appuie sur sa lecture/interprétation du programme (qui la différencie des autres collègues) :

E2-5 : et puis quand on lit le // le programme on voit noté // dans le principe d'inertie : somme des forces non nulle vitesse vg enfin vecteur vg varie, point. Exemple, loi de la chute libre, mais / il y a pas vraiment dit qu'il faut étudier en détail, donc ça me paraissait pas vraiment essentiel.

et les choix qu'elle fait en découlent :

E2-31 : et donc c'est une illustration de la conséquence du principe de l'inertie, c'est à dire il est là pour // pour illustrer ça. Il est pas là en lui-même

E2-37 : c'est une su / enfin c'est un, on dira un complément, c'est à dire les élèves pourraient très bien // s'en passer à la limite, c'est pas indispensable à la progression.

Par ailleurs, le choix qu'elle fait d'étudier la vitesse en fonction du temps et non de la hauteur de chute, confirme le statut particulier de ce TP : c'est bien le principe d'inertie qui est l'objet de l'étude.

On relève alors la cohérence entre sa lecture du programme et les activités qu'elle planifie pour les élèves.

Raisons pour la planification de l'organisation de la séance (Pi1)

L'organisation de la séance est prévue de façon très précise par l'enseignante puisque environ 1/4 des unités de planification concernent cet item Pi1.

Quelles sont les raisons qui les explicitent ?

Les contraintes de matériel (Re2)

Les élèves doivent étudier la chute en utilisant 3 dispositifs différents. Les déplacements, permutations des groupes sont alors organisés :

E2-61 : il y en a qu'une de chute de l'obus, la potence / je crois qu'on en a cinq qui fonctionnent donc ils vont être obligés de tourner de toutes façons

E2-75 : en fait ça va être installé, il va y avoir 5 tables, ça ça va être au niveau des tables, on peut voir là

E2-77 : elle est installée déjà, c'est donc, ceux qui n'ont pas le matériel à leur place, donc il va y avoir disons 2 groupes, ben je leur dirai commencez par l'obus, commencez par la chronophotographie

E2-115 : [...] là il y aura des ordinateurs dans la salle mais il n'y en aura pas un par poste, il y en a quatre au fond à demeure, je crois qu'ils m'en auront mis deux sur chariot parce que je ne suis pas sûre du tout qu'à la fin / j'ai marqué, pour faciliter la recherche mais recommandé

Les contraintes de matériel apparaissent donc très clairement au cours de l'entretien.

Les contraintes de temps (Re1)

Nous relevons dans l'entretien des références à la durée de la séance :

175 : [...] Parce que, parce qu'avec l'étude qualitative on n'a pas de quoi faire une séance de TP, c'est pas assez étoffé je dirais

mais nous pouvons noter alors que cette durée n'apparaît pas comme une contrainte :

201 : [...] alors en terminale non, honnêtement en terminale, d'abord en terminale on n'a pas de temps, on peut pas se permettre que les élèves sortent et qu'ils aient pas fini, [...] donc je me suis dit peut-être que en première j'aurais un peu plus de latitude pour faire un peu des choses différentes [...]

elle est présentée comme un élément important dans le choix et l'organisation des activités en classe de première.

Des raisons d'enseignement (Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)

Les raisons d'enseignement apparaissent les plus nombreuses ; ainsi l'enseignante donne, aux élèves, des choix possibles afin qu'ils apprennent l'autonomie :

E2-201 : [...] petit à petit laissé de l'autonomie aux élèves de seconde et si les élèves de seconde s'en sortent après tout je vais peut-être faire la même chose [...]

E2-209 : ils apprennent une certaine autonomie voilà, je dirai ça comme ça, c'est à dire ils commencent par quoi ils veulent, bon s'il y a pas d'ordre évidemment mais a priori // ils font dans l'ordre qu'ils veulent, ce qui les intéresse d'abord,

Mais on peut également relever que ce choix est quasiment limité à l'ordre dans lequel les élèves réalisent les expériences.

Parallèlement, présenter trois montages d'étude permet à l'enseignante d'organiser les activités des élèves tout en gérant des contraintes (de temps ? de matériel ?), des difficultés potentielles :

E2-89 : [...] et donc finalement la chronophotographie, je leur laisse le choix / ici, utiliser un des deux dispositifs restant, s'ils n'ont pas fait l'obus, ils peuvent toujours faire la chronophotographie. Donc c'est ce que je me suis dit, il y aura toujours quelque chose à faire

L'autonomie laissée aux élèves permet également à l'enseignante d'intervenir auprès des différents groupes selon leur demande, comme le lui montrée son expérience en seconde :

E2-201 : [...] parce qu'en IESP / ça dure trois heures et on peut pas être partout à la fois sur 9 postes informatisés, on devient complètement fou au bout de trois heures, donc je me suis dit il faut que les élèves aient de l'autonomie parce que sinon moi je ne vis plus [...]

Les difficultés que risquent de rencontrer les élèves pour la réalisation "autonome" de l'expérience avec l'obus de Lefèbvre sont prévues dans la planification :

E2-127 : [...] parce que a priori ils ont à peu près un niveau équivalent, si le premier groupe arrive avec l'obus, bon pas de problème, si je vois que ça ça va pas du tout je ferai passer un message comme quoi / chaque fois qu'il y a un groupe qui arrive à l'obus il vient me chercher [...]

Les arguments qui sont donnés ici par l'enseignante font apparaître son choix de laisser, de donner de l'autonomie aux élèves ; et parallèlement cette autonomie lui permet, à elle, de gérer ses interventions auprès de chaque groupe, de gérer les activités expérimentales, les difficultés... l'intérêt des élèves et les siens pour la gestion de ce temps d'enseignement apparaissent ici conjointement satisfaits.

Raisons pour la planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

Nous nous intéressons ici aux activités expérimentales des élèves (réalisation de l'expérience, acquisition, traitement et analyse) qui ont été planifiées par l'enseignante et nous analysons les raisons qui expliquent les activités programmées.

Des raisons d'entreprise (Re1+Re2+Re3+Rp4a)

Les raisons institutionnelles qui expliquent la planification des activités des élèves sont essentiellement liées au matériel et à son utilisation par les élèves.

Le matériel utilisé peut être source de difficultés, ainsi l'enseignante a rajouté les mesures de distance sur la chronophotographie :

E2-143 : c'est des distances parce que c'était pas lisible

et les mesures qui restent à charge des élèves sont alors celle des dates :

E2-149 : donc ô, ils ont juste à calculer le t, même pas à calculer puisqu'ils ont les intervalles

Le nombre de points de mesure est notamment lié à la hauteur de chute et dans le cas de la chronophotographie :

E2-161 : je leur ai souvent dit qu'il faut un minimum de 6 points là on peut en faire 1, 2, 3, 4, 5 c'est pas beaucoup

E2-163 : sur l'obus, (NA) il y en a un peu plus quand même, //// on peut en faire nettement plus, bon admettons qu'on élimine, mais il y a un peu plus de points quand même

De même, les difficultés prévisibles pour "reconnaître" la valeur de "g" sont liées à des défauts du matériel :

E2-171 : [...] je crois que la chronophotographie on trouve un peu en dessous et l'obus on trouve souvent un peu en dessus, enfin il y a / il doit y avoir une erreur systématique, je ne sais pas laquelle [...]

Les programmes de première S mais également les matériels mis en œuvre en Terminale S interviennent dans le choix des activités ainsi pour l'analyse qualitative demandée :

E2-91 : (partie qualitative) ça c'est ce qui me paraît être vraiment en rapport avec le programme, le programme c'est ça qu'il y a à faire en fait, somme des forces non nulle, / puisqu'il y a que le poids donc vg varie / point et moi je leur dis puisqu'ils peuvent pas le trouver que seule la valeur varie puisqu'en fait la direction varie pas, ça c'est en fait / c'est ça qui me paraît le plus inter, le plus en rapport avec le programme [...]

Et pour le choix des expériences planifiées

E2-101; : [...] bon, et puis c'est utilisé en terminale aussi, et je ne voulais pas faire une doublette avec la terminale [...]

Des raisons liées à la lecture des programmes (Rd1+Rd2+Rd3+Rp5)

On trouve peu d'arguments qui prennent en compte l'enseignement de connaissances et savoir-faire et démarches mais ce souci est présent puisque :

E2-125 : De voir que c'est pas parce que, que tout matériel n'est pas utile à tout // que en fait pour une expérience donnée il y a / il faut adapter, enfin, comme en chimie / on va pas prendre un ballon quand il faut prendre un bécher, ben en physique c'est pareil [...]

*Des raisons liées à la mise en œuvre de l'enseignement
(Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)*

Pour la situation que nous analysons ici, ce sont essentiellement des raisons d'enseignement qui sont avancées par l'enseignante P4 pour expliquer les activités qu'elle a prévues pour les élèves. Parmi les raisons possibles celles qui reviennent le plus fréquemment sont des raisons d'apprentissage (Rd4), des raisons liées au comportement des élèves pendant la séance (Rp4b) et enfin des raisons propres à l'enseignante Rp6.

Prendre en compte les difficultés des élèves pour l'apprentissage

E2-79 : oui, ça l'obus /// je me suis dit, ils vont faire leur enregistrement, / il y a de nombreuses années j'avais des premières SMS, médico-social, pas très fortes, elles l'avaient fait elles-mêmes leur enregistrement, ça n'avait pas posé de problèmes donc je me dis ils peuvent pas être pire que des SMS, donc pour ça je me suis dit ils vont le faire

E2-51 : bon j'essaie aussi de / de leur donner des extraits de, bon j'ai repris la notice, c'est une très vieille notice donc j'ai pas voulu la photocopier parce qu'il y avait des mots assez anciens et autres

E2-83 : la potence avec les chronomètres en réalité ça leur sert à rien/ parce que, si, l'étude qualitative ils peuvent la faire, mais je leur dis attention l'un des dispositifs n'est pas direct, c'est pas facile en fait à montrer que la vitesse augmente

E2-117 : mais je n'impose pas parce que je suis sûre, je sais qu'il y a des élèves qui le maîtrisent correctement [...], mais c'est pas forcément évident pour tout le monde et donc je veux pas l'imposer on peut le faire sur papier, avec le papier millimétré il y a pas de problèmes

Prévoir les difficultés liées aux élèves

E2-85 : et ils vont voir qu'il faut pas plus que c'est pas deux fois plus, mais j'en sais rien hein, je sais pas du tout, en fait ce sont des élèves assez déroutants parce que ils ne sont pas forts de façon théorique mais ils peuvent avoir des idées, donc peut-être qu'ils auront des idées

E2-121 : Qu'ils aient d'autres idées, ils pourraient aussi essayer [...] alors peut-être qu'ils vont penser plutôt à ça parce que c'est ça nous qu'on a toujours fait, des temps constants, des distances non égales, donc peut-être qu'ils vont essayer de faire ça, je sais pas

E2-173 : je verrai bien, oui leur tableau et puis tracer le graphe et calculer le coefficient directeur avec Regressi, a priori c'est ce qu'ils ont fait mais comme c'est pas moi-même qui l'ai enseigné je ne sais pas comment c'est passé, j'en sais rien

La construction du milieu

Les choix propres de l'enseignant :

Au cours de l'entretien, l'enseignante précise les choix qu'elle a faits, pour les élèves, dans la construction de ce TP comme :

- lire des notices ou des indications techniques pour mener à bien l'expérience :

E2-51 : bon j'essaie aussi de / de leur donner des extraits de, bon j'ai repris la notice, [...] je pense que c'est important pour eux d'être capables de lire des choses un peu techniques entre guillemets, donc c'est pourquoi j'ai / ben voilà, je leur ai fait des petits schémas

E2-79 : et puis moi ça me paraissait intéressant qu'ils / voilà / il faut qu'ils lisent, / qu'ils voient qu'il y a deux boutons, qu'il faut bien déclencher le jet d'encre enfin l'encre avant l'électro-aimant sinon on n'a rien et puis / je crois que tâtonner c'est pas mauvais

- donner du matériel pas forcément utile

E2-125 : De voir que c'est pas parce que, que tout matériel n'est pas utile à tout // que en fait pour une expérience donnée il y a / il faut adapter, enfin, comme en chimie / on va pas prendre un ballon quand il faut prendre un bécher, ben en physique c'est pareil, on a moins l'occasion peut-être de voir ça en fait, parce que souvent on leur donne le matériel dont ils ont besoin et pas celui dont ils ont pas besoin

E2-185 : je pense que la notion de temps est une notion plus intéressante que la notion de distance // bon, c'est tout, c'est pas hé /// pour amener pas des lois horaires évidemment mais, des équations horaires mais tout dans cet esprit là.

- faire réaliser aussi une étude quantitative

E2-175 : alors / il y avait quand même, je voulais quand même, j'avais quand même envie de montrer qu'il y avait une relation, que ça varie mais que ça varie pas au hasard / qu'il y a quand même des lois, même si ces lois on est pas capable avec les connaissances qu'on a de les justifier, mais que // on peut en trouver, et a priori on peut même peut-être, ça peut être intéressant de le signaler, qu'on peut trouver des lois même si on connaît pas la théorie, parce que là / ils connaissent rien

- étudier les variations de la vitesse en fonction du temps et non de la hauteur de chute

E2-185 : je pense que la notion de temps est une notion plus intéressante que la notion de distance // bon, c'est tout, c'est pas hé /// pour amener pas des lois horaires évidemment mais, des équations horaires mais tout dans cet esprit là.

Nous observons que l'enseignante décide des activités des élèves sur des choix personnels qu'elle explicite clairement.

Raisons pour la planification des productions des élèves (Pi6)

Dans l'entretien l'enseignante évoque très peu la planification des productions, mais cette planification y est présente, ainsi :

E2-197 : [...] c'est pour ça qu'ayant la chronophotographie ils peuvent à la rigueur finir chez eux

E2-199 : c'est ça étude qualitative, impérativement, / et avoir / et si ils ne le font pas savoir comment il faut faire pour étudier v en fonction de t , avoir x , qu'ils aient trouvé la méthode / bon là, la méthode est quand même extrêmement simple, quitte à ce qu'ils finissent les calculs chez eux.

On peut simplement remarquer que les élèves peuvent terminer leur travail après la séance et qu'aucun délai impératif ne leur est *a priori* donné pour rendre leur production.

Raisons pour la planification de l'activité de l'enseignante (Pi7)

L'enseignante prévoit ses interventions auprès des élèves avec précision :

- des interventions pour l'organisation :

E2-55 : non, oui oui, bon je vais aller voir de toutes façons, si je vois que personne commence à avec son matériel j'irai les voir mais pourquoi vous commencez pas (?)

- des interventions pour aider les élèves en difficulté :

E2-127 : Oh je vais circuler entre les élèves, je vais je pense /// essayer d'avoir un œil à la fois sur, enfin si les premiers arrivent à faire l'obus, je vais aller voir le premier groupe avec l'obus parce que a priori ils ont à peu près un niveau équivalent, si le premier groupe arrive avec l'obus, bon pas de problème, si je vois que ça ça va pas du tout je ferai passer un message comme quoi / chaque fois qu'il y a un groupe qui arrive à l'obus il vient me chercher

E2-133 : mais enfin je sais qu'il y a des élèves [...] qui peuvent rester une heure sans savoir rien faire et sans appeler d'aide sans demander d'aide, donc celles-là systématiquement je vais les voir [...]

- des interventions pour adapter la difficulté des situations à étudier aux élèves

E2-144 : / quand il va y avoir marqué utiliser un des deux dispositifs restant, c'est un petit peu vicieux parce que j'ai pas marqué au choix, c'est à dire je vais aller voir les élèves, les bons groupes, je vais leur dire étudiez l'obus / et les autres ils étudieront celui-là ; je vais orienter voilà oui, oui, oui

À travers ces quelques extraits, on relève la précision de la connaissance que possède l'enseignante de la classe et des élèves en particulier.

La construction du milieu du TP

Étude de la chute libre P4	Fiche	Documents annexes	
Questions ou problème de physique à résoudre	<ul style="list-style-type: none"> - 2 questions sur la réalisation d'une chute libre : - <i>Vérification d'une conséquence du principe d'inertie à l'aide de trois dispositifs expérimentaux</i> - <i>Trouver la relation mathématique existant entre V_g et la durée de la chute t</i> 		<i>Les questions sont fournies les unes après les autres à chacune des trois étapes du TP</i>
Apports théoriques	<ul style="list-style-type: none"> - Définition de la chute libre - Analyse théorique en relation avec le principe d'inertie, amenant à la prévision : la valeur V_g doit changer 		
Apports techniques	Description très sommaire des 3 dispositifs expérimentaux	<ul style="list-style-type: none"> - Extraits de la notice de l'appareil pour l'étude de la chute libre d'un cylindre - Consignes pour l'utilisation de la potence et du chronomètre - Chronophotographie 	-
Consignes pour l'activité	<ul style="list-style-type: none"> - <i>Utilisez ces trois dispositifs pour atteindre le but recherché</i> - <i>Utilisez un des deux dispositifs restant pour atteindre le but recherché</i> 		Proposer et mettre en œuvre une méthode d'étude qualitative - une méthode d'étude quantitative
Consignes pour la production	<ul style="list-style-type: none"> - Liste des éléments qui doivent figurer dans le compte-rendu. 		

4.3.2. Transmission de la planification par la fiche

Nous avons réalisé le codage de la fiche pour la planification et nous présentons ci-dessous en superposition, les graphiques représentant la fréquence des items de planification pour l'entretien préalable (E2) et pour la fiche de TP (annexe 2).

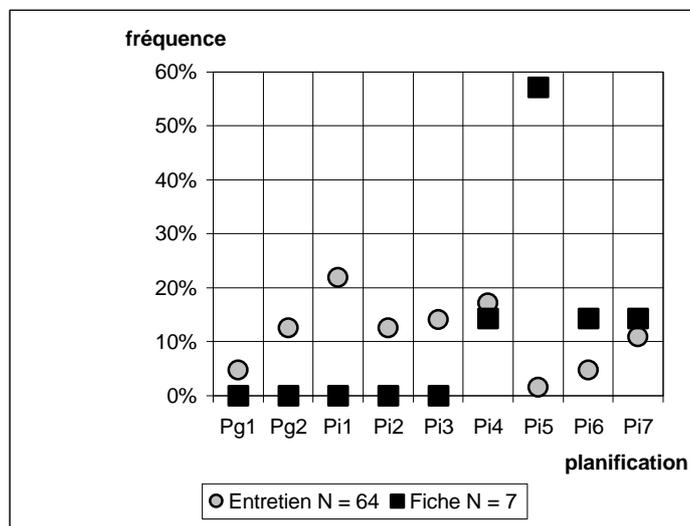


fig. B-20 : Planification dans l'entretien et la fiche de TP - Chute libre - Enseignant P4

De la lecture du graphique ci-dessus, on note que la fiche apporte un nombre très faible de consignes (N = 7) alors que, comme nous venons de le voir avec l'entretien, la planification est réelle (N = 64). Nous étudions ci-dessous plus précisément comment l'enseignante transmet cette planification aux élèves.

La planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

46% des unités de planification de l'entretien (annexe 8) concernent les activités des élèves :

la réalisation des expériences et l'acquisition des mesures Pi2 = 8

la réalisation du traitement mathématique Pi3 = 9

l'analyse des expériences et des résultats obtenus Pi4 = 11

autres activités Pi5 = 1

Comment cette planification se retrouve-t-elle dans la fiche pour les élèves ?

Nous avons reproduit dans la figure ci-dessous la succession des consignes de la fiche telles que nous les avons codées :

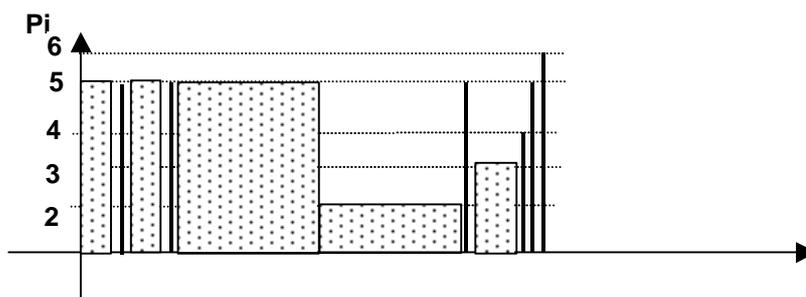


Figure B-21 : planification transmise par la fiche "chute libre" enseignant P4

(en grisé figurent les apports de connaissances théoriques en relation avec l'activité codée Pi5; les apports de connaissances en relation avec les expériences Pi2 ou avec la modélisation Pi3).

Nous relevons tout d'abord qu'il n'y a aucune consigne sur la fiche pour les activités expérimentales et le traitement mathématique des mesures. Les instructions qui apparaissent sont très générales et nous les avons codées Pi5. La fiche ne donne aucune indication, aucune méthode pour montrer que la vitesse de l'objet varie ou pour déterminer la vitesse de cet objet sur la chronophotographie ou sur l'enregistrement obtenu avec l'obus de Lefèbvre. Elle ne fournit non plus aucune indication directe pour la partie **Modélisation** : nous relevons une seule consigne pour le travail d'analyse codé Pi4 qui concerne le choix d'un dispositif adapté pour répondre à la question quantitative posée.

Nous observons ainsi un très grand écart entre la planification faite par l'enseignante et qui a été détaillée dans l'entretien préalable et la planification qu'elle transmet à ses élèves : celle-ci ne transparait quasiment pas sur la fiche.

Qu'en est-il des apports de connaissance de la fiche ?

Les apports de connaissance sur la fiche sont répartis tout au long de l'activité et ils sont en corrélation directe avec la consigne qui suit.

Une analyse plus fine de la nature de ses apports fait apparaître que les élèves trouvent de nombreux renseignements sur la fiche pour répondre aux questions qui leur sont posées. Ainsi, soit dans les notes, soit dans le paragraphe suivant on retrouve des mots-clés (air, résistance de l'air), des "indices" pour orienter la réponse ($f = kv^2$), le résultat de l'étude qualitative ("après avoir vérifié que la vitesse augmente au cours du temps").

Qu'en est-il du contenu des documents annexes ?

Avec la fiche, les élèves reçoivent une chronophotographie et une "feuille annexe".

Le document portant la chronophotographie est particulièrement "travaillé" puisque, à côté à la photographie, sont schématisées les positions successives de la bille, que les distances en grandeur réelle sont indiquées, que les numéros des photographies successives sont précisées ainsi que l'intervalle de temps qui sépare deux positions successives de la bille. Il n'y a donc aucune activité des élèves prévue pour l'acquisition des mesures sur la chronophotographie.

Sur la fiche annexe, les élèves trouvent des indications pour réaliser l'enregistrement de la "chute libre d'un cylindre" (l'obus) et pour utiliser le montage avec potence et chronomètre :

E2-51 : bon, j'essaie aussi de leur donner des extraits de, bon, j'ai repris la notice, c'est une très vieille notice donc j'ai pas voulu la photocopier"

On peut remarquer qu'il ne s'agit pas d'une notice technique mais d'une fiche comportant des consignes d'action très précises pour la réalisation :

La construction du milieu du TP

"frotter l'altuglas... appliquer le papier...faire fonctionner l'électro-aimant,... vérifier que l'encrier.....prélever l'enregistrement et absorber l'excès d'encre..."
mettre en fonction le support de la bille... remettre le bouton à zéro en appuyant"

4.3.3. Comparaison avec les observations

Organisation pédagogique

Nous avons relevé dans le tableau ci-dessous les différentes phases de déroulement de la séance. On peut noter qu'au bout d'une heure, devant les difficultés techniques pour obtenir un enregistrement avec "la chute de l'obus", les élèves n'ont plus utilisé cet appareil.

Durée en min	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8
0	Distribution des 3 fiches et lecture de la fiche d'activités par chaque élève. Présentation des activités du TP et démonstration pour la réalisation d'une chronophotographie de chute verticale							
18	Bille	Bille	Obus	chrono	chrono	Bille	Bille	Bille
		Bille et chrono						
30			Fin de l'enregistrement	Obus avec G7	Bille		Obus avec G4	
60				fin de l'enregistrement			fin de l'enregistrement	
75		Début 3°					Début 3°	

Tableau B-4 : déroulement des activités des élèves pendant la séance de travaux pratiques

Au niveau organisation, comme prévu l'enseignante distribue les feuilles aux élèves et leur demande de les lire, comme prévu elle leur montre le matériel et fait, avec leur aide une "simulation" d'une chronophotographie.

Puis, les élèves qui ont trouvé sur leur table habituelle le matériel potence et chronomètre travaillent sur ce montage, l'enseignante attribue la chute de l'obus au binôme G3 et donc les autres groupes (G4 et G5) travaillent sur la chronophotographie.

Activités des élèves

Sur la durée de la séance quatre groupes n'ont travaillé que sur l'étude qualitative pour un seul montage : G1 (bille), G3 (obus), G6 (bille) et G8 (bille), les quatre autres groupes ont travaillé sur l'étude qualitative pour deux montages (bille et chronophotographie ou obus et chronophotographie). Parmi eux, les groupes 2 et 7 ont abordé la partie modélisation : "quel dispositif ne vous semble pas adapté au but recherché ?"

Les interventions de l'enseignante ont été techniques pour l'acquisition d'un enregistrement avec l'obus, la réalisation de l'expérience étant délicate (l'encrier ne tourne pas, l'encre n'est pas éjectée régulièrement, ...), mais toutes les autres discussions avec chaque groupe ont porté sur l'étude qualitative de la chute :

- pour éviter que les élèves ne fassent des mesures (ou des calculs) d'emblée :

G4 : on va calculer quoi ?

P4 : Avez-vous vu le titre du paragraphe ? est-ce que j'ai marqué "étude quantitative" ?

G4 : Qualitative

P4 : Qualitative, donc qualitative donc a priori il y a pas de calculs à faire, [...]

et :

P4 : il s'agit pas de faire des mesures pour le plaisir de faire des mesures, je ne sais pas si vous faites les choses au hasard, si vous n'avez pas de méthode bien précise vous n'arriverez à rien.

- pour aider les élèves à construire leur démarche :

G7 : Est-ce qu'on peut dire à chaque fois que nous augmentons la distance, le temps entre le point de départ et le point d'arrivée augmente ?

P4 : Ça on s'en doute, il faut plus longtemps pour aller de 0 à 50 que pour aller de 0 à 100, ça vous m'apprenez rien

G7 : Parce que la distance elle est plus longue, ça veut pas dire que la vitesse augmente

P4 : Alors je vous donne une petite piste pour y arriver, je vous conseille, vous avez fait 60 et vous avez fait 120, regardez ces deux choses [...]

Ce n'est que vingt minutes avant la fin de la séance qu'elle donne des indications pour réaliser l'étude quantitative finale :

P4 : Pour la modélisation on cherche une relation entre la vitesse et le temps, il ne s'agit pas de me dire $v = d/t$ c'est pas du tout ça que j'attends, il s'agit de trouver une relation entre la vitesse à un instant précis et le temps total depuis le début. La bille commence à tomber à 0 s, je veux pouvoir prédire quelle sera la vitesse quand elle passera à tel endroit au bout de...

et à la fin de la séance :

P4 : je voudrais pas que vous restiez sans pouvoir terminer. Avec un des 2 enregistrements, soit vous avez l'obus mais il y a très peu qui l'ont, tout le monde a la chronophotographie, vous allez pouvoir calculer des vitesses, vous savez le faire, on l'a fait en début d'année, donc ça je ne ré-explique pas vous vous débrouillez. Donc [...].

On retrouve bien dans les interventions de l'enseignante son intention première de faire construire à ses élèves une démarche qualitative. La partie quantitative n'est abordée par aucun élève dans la séance : les indications du professeur devraient leur permettre de terminer le travail.

Les productions écrites des élèves

Dès le début de la séance l'enseignante précise :

"Bien donc ce TP donnera lieu à un compte-rendu, je ne pense pas que vous aurez le temps de le terminer à la fin de la séance donc, pour vendredi de la semaine prochaine, un pour deux."

et après la présentation générale elle indique à tous les élèves :

"Alors si les questions vous bloquent je préfère que vous passiez à la partie expérimentale, si vous avez la réponse vous pouvez déjà la préparer sur le brouillon, [...]"

On retrouve ici que la production de résultats et d'un compte-rendu n'est pas impérative dans la durée de la séance et d'ailleurs aucun élève ne rendra un compte-rendu à la fin de la séance.

Quelles sont les réponses rédigées par les élèves ? nous n'en donnerons ici qu'un bref aperçu.

Les questions théoriques

Aux deux premières questions, six groupes sur les huit font intervenir l'air pour les interactions avec l'objet qui chute :

G8 : par définition un objet est en chute libre lorsqu'il n'est soumis qu'à son Poids. Or, on doit considérer la force exercée par l'air : donc on ne peut pas réaliser et étudier une chute libre. [...] avec ces recommandations, nous voulons que l'air n'ait quasiment aucune importance dans l'expérience.

La description des expériences

Pour la présentation des expériences, trois binômes réalisent des schémas commentés des différentes expériences mais les autres groupes décrivent les enregistrements ou les mesures et non les instruments.

L'étude qualitative

Dans l'étude qualitative, tous les groupes, sur une ou plusieurs expériences expliquent comme le groupe 3 :

"Chronophotographie : on remarque que la distance, chaque fois que le stroboscope éclaire la bille, qu'elle augmente du précédent donc la vitesse augmente

Obus : on remarque que la distance entre chaque trait augmente donc tout au long du trajet la vitesse augmente

Bille (chronomètre) : : on remarque qu'à chaque fois qu'on augmente la distance, la période entre le début et la fin de la chute n'augmente pas de la même façon, elle n'est pas proportionnelle.

"On observe en effet, une augmentation de la vitesse dans ces expériences. Alors on peut dire que dans n'importe quel chute libre, la vitesse augmentera"

Ils travaillent, pour la plupart sur un tableau de mesures (x, t) pour étudier la chute de la bille, parfois sur le graphe x(t). Il concluent de façon analogue au groupe G2 :

*"la bille a parcouru 50 cm en 0.32 s mais a parcouru 100 cm en 0.46s. Comme la bille parcourt en tombant 50 cm en 0.32s alors elle devrait parcourir 100 cm en 0,64 s (tps*2) or elle met 0,46 s. Donc proportionnellement V_g sur 50 cm > V_g sur 100 cm. Donc la bille lors de la chute libre parcourt plus de distance en un plus petit temps"*

Le choix du montage pour mener l'étude quantitative

Deux groupes choisissent le montage avec la bille et cinq l'enregistrement chronophotographique. Les autres montages sont éliminés le plus souvent sans argumentation : "*bille, potence dispositif mal adapté*" ou avec des justifications qui ne reposent pas sur une analyse "*l'obus car on n'a pas de mesures en cm par rapport au temps*"(G1). Un seul groupe (G5) élimine la chute de la bille "*car ce dispositif mesure la vitesse moyenne et non la vitesse instantanée*".

Le traitement quantitatif

Sur les huit groupes, sept ont amorcé l'étude quantitative demandée, tous en étudiant la vitesse moyenne du mobile (bille ou obus) en fonction du temps (même le groupe G5) : aucun groupe, dans les commentaires, ne distingue vitesse moyenne et vitesse instantanée, aucun n'explicite la méthode de calcul de la vitesse. Six groupes sur sept tracent le graphe v(t) et une droite passant entre les points, sans établir l'équation de la droite, sans donner de commentaires ni écrire de conclusion.

4.3.4. Un premier bilan

Ce TP est articulé autour de choix clairement exprimés par l'enseignante parmi lesquels on peut relever :

- un choix en relation avec la lecture des programmes : étudier la chute libre comme une conséquence du principe d'inertie, et donc privilégier l'étude qualitative ;
- des choix d'enseignement :
 - donner de l'autonomie aux élèves,
 - leur apprendre à lire des notices "techniques"

Les choix, autonomie des élèves et étude de la chute libre comme une conséquence du principe d'inertie se retrouvent traduits dans les activités construites par l'enseignante :

- ainsi, pour étudier la chute libre, l'enseignante demande aux élèves, dans l'étude qualitative par exemple, d'utiliser les trois dispositifs expérimentaux pour montrer que la vitesse de l'objet varie : les connaissances correspondantes pour la vitesse sont *a priori* acquises par les élèves, à ce moment du cursus scolaire ; on retrouve une situation analogue pour la troisième partie (étude quantitative) et une situation voisine dans la première partie où l'enseignante apporte sur la fiche les connaissances que les élèves doivent ensuite mettre en œuvre. Les élèves ont donc les

moyens de répondre, en autonomie, aux questions posées. Leur travail consiste à faire fonctionner les appareils mis à leur disposition, à décider des mesures à réaliser ou à interpréter un enregistrement ...pour mener à bien l'étude prévue par l'enseignante.

- En conséquence, ce choix lui fait éliminer dans l'ensemble des montages qu'elle propose aux élèves, tous les systèmes d'acquisition informatisés (pourtant disponibles) ; en effet ceux-ci fournissent des tableaux de mesures dont les élèves ne maîtrisent ni la confection (construction), ni le traitement (et de plus leurs connaissances, leurs compétences en la matière ne sont pas homogènes *a priori*).
- Apprendre à lire et utiliser des notices techniques apparaît alors en cohérence forte avec le choix d'un travail autonome des élèves.

Nous avons fait apparaître dans le schéma synoptique (fig. B-22), les relations entre les activités programmées, les choix de l'enseignante et les contraintes qu'elle prend en compte.

Qu'en est-il de l'autonomie des élèves ? Laisser les élèves réaliser leur travail en autonomie est un choix fort de l'enseignante, qui apparaît aussi bien dans l'entretien que sur la fiche de TP comme nous l'avons déjà relevé.

Comment se traduit cette autonomie dévolue aux élèves ?

- Choisir l'ordre pour réaliser les expériences,
- réaliser les expériences en suivant la notice,
- décider de la méthode pour répondre à la question,
- réaliser les mesures nécessaires,
- tracer et exploiter un graphe,
- rédiger les réponses aux questions posées.

Nous avons vu, lors de l'observation, qu'effectivement les élèves ont décidé des méthodes, qu'ils les ont mises en œuvre ; nous avons également relevé que l'enseignante les a aidés à formuler les questions, mais ne leur a pas apporté les réponses ; elle les a aiguillés vers des démarches qualitatives (alors que spontanément les élèves font des mesures avec la chute de la bille). Une partie importante du temps a été consacré à la discussion, discussion entre les élèves du binôme, discussion avec l'enseignante.

Nous notons une cohérence forte en termes de dévolution, entre le choix de laisser les élèves décider eux-mêmes de la méthode à mettre en œuvre pour répondre à la question posée et la réalisation en classe. On peut également noter que, pendant la séance les élèves, dans leur majorité, n'ont pas abordé l'étude quantitative finale, ils ont pris, ils ont eu, le temps de mener à bien l'étude qualitative. Ils n'ont pas terminé, pour la fin de la séance, leur travail et n'ont pas rendu de production.

Ces productions des élèves ne sont pas indispensables pour la progression ; l'enseignante ne fixe aucun impératif pour la séance, mais

"je voudrais que tout le monde lise ce qu'on attend de vous dans la modélisation [...] que vos puissiez le faire chez vous"

"je ne voudrais pas que vous restiez sans pouvoir terminer"

la présence de la chronophotographie parmi les documents à exploiter devient alors claire : elle permet que les élèves terminent seuls l'étude quantitative (même en cas de défaillance de l'appareil de Lefèbvre).

On peut remarquer que les élèves ont effectivement fourni un travail écrit, une production globalement satisfaisante pour l'étude qualitative, et qu'ils ont tous utilisé la chronophotographie pour répondre à l'étude quantitative.

Parallèlement, on peut s'interroger sur le travail réellement dévolu :

- les questions auxquelles les élèves doivent répondre portent sur la variation de la vitesse de l'objet, pas sur le principe d'inertie ; en effet c'est l'enseignante, dans les apports de connaissances de la fiche, qui met en œuvre le principe d'inertie, le niveau de la théorie, pas les élèves.
- elle leur donne une notice "technique" pour qu'ils réalisent seuls les expériences, mais cette notice est réécrite par ses soins, et a plutôt un statut de feuille de consignes techniques ;
- elle fournit une chronophotographie, mais celle-ci est accompagnée des valeurs des mesures etc. les élèves n'ont plus aucune mesure à réaliser, aucune échelle à prendre en compte,
- elle prévoit, pour l'étude quantitative, d'orienter les élèves les plus faibles vers la chronophotographie (vitesse initiale nulle) et non vers l'enregistrement de la chute de l'obus (vitesse initiale non nulle).

Finalement, comme elle le précise dans l'entretien après la séance "peut-être que pour des élèves pas faibles j'aurais pas redit ça (la seule force extérieure) voilà, ça c'est du cours, je leur aurais pas répété par exemple[...] j'aurais peut-être été encore moins directive", "j'aurais attendu une réflexion plus spontanée", "je valoriserais la troisième partie"(quantitative). Elle a ainsi adapté à ses élèves faibles le niveau des connaissances qu'ils doivent utiliser.

Ce premier bilan fait donc apparaître une cohérence forte dans la construction du milieu par l'enseignante. Il faut y ajouter le niveau d'expertise de l'enseignante : la planification des activités intervient dans toutes les étapes ainsi, à la prise en compte des connaissances des élèves, de leurs difficultés particulières, s'ajoutent la gestion des contraintes matérielles, la prévision de difficultés instrumentales potentielles.

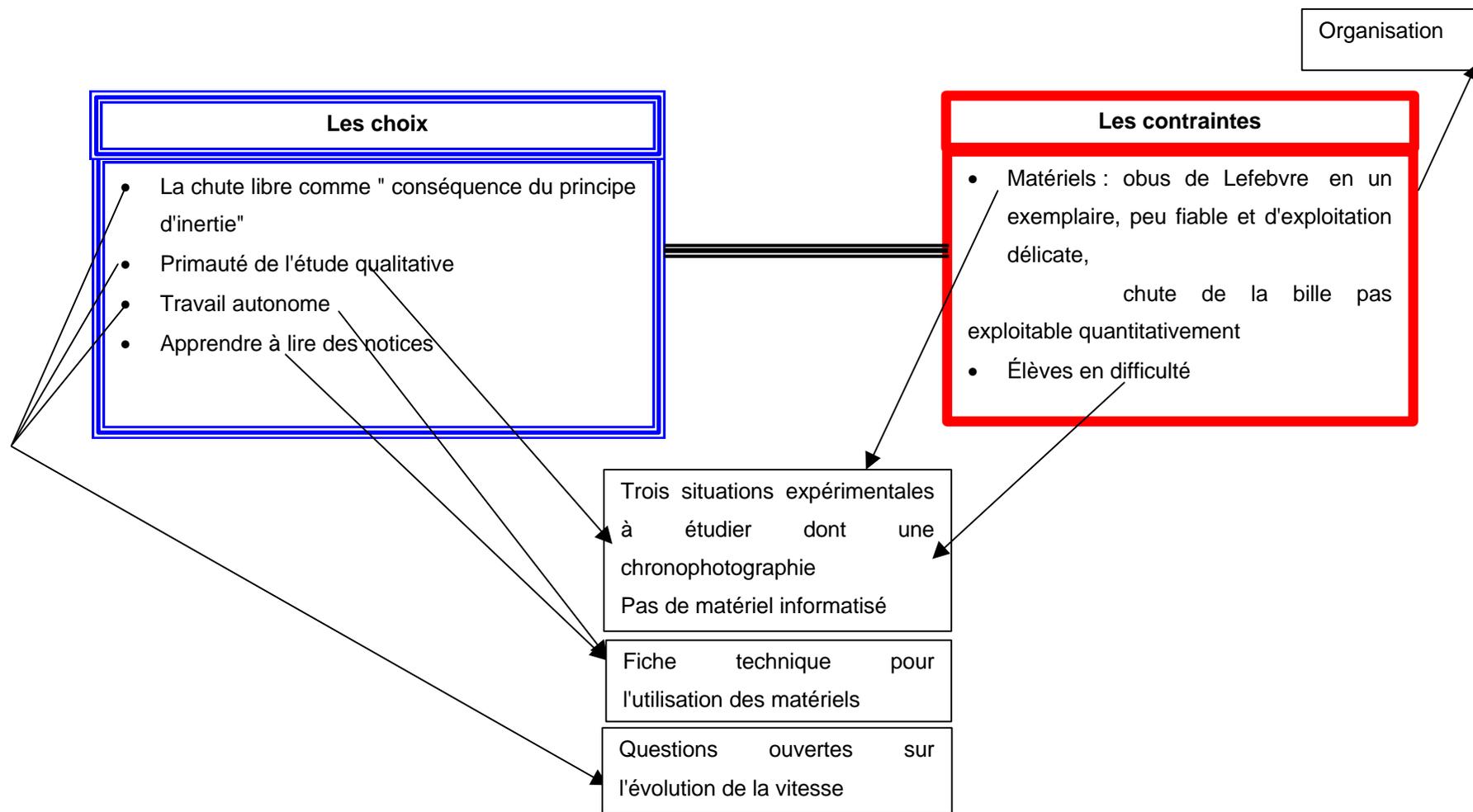


Fig.B-22 : Relations entre la planification des activités et les choix et contraintes

4.4. Étude du TP "mesures calorimétriques " - Enseignant P2

Cette séance de travaux pratiques est le support d'une évaluation : évaluation de connaissances théoriques puis évaluation « expérimentale ».

Après une introduction où les objectifs de la séance, la liste du matériel sont décrits et les valeurs de grandeurs nécessaires à la conduite du TP sont données, la fiche (annexe 3) qui guide les activités des élèves se présente en trois parties :

- une première partie qui est un contrôle de connaissances théoriques, se présentant sous la forme d'un exercice sans application numérique,
- une deuxième partie qui est une fiche de consignes pour la « manipulation à réaliser en binôme »
- une troisième partie, à rédiger individuellement, qui correspond à une exploitation des mesures et à l'analyse critique des mesures et résultats. (la partie correspondante de la fiche n'a été donnée qu'après que les mesures aient été faites par les élèves).

La première partie correspond à un travail individuel et les copies ont été relevées à la fin de cet épisode, et le travail expérimental des élèves ne débute qu'avec la deuxième partie. Nous n'étudions ici, pour l'entretien, la fiche et le déroulement que ce qui concerne les parties 2 et 3 et nous ne donnons ci-dessous qu'un résumé de l'analyse (annexe 22).

4.4.1. Analyse des liens planification / raisons

En nous appuyant sur des extraits de l'entretien préalable nous étudierons les raisons que donne l'enseignante pour expliquer la programmation des activités qu'elle a prévues pour les élèves.

Cette séance de TP-évaluation clôt les activités expérimentales des élèves en calorimétrie.

Raisons pour la planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

Des raisons institutionnelles (Re1+Re2+Re3+Rp4a)

Elles apparaissent de façon très ténue, essentiellement par des références au temps (trop long, trop court), et au matériel disponible (une seule balance, 600g maximum).

Des raisons d'enseignement (Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)

Ce sont les raisons liées à la mise en œuvre de l'enseignement qui sont les plus fréquentes pour les activités de mesure et pour les activités d'analyse demandées, et nous relevons par exemple :

- prendre en compte l'apprentissage des élèves,
- prévoir les difficultés liées aux élèves,

et enfin des choix propres à l'enseignante qui apparaissent bien sûr dans toute la construction, mais qui se manifestent ici par l'adaptation, l'ajout de questions à une version précédente de ce TP ; et par le refus de faire évaluer "les erreurs" dans la manipulation et les mesures.

Raisons pour la planification des productions des élèves (Pi6)

Comme nous l'avons dit plus haut, l'évaluation de la partie expérimentale est faite à travers les réponses des élèves de la troisième partie (qui concerne l'analyse des mesures et l'obtention et l'analyse des résultats). Nous trouvons que l'enseignante dans ses commentaires met en place une procédure d'évaluation, mais également qu'elle souhaite engager ainsi les élèves dans un travail d'analyse critique de leur travail expérimental.

4.4.2. Transmission de la planification par la fiche

Une première lecture de la fiche fait apparaître que les consignes qui concernent la production écrite (troisième partie) transmettent une double planification : elles sont à la fois consigne pour la rédaction mais également consignes pour le traitement des résultats ou l'analyse. Par ailleurs, dans la fiche ce sont les planifications pour l'acquisition des mesures, les productions et pour l'analyse qui apparaissent le plus fréquemment.

La planification des activités des élèves

La répartition des consignes dans la fiche apparaît séquentielle et traduit l'organisation prévue par l'enseignante :

- première partie : rédaction d'un travail individuel théorique (non codé)
- deuxième partie ; travail expérimental et mesures
- troisième partie : rédaction des résultats de l'exploitation et de l'analyse.

Comment l'enseignant transmet-il aux élèves le travail expérimental ?

L'objectif affiché de cette activité expérimentale est la détermination d'une grandeur calorimétrique et des indications qui accompagnent les consignes de la fiche rappellent aux élèves le soin particulier qu'ils doivent apporter à la réalisation des mesures :

*Protocole : [...] aucune indication n'est donnée sur la **meilleure** méthode expérimentale pour mesurer [...],
[...] mesurer ensuite **précisément** [...],
prendre deux morceaux de glace [...]; **les sécher**,
introduire **rapidement** les glaçons [...]*

De même l'enseignante transmet aux élèves le travail "d'analyse" des résultats expérimentaux par des questions, des consignes pour la rédaction :

1. [...] **Ces méthodes vous conviennent-elles ?**

7. *Commenter vos résultats.*

7. *Évaluer l'erreur entre la valeur obtenue et celle fournie par les tables . Quelles sont les causes d'erreur ?*

et fournit un ensemble de questions qui sont a priori des "pistes" pour mettre les élèves "sur la voie"

2. *Comment s'assurer que l'équilibre thermique est atteint dans le calorimètre ?*
3. *Quelle indication vous donne le fait d'utiliser des glaçons partiellement fondus ?*

4.4.3. Comparaison avec les observations

Les élèves ont utilisé du matériel dans deux salles contiguës : dans l'une ils ont trouvé tout le matériel expérimental (calorimètre, verre à pied gradué, thermomètres, etc.) et sur le bureau, la balance électronique ; et dans la deuxième salle, ils ont trouvé l'eau à la température ambiante dans un seau et les glaçons dans un cristalliseur.

Les activités expérimentales des élèves

Pendant la durée de la séance l'enseignante a rappelé le but du TP, donné les consignes pour l'organisation générale, des indications pour les mesures, les précautions à prendre.

Tous les élèves ont systématiquement mesuré le volume d'eau avec l'éprouvette graduée, ils ont pesé le glaçon soit directement sur la balance soit dans le verre à pied : ils ont consciencieusement essuyé le glaçon, puis ils l'ont pesé sur la balance ... au soleil !

Les productions écrites des élèves

Tous les groupes rédigent des réponses succinctes aux différentes questions. Par ailleurs 8 groupes sur les 9 ont calculé au moins une valeur de L_f et commenté leurs résultats.

Une première lecture des résultats fait apparaître leur extrême dispersion. Nous avons recensé un grand nombre d'erreurs pendant la séance et sur les copies des élèves comme :

- erreur sur la pesée de la masse de glace, le résultat n'est pas affiché en grammes,
- -erreurs dans les calculs
- erreur dans l'unité affichée (kJ et non J).

à ces erreurs, s'ajoutent une absence de précautions comme nous l'avons dit plus haut dans la manipulation et les mesures :

- glace pesée sur une balance au soleil,
- glace pesée puis transportée à la main d'une salle à l'autre,
- eau mesurée avec une éprouvette graduée et ensuite transvasée...

ainsi nous recensons quatre groupes (peut-être cinq) sur les neuf qui, pour la deuxième série de mesures ont trouvé un ordre de grandeur pour L_f correct.

Pour ce qui concerne l'analyse critique, nous notons que les élèves mettent essentiellement en avant les erreurs de manipulation et les défauts du matériel sans analyser réellement leur pratique.

4.4.4. Une premier bilan

Le milieu construit par l'enseignant, pour la partie analysée ici, est un milieu pour "l'évaluation expérimentale", c'est à dire que les élèves doivent choisir une méthode pour mesurer des masses, réaliser l'expérience en suivant des consignes, relever des valeurs de température, et enfin, en répondant à un ensemble de questions, calculer la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace, et analyser leur pratique expérimentale.

L'enseignante attend de "voir s'ils ont amélioré leur façon de faire [...]" (E3-22) mais parallèlement elle indique "je ne mettrai pas spécialement de points sur la deuxième partie" (E3-76), car "mais non je ne peux pas, ils sont trop nombreux, 18 comment veux-tu que je les note ? qui a fait quoi ? alors il suffit qu'il y ait un thermomètre qui marche pas, par exemple par là-bas, c'est pas possible [...]" (E3-78).

La troisième partie du TP est, elle notée "voilà je vais noter, je vais mettre quelques, enfin des points sur ce qu'ils rédigent, en fait à chaque fois qu'ils rédigent individuellement, et puis après je vais remettre des points sur les résultats y compris les commentaires" (E3-80) "marqués dans la troisième partie [...]" (E3-82).

La planification du TP en trois parties permet alors à l'enseignante, de réaliser une évaluation de connaissances théoriques dans la première partie, de savoir faire et de connaissances sur les savoir-faire dans la dernière partie, avec un nombre important d'élèves (18).

L'obtention d'un résultat pour la valeur de la chaleur latente est alors une preuve des progrès des élèves dans la réalisation du protocole "et puis, ben, qu'ils sortent en ayant une valeur numérique" (E3-48) "voilà de chaleur latente, donc, comment dire, progresser encore une fois par rapport au premier TP où tout le monde n'est pas sorti avec une valeur numérique, quelque chose de terminé" (E3-50).

Pourquoi les élèves n'ont-ils pas la "charge" d'établir l'intégralité du protocole expérimental (dont le principe est indiqué dans la partie théorique) ? pourquoi l'enseignante ne demande-t-elle que "la meilleure méthode expérimentale pour mesurer les masses m_1 et m_2 " ?

On peut inférer, à partir des difficultés qu'attend l'enseignante pour que les élèves obtiennent les valeurs de m_1 et m_2 (difficultés que nous avons précédemment relevées), qu'elle encadre leurs activités expérimentales pour qu'ils obtiennent tous un résultat pour L_f et montrent ainsi leurs progrès.

La situation construite apparaît alors en forte cohérence avec les objectifs d'évaluation de l'enseignante pour cette séance, et les réponses critiques des élèves aux questions sur l'analyse des méthodes, des résultats représentent autant de repères de leurs capacités expérimentales, même s'ils ne les ont pas mises en œuvre ici, et ils peuvent être ainsi évalués.

Mais la situation d'évaluation choisie est aussi une situation de mesurage d'une grandeur physique, et tout le milieu planifié par l'enseignante pour les élèves paraît construit autour de la recherche de précision :

- le matériel mis à disposition des élèves est "performant" : thermomètres précis, balance au 1/10g, l'eau à utiliser est à température ambiante, les glaçons dans de l'eau, etc.
- les consignes de la fiche donnent des indications sur le soin à apporter dans la réalisation de l'activité.

mais cette attente de soin n'est pas explicitement dite dans la fiche (et n'est pas un critère pour l'évaluation comme nous l'avons vu plus haut) et les élèves font les mesures sans avoir réfléchi au préalable, à la "meilleure" méthode.

L'analyse des productions des élèves fait apparaître que toutes les activités évaluées ont été effectivement réalisées, que la quasi totalité des groupes ont obtenu au moins un résultat pour Lf et l'observation de la séance a montré que toutes les difficultés attendues par l'enseignante ont été effectivement rencontrées par les élèves, mais qu'ils n'ont pas eu une attitude critique *a priori* pour leurs activités expérimentales. La dévolution a été effective en ce qui concerne l'évaluation mais pas en ce qui concerne le caractère scientifique de l'activité de mesurage.

4.5. Étude du TP "calorimétrie" - Enseignant P4

Les élèves reçoivent en début de séance une fiche (annexe 4) en deux parties :

- la première partie est une lettre envoyée par Madame Dupont qui enseigne en CM2, et qui demande l'aide des élèves de 1S pour répondre, avec des arguments convaincants, à l'affirmation "*plus on chauffe, plus c'est chaud n'est pas toujours vrai*" ;
- la deuxième partie concerne la "*préparation du dossier à envoyer*" : elle contient un ensemble de questions, renseignements, consignes pour la réalisation de ce dossier.

Avec la fiche d'activités, les élèves ont une fiche technique pour l'utilisation des outils informatisés.

4.5.1. Analyse des liens planification / raisons

Du bilan des liens planification / raisons, une information ressort : l'expérience et l'acquisition des mesures sont les activités planifiées des élèves le plus largement justifiées par l'enseignante.

Nous étudierons ici particulièrement les raisons qu'elle en donne (l'étude détaillée est en annexe 23).

Raisons pour la planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

Lorsque l'enseignante programme ce TP, elle choisit d'abord le sujet en référence aux difficultés particulières des élèves de la classe.

Des raisons institutionnelles (Re1+Re2+Re3+Rp4a)

Dans le choix des conditions de l'expérience réalisée par les élèves, les questions de sécurité préoccupent l'enseignante car le pentane est inflammable. Par ailleurs le matériel disponible limite les choix pour les expériences à réaliser et également les choix et les activités des élèves.

Des raisons liées à la lecture des programmes (Rd1+Rd2+Rd3+Rp5)

L'enseignante planifie l'introduction de la pratique des outils informatisés pour l'acquisition et simultanément elle introduit des connaissances sur ces outils.

Des raisons d'enseignement (Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)

L'enseignante prend en compte les difficultés des élèves concernant les changements d'état tout en reconnaissant les limites du travail qu'elle demande :

E4-154 : s'ils voient le palier, ça va, je pense que ça va les marquer, [...], c'est à dire ils n'ont pas la capacité d'abstraction nécessaire pour se passer de l'expérience, d'utiliser uniquement leur connaissances.

E4-154 : Moi j'aime bien les expériences hein, pour moi c'est, je pense que ce genre d'élèves ce qu'ils, évidemment s'ils voient quelque chose qui les induit en erreur ils vont s'en souvenir toujours, c'est à dire que s'ils retiennent qu'un corps liquide ça bout à 35 °, ils se souviendront toujours de ça, ça s'effacera pas, mais s'ils retiennent que ah il y a un palier (!) alors ça restera.

Elle fait des choix personnels pour la situation

- une situation non "traditionnelle"

E4-82 : oui c'était pour ça et puis, / bon c'était pour ça, et puis j'avais envie un petit peu de changer de l'eau, on prend toujours de l'eau [...]

- une méthode d'acquisition et de traitement des mesures informatisée

E4-98 : alors oui j'aurais pu faire / qu'ils tracent une courbe, enfin qu'ils fassent des relevés parce qu'il faut garder une trace

elle limite les objectifs d'apprentissage

E4-58 : de CM2, hé ben on voit que la température bouge pas, c'est ça c'est tout ça hein, va pas plus loin, [...] il faut pas qu'en fait ils aient à parler de chaleur latente et de choses comme ça, il faut qu'ils restent à un niveau quelque chose d'observable, voilà c'est ça que j'attends [...]

Raisons pour la planification des productions des élèves (Pi6)

La production d'un dossier à envoyer par courrier est le but (Larcher et al., 1999) du TP transmis aux élèves. Les objectifs sont, pour l'enseignante :

E4-8 : alors, la présentation était, la présentation pas classique c'était dans le but / de faire un compte-rendu différent, c'est à dire, comme ils font un compte-rendu en général pas du tout détaillé,[...] donc présenter l'ensemble, voilà, pas simplement répondre à des questions, d'ailleurs il y a pas de question. Bon. donc ça c'était pour les obliger à faire un compte-rendu qui ressemble à quelque chose qui se tient, qui ait une introduction, un début une fin etc. [...]

L'analyse de l'entretien préalable confirme des résultats que nous avons déjà trouvés : tous les aspects de planification sont pris en compte et justifiés par l'enseignante.

4.5.2. Transmission de la planification par la fiche

L'écart entre la planification de l'enseignant et celle qui est transmise aux élèves est important pour les activités expérimentales et l'acquisition des mesures (Pi2) ainsi que pour des activités "autres" (Pi5).

La construction du milieu du TP

Ainsi dans l'entretien, la planification des activités expérimentales apparaît clairement (environ 30% des unités de signification codées) alors que sur la fiche elle représente moins de 10% des consignes, et la proportion est largement inversée pour les activités "autres" (moins de 10% dans l'entretien et plus de 50% pour les consignes de la fiche).

Comment cette planification se retrouve-t-elle dans la fiche pour les élèves ?

La planification des activités des élèves

Pour répondre à la demande de Mme Dupont, les élèves disposent d'eau et de pentane et doivent sur un exemple montrer que la température pendant un changement d'état à pression constante d'un des corps pur reste constante et ce "malgré" l'apport d'énergie.

Les changements d'état qu'ils peuvent étudier a priori, compte tenu du matériel dont ils disposent sont la solidification (ou la liquéfaction), la vaporisation d'un composé ou de l'autre. Or l'enseignante veut qu'ils fassent en priorité une acquisition informatisée. Tout un ensemble de consignes, d'indices les amène "naturellement" à choisir la vaporisation du pentane (et non un changement d'état de l'eau) qui permet d'utiliser le capteur de température.

Réalisation des expériences et acquisition des mesures

L'enchaînement des activités pour l'acquisition des mesures est indiqué sur la fiche, mais par contre aucune indication, aucune consigne concernant le protocole proprement dit (en dehors de la liste du matériel) n'est apportée : rien sur les quantités de produit à utiliser, rien sur le mode chauffage, sur la durée de l'expérience...

Finalement les élèves doivent trouver sur la fiche, dans le matériel à disposition une partie des réponses pour réaliser l'expérience et acquérir les mesures, l'enseignante prévoit d'intervenir pour apporter les indications supplémentaires.

Pour ce qui est de la réalisation, *a priori*, les élèves ne disposent que de la fiche technique pour l'utilisation du logiciel d'acquisition.

Les activités de traitement des mesures

Sur la fiche ne figure aucune indication pour un traitement des mesures, dans l'entretien l'enseignante y fait très peu référence : les élèves obtiennent directement avec l'acquisition automatique le graphe des points expérimentaux température en fonction du temps $\theta(t)$.

Les activités d'analyse

L'analyse détaillée de la fiche montre qu'elle contient de nombreuses indications pour amener les activités d'analyse.

La planification des productions des élèves

Aux indications précédentes s'ajoutent des éléments incitatifs qui concourent à la dévolution aux élèves du travail de rédaction comme la forme de lettre, la mise en valeur de leurs qualités...

...manquant d'arguments j'ai pensé à vous ...

j'ai besoin des résultats de l'expérience...

j'ai confiance en votre sagacité...

dans l'attente d'un dossier complet...

mais aussi

Avant envoi à Mme Dupont, votre dossier devra m'être soumis pour approbation.

Nous observons que toutes les activités des élèves sont planifiées par l'enseignante qui leur donne à travers un ensemble de "renseignements", des pistes pour qu'ils choisissent le "bon" produit, le montage informatique ..., la méthode qu'elle souhaite leur voir utiliser.

4.5.3. Comparaison aux observations

Au début de la séance chaque binôme d'élèves a trouvé sur sa table, un ordinateur avec une carte d'acquisition (ORPHY de Micrelec), le logiciel Regressi (Micrelec) lancé, une sonde de température, et le matériel nécessaire à la réalisation expérimentale.

Les élèves ont pris connaissance de la fiche de TP la veille et ont préparé le travail.

Activités des élèves

Tous les groupes ont réalisé l'expérience avec le pentane, ont fait l'acquisition avec le système informatisé et ont obtenu le graphe des points expérimentaux ; certains ont dû recommencer pour des problèmes de pertes des données ou de difficultés matérielles avec le capteur (G3).

Aucun groupe n'a étudié l'évolution de la température pour l'eau (comme prévu).

L'enseignante est intervenue pour faire "dire" aux élèves leurs choix et leurs arguments, elle est également intervenue pour qu'ils prévoient les résultats des mesures avant de les obtenir ; elle a apporté son aide pour l'acquisition des mesures, est passée dans tous les groupes vérifier les réglages, elle a incité les élèves à regarder l'évolution du phénomène etc.

Productions

Tous les groupes ont obtenu pour la fin de la séance un fichier de mesures exploitable et ont imprimé le graphe. Ils ont tous commencé à rédiger pendant la séance encouragés, aidés par l'enseignante.

Les copies ont été remises quelques jours plus tard. Sur les 6 groupes, 5 ont fait un compte-rendu sous la forme d'une lettre argumentée adressée à madame Dupont intégrant les schémas des expériences, les justifications du choix du pentane, le graphe $\theta(t)$, son interprétation.

4.5.4. Un premier bilan

Ce TP est construit sur des choix affirmés de l'enseignante :

- le choix de prendre en charge les difficultés reconnues des élèves concernant les caractéristiques des changements d'état des corps purs,
- le choix d'introduire les outils informatisés.

Dans l'entretien préalable, l'enseignante n'a pas particulièrement fait référence à l'autonomie laissée aux élèves. Or le déroulement de la séance s'est passé de façon tout à fait analogue à celle du TP sur la chute libre, et pour l'autonomie dans la réalisation des expériences, et pour l'autonomie dans l'exploitation qualitative. On peut inférer qu'à cette époque de l'année ce fonctionnement est devenu "habituel", "naturel".

Nous remarquons que, comme pour le TP sur la chute libre que nous avons observé précédemment, les consignes concernant l'activité expérimentale proprement dite sont quasi inexistantes, que les élèves doivent faire des choix mais que ceux-ci sont limités et encadrés par un faisceau d'indices portés par la fiche.

La construction du milieu du TP est en cohérence avec les objectifs de l'enseignante ; elle rejette pour ses élèves la situation traditionnelle de la mesure de la chaleur latente de fusion de la glace car trop complexe à ses yeux, elle préfère une situation dont l'exploitation reste qualitative (évolution de la température pendant le changement d'état). Ce choix, à ce niveau peut paraître surprenant, les changements d'état sont étudiés dans les classes précédentes, mais, pour autant, les élèves, à travers les questions auxquelles ils doivent répondre par écrit, les choix expérimentaux qu'ils doivent faire, sont amenés à utiliser leurs connaissances de calorimétrie en cours de construction.

Par ailleurs, la forme originale qu'elle choisit (échange épistolaire, demande d'aide d'un adulte de référence, ...) a concouru, *a priori*, à la dévolution du problème. Ainsi on peut remarquer que, quasiment tous les groupes d'élèves ont effectivement fourni un travail écrit qui a pris la forme demandée d'un dossier argumenté. On retrouve ici un des aspects de son expertise.

4.6. Étude du TP "récepteur électrique" - Enseignant P2

Les élèves doivent obtenir et interpréter les caractéristiques intensité/tension des deux électrolyseurs à sulfate de cuivre (II), l'un anode en cuivre et cathode en carbone, l'autre anode en carbone et cathode en cuivre. Ils doivent donc permuter les électrodes entre les deux expériences. Ils ont déjà étudié en cours les récepteurs et générateurs et ont déjà vu et analysé leurs caractéristiques. L'enseignante leur fournit une fiche d'activités (annexe 5).

Nous présentons ici un résumé de l'analyse détaillée (annexe 24).

4.6.1. Analyse des liens planification / raisons

Une première étude des liens planification / raisons montre que les raisons de "lecture des programmes" sont les plus fréquentes pour la planification dans la progression (Pg2) comme pour la planification des activités de traitement des mesures (Pi3). Les "raisons d'enseignement", interviennent essentiellement pour expliquer la planification de l'ensemble des activités (Pi2, Pi3 et Pi4) et des productions (Pi6) des élèves.

Les raisons de la planification globale (Pg1+Pg2)

Comme dans les résultats des analyses précédentes, la planification globale apparaît tributaire de contraintes institutionnelles. L'enseignante planifie alors la séance par rapport aux connaissances apportées aux élèves pendant les cours de physique précédents : à travers les activités des élèves, elle veut évaluer les connaissances qu'ils ont acquises. Elle prévoit les prolongements de la séance dans le cours de physique et son intégration dans la progression du cours de chimie.

Les raisons de la planification de l'organisation de la séance (Pi1)

À la fois des contraintes dues au matériel (le manque d'électrodes en carbone) et le choix de l'enseignante dictent l'organisation de la séance : les élèves font un travail "en autonomie".

Les raisons de la planification des activités des élèves (Pi1+Pi3+Pi4+Pi5)

Des raisons institutionnelles (Re1+Re2+Re3+Rp4a)

L'enseignante explique son choix de faire étudier des récepteurs (électrolyseurs) par la prise en compte du programme de l'année précédente (ne pas refaire l'étude d'un générateur), et le choix de l'électrolyse du sulfate de cuivre(II) par le matériel disponible dans le lycée.

Des raisons liées à la lecture des programmes (Rd1+Rd2+Rd3+Rp5)

Ces raisons interviennent pour le choix des activités expérimentales (concevoir et réaliser un montage déjà rencontré...) , pour le choix du traitement des mesures, des questions pour l'interprétation des résultats (refaire en première une caractéristique, retrouver la f.c.e.m. etc.)

Des raisons liées à la mise en œuvre de l'enseignement

(Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)

Prendre en compte des connaissances et des difficultés des élèves est une des raisons qui est souvent clairement indiquée par l'enseignante. Mais ses choix propres interviennent également, ainsi :

E5-176 : [...] donc il me restait soit un récepteur / un électrolyseur, un moteur, le moteur électrique, [...] ce qui m'intéressait c'était ces histoires d'anode, je trouve que c'est sympa quand même de faire la parallèle avec l'électrolyse qu'on a vue en chimie tu vois, et l'importance des électrodes, c'était quand même bien, / c'est le côté sympa / pour une fois qu'on peut faire quelque chose qui a de l'allure.

et l'exploitation graphique qu'elle fait faire à ses élèves doit les convaincre :

quand même mieux que ça soit eux qui le fassent tu vois, qui le, comment dire qu'ils l'exploitent après.

Les raisons de la planification des productions des élèves (Pi6)

La production d'un compte rendu est prévue et tout au long des activités l'enseignante donne des consignes pour la rédaction, à la fois pour organiser le travail des élèves, pour les aider et pour évaluer leur travail.

Les raisons de la planification de l'activité de l'enseignante (Pi7)

L'enseignante est très présente dans la planification. Elle prévoit d'intervenir pour organiser la séance, pour aider les élèves dans les activités expérimentales, pour les aider à traiter et analyser les résultats.

4.6.2. Transmission de la planification par la fiche

Nous avons réalisé le codage de la fiche pour la planification et nous en présentons ci-dessous les principaux aspects, pour les activités des élèves et les productions.

Les activités des élèves

Nous retrouvons sur la fiche la séquentialisation des activités des élèves :

- ***Première partie : Montage - Mesures***

qui correspond à la conception du schéma de montage, à la réalisation de ce montage et à l'acquisition manuelle des mesures pour les deux électrolyseurs étudiés,

- ***Deuxième partie : Exploitation - Résultats***

qui correspond au traitement mathématique graphique des mesures jusqu'à l'obtention de l'équation numérique de la droite puis à l'analyse physique des résultats et à leur utilisation pour calculer un rendement énergétique.

Dans les deux parties de la fiche qui concernent les activités des élèves on peut noter que celles-ci sont tout à fait planifiées par les consignes : les tableaux à remplir avec les mesures sont faits, la place pour dessiner le schéma du montage est prévue... L'enseignante impose à travers la fiche un ordre pour les activités des élèves, elle impose ainsi sa propre démarche expérimentale.

Sur la fiche les élèves apparaissent responsables de la réalisation du schéma de montage, du montage proprement dit, du choix des mesures pour les deux expériences. Pour ce qui est du traitement mathématique des mesures, il n'en est pas de même, les élèves doivent s'organiser seuls.

Comment l'enseignante transmet-elle aux élèves le travail "d'analyse" des résultats expérimentaux ?

On observe qu'elle met des repères pour que les élèves obtiennent effectivement un résultat sans trop de difficultés : une valeur pour le rendement, des pistes pour trouver que la f.c.e.m de l'électrolyseur à anode soluble est nulle. On peut également relever que les élèves qui ne connaissent pas les résultats pour cette dernière électrolyse doivent déterminer la valeur de E' à partir de l'expérience et

leurs connaissances ne doivent intervenir qu'après, pour "améliorer" leur résultat, pour justifier la valeur $E' = 0$.

Planification de la production

La planification des activités de la fiche induit la planification des productions : chaque activité débouche sur une production (schéma de montage, tableau rempli, graphes, équations analytiques, valeurs numériques, équations de réactions...).

4.6.3. Comparaison avec les observations

Comme prévu sur la fiche les élèves trouvent le matériel sur leur table et réalisent par groupe de deux les différentes activités et comme prévu le professeur intervient pour commenter la fiche de TP en début de séance, puis pour donner des consignes quand les premiers groupes commencent les mesures.

Les activités expérimentales des élèves

Il apparaît une grande diversité pour la durée de réalisation du montage (de 10 à 20 min) et pour la durée des mesures (20 à 45 min). Au moins 1/3 des groupes des groupes ne fait pas directement un schéma de montage correct (tableau 2, annexe 24).

L'enseignante intervient alors pour rectifier des montages, faire retrouver l'anode et la cathode. Elle donne également oralement des consignes générales pour l'acquisition des mesures.

Les activités de traitement des mesures et d'analyse

Un tiers des groupes n'a obtenu en fin de séance que les graphes (ou du moins les points expérimentaux).

Quatre groupes sur les neuf ont obtenu les valeurs numériques pour la f.c.e.m et la résistance interne pour une expérience, et les deux derniers ont obtenu tous les résultats attendus.

De nombreuses difficultés sur les montages ont émaillé ce TP et l'enseignante a passé pratiquement tout son temps à rechercher et réparer les pannes ou les dysfonctionnements. L'enregistrement des échanges entre le professeur et les élèves montre que ce dernier n'est pas disponible et les élèves ont travaillé seuls (comme prévu d'ailleurs).

Les productions écrites des élèves

Tous les élèves ont rendu un compte-rendu à la fin de la séance, avec les résultats obtenus de leurs différentes activités.

Le tableau ci-dessous récapitule le nombre de binômes qui ont rédigé une réponse aux différentes questions.

Montage, mesures, tracé des points expérimentaux	9
--	---

Tracé du modèle affine ou linéaire sur au moins un des graphes	8
Détermination des grandeurs E' et r' (ou r' seul), valeurs numériques et unités pour au moins une des caractéristiques	5
Reconnaître la caractéristique d'un conducteur ohmique	3
Calculer au moins un rendement	4
Faire appel aux réactions aux électrodes pour justifier $E' = 0$	1

Tableau B-5 : Bilan des productions des élèves

L'enseignante étant occupée à rechercher les causes des pannes, les élèves qui ont obtenu des graphes expérimentaux inexploitable (dus notamment à l'inversion de l'ordre des électrolyses), n'ont pas recherché l'origine des écarts (pas vu ?) avec les résultats annoncés par le cours : ils ont bien fait des montages, des mesures, tracé des graphes mais se sont peu impliqués dans la démarche expérimentale proposée par l'enseignante.

4.6.4. Une premier bilan

Les objectifs annoncés sur la fiche de TP représentent des objectifs de réalisation (montages, mesures) et de production en relation directe avec le cours qui vient d'être fait. "*J'aimerais qu'ils regardent leur cours*".

Comme nous l'avons précisé plus haut, une des raisons que donne l'enseignante pour expliquer les activités de ce TP est que les élèves fassent eux-mêmes une expérience qu'ils ont vue en cours afin d'être convaincus du résultat annoncé (la loi d'Ohm pour un récepteur) :

E5-186 : déjà qu'ils voient le comportement, l'allure, l'évolution de U en fonction de I , première chose je crois que c'est l'allure générale, quand tu prends un point par ci par là tu te rends pas compte

E5-188 : oui mais ils m'ont cru (!), / enfin on a fait ça vite fait, ils m'ont cru, c'est moi qui l'ai fait c'est quand même mieux que ça soit eux qui le fassent tu vois, qui le, comment dire qu'ils l'exploitent après

En cohérence, les activités planifiées par l'enseignante, les consignes données par la fiche, concourent à la réalisation effective des "objectifs" annoncés.

Le déroulement a eu lieu comme prévu avec sûrement plus de temps passé que prévu pour la réalisation des expériences et des mesures, mais sans aide, sans intervention de l'enseignante qui a été confrontée tout au long de la séance à des difficultés techniques (fusibles sautés... les électrodes sont entrées en contact, générateurs en panne, fils coupés...) : la recherche systématique des pannes l'a soustraite à l'ensemble du groupe. Les élèves qui ont obtenu des graphes expérimentaux inexploitable, n'ont pas recherché l'origine des écarts avec les résultats annoncés par le cours : ils ont bien fait des montages, des mesures, tracé des graphes mais se sont peu impliqués dans la démarche expérimentale proposée par l'enseignante.

La part d'activités que l'enseignante s'était réservée se révèle ici incontournable : dans cette séance, contrairement à la suivante avec l'autre groupe, elle n'a pu vérifier que les électrodes choisies par les groupes correspondaient à celles des consignes, elle n'a pu suivre les mesures obtenues, les

graphes ; les élèves ont bien manipulé, mesuré mais n'ont pas fait de relation avec les connaissances déjà abordées en cours et n'ont donc pas vu leurs erreurs.

La fiche était conçue pour un travail autonome des élèves, mais ceux-ci sont restés au niveau de la réalisation, de l'obtention de mesures, de graphes et n'ont pas vu quand leurs résultats n'étaient pas les résultats attendus. Cette séance illustre bien l'importance de l'enseignante dans le milieu : elle est un élément indispensable du milieu du TP qu'elle construit.

4.7. Étude du TP "Caractéristiques intensité / tension d'un générateur et d'un récepteur - Enseignant P4

Au cours de la séance de TP décrite ici (fiche en annexe 6), les élèves doivent obtenir et étudier les caractéristiques de trois dipôles électriques : une "pile", un électrolyseur et enfin un moteur qui ne tourne pas.

Cette séance est faite avant que le cours correspondant en physique n'ait été étudié en classe. Par contre les élèves, en seconde ont réalisé un travail équivalent pour la "pile" et, dans le cadre du cours de chimie de première S, ils ont étudié les phénomènes chimiques qui se produisent lors de l'électrolyse mise en œuvre ici.

Nous présentons ici un résumé de l'analyse détaillée (annexe 25).

4.7.1. Analyse des liens planification / raisons

Dans le bilan des liens planification / raisons que nous avons fait, nous notons que les items qui apparaissent avec une plus grande fréquence, correspondent à la planification des activités d'acquisition des mesures (Pi2), du traitement des mesures (Pi3), d'analyse des résultats (Pi4) et enfin de production (Pi6). Ces raisons justifient cette planification forte que nous présentons ci-dessous.

Les raisons pour la planification des activités des élèves (Pi2+Pi3+Pi4+Pi5)

Des raisons institutionnelles (Re1+Re2+Re3+Rp4a)

La quasi totalité des justifications institutionnelles est liée au matériel : sa disponibilité, ses qualités, ses défauts. Ainsi, par exemple, si l'enseignante choisit de faire étudier la caractéristique d'un électrolyseur et non celle d'un moteur qui tourne, c'est parce que les mesures obtenues avec le moteur ne sont pas exploitables ; si elle choisit de faire étudier trois dipôles c'est parce que le matériel n'est pas en quantité suffisante et que les élèves pourront s'échanger le matériel, etc.

Des raisons liées à la lecture des programmes (Rd1+Rd2+Rd3+Rp5)

L'enseignante planifie les activités des élèves pour l'acquisition des mesures parce qu'ils doivent apprendre à réaliser, à utiliser un montage avec un rhéostat ; elle planifie la réflexion sur les mesures pour que les élèves complètent leur tableau, qu'ils utilisent une plage suffisante, elle planifie le travail d'analyse des élèves pour qu'ils retrouvent des résultats établis en seconde pour la pile (f.e.m et

résistance interne). Les raisons sont donc liées essentiellement à l'enseignement de savoir-faire et de connaissances.

Des raisons liées à la mise en œuvre à l'enseignement

(Rd4+Rd5+Rd6+Rp1+Rp2+Rp3+Rp4b)

La planification des activités prend en compte les connaissances et les difficultés des élèves qu'elle connaît, ainsi, par exemple, l'enseignante découpe par un jeu de questions le traitement des mesures en séquences : dans un premier temps l'allure de l'ensemble des points expérimentaux, dans un deuxième temps la fonction mathématique $y = ax$, le modèle numérique $U = kI$ enfin le modèle physique $U = rI$.

Elle prévoit des difficultés pour ses élèves devant une situation inconnue (la caractéristique de l'électrolyseur) et pose des questions pour orienter leur travail vers la recherche des limites du modèle affine par exemple : "pouvez-vous trouver un modèle qui s'applique à l'ensemble de la courbe ?" (E6-26).

Ses choix pour l'enseignement de la physique interviennent clairement dans la planification des activités des élèves. Ainsi elle choisit de faire étudier "un moteur qui ne tourne pas" pour sa caractéristique linéaire, elle choisit l'électrolyse de l'acide sulfurique parce que, entre autres raisons, les réactions chimiques aux électrodes sont observables.

Les raisons de la planification des productions des élèves (Pi6)

Les raisons qui expliquent la planification de la rédaction d'un compte rendu sont multiples :

- amener les élèves à passer des mesures et de leur exploitation mathématique au modèle physique, aux lois d'Ohm,
- réinvestir leurs connaissances,
- mais également, obtenir un référent pour le travail en classe qui suivra.

4.7.2. Transmission de la planification par la fiche

La planification de l'enseignant et celle qui est transmise aux élèves sont très semblables pour ce TP contrairement aux TP précédents.

La fiche distribuée aux élèves pour cette séance présente des différences notables par rapport aux précédentes : elle contient un nombre plus élevé de consignes (37 pour 7 dans la fiche de calorimétrie par exemple) et ici, la planification transmise concerne toutes les activités des élèves : réalisation des montages, mesures, exploitation, analyse des résultats et production de documents.

La planification des activités des élèves

Les élèves disposent sur la fiche des schémas des montages à réaliser avec les indications précises sur le générateur à utiliser, les branchements pour les appareils de mesure (V et com, mA et com) et le branchement du rhéostat dans le montage potentiométrique, par contre on n'y trouve aucune

indication sur les mesures à réaliser : les élèves sont autonomes dans le choix des mesures à réaliser alors qu'ils sont guidés pour ce qui est de la réalisation du montage.

Les activités pour le traitement mathématique des mesures (tracez la courbe..., pouvez-vous trouver un modèle¹..., quelle modélisation pouvez-vous proposer) sont programmées sur la fiche. L'enseignante planifie également les activités cognitives des élèves en les guidant, leur donnant des repères ; elle implique les élèves dans ce travail quand il est nouveau, inhabituel pour eux en modulant les formes d'expression.

La planification des productions des élèves

Dans ce TP il est difficile de distinguer sur la fiche ce qui est planification d'activités et ce qui est production : les activités amènent à des productions. Pour chaque dipôle étudié les activités des élèves sont indiquées et elles doivent donner autant de productions (graphes et équations mathématiques).

4.7.3. Comparaison aux observations

Activités des élèves

En nous appuyant sur les observations et sur l'enregistrement des échanges entre l'enseignante et les élèves (voir tableau 2, annexe 25), nous remarquons qu'il faut entre 40 et 65 minutes pour que ceux-ci obtiennent la première caractéristique, et 10 à 15 minutes pour obtenir la ou les suivantes. Peu d'élèves (deux binômes) ont donc abordé, dans le temps imparti, la recherche des modèles programmée sur la fiche .

L'activité des élèves pendant la séance a donc été essentiellement expérimentale : réaliser un ou plusieurs montages, faire les mesures pour les couples (I, U) et placer les points sur un graphe.

Les échanges avec l'enseignante qui se sont répétés avec les différents groupes ont essentiellement porté sur le matériel, les montages, le choix des calibres, les difficultés de mesures. Toutefois elle est également intervenue dans les activités de recherche d'un modèle menées par quelques élèves.

Les productions

À la fin de la séance les six groupes ont au moins tracé une caractéristique, et un groupe seulement a obtenu les valeurs des coefficients du modèle mathématique au moins pour la pile.

Les élèves n'ont pas fourni, comme prévu, de compte rendu à la fin de la séance...et après non plus (fin de l'année scolaire trop proche). Il ne nous a pas été possible d'étudier leur production, leurs résultats.

¹ Quand l'enseignante demande aux élèves de "modéliser" il s'agit dans tous les cas de rechercher la fonction mathématique qui représente au mieux l'ensemble des points expérimentaux. Il s'agit d'un modèle descriptif.

4.7.4. Un premier bilan

Cette séance de travaux pratiques a lieu avant que les élèves n'abordent l'étude des récepteurs et générateurs électriques. L'enseignante fait le choix de leur présenter trois situations expérimentales dont les études débouchent sur trois caractéristiques standard (un moteur qui ne tourne pas / caractéristique linéaire, un électrolyseur / caractéristique affine croissante sur un domaine et réactions chimiques "visibles", un générateur / caractéristique linéaire décroissante sur le domaine d'étude). Ce choix est à associer à la fois à la raison institutionnelle qu'elle donne en début d'entretien :

E6-2 : il se place en fin d'année comme un TP fourre-tout où on met le maximum de choses pour finir le programme, [...]

et également à ses conceptions sur l'apprentissage en physique qu'elle exprime dans l'entretien qui suit la séance :

E'6 : oui, oui, oui, je pense que ça marque beaucoup plus d'avoir mis ses points chacun, un par un plutôt que en cours, on a donné, bon, la caractéristique est comme ça [...] mais moi j'ai pensé que c'était important de voir d'où ça vient, de construire soi-même.

Les activités que les élèves mènent en TP, les productions qu'ils obtiennent doivent ensuite servir de référence pour la progression du cours. Cet enjeu est clairement annoncé aux élèves pendant la séance de TP :

Voilà mais je vous ai dit priorité à l'expérience, et après il vous restera la dernière demi heure ce qu'on peut rédiger on peut le faire chez soi, les expériences non.

En parallèle les consignes de la fiche encadrent fortement les activités des élèves : les schémas des montages sont faits, le nombre de consignes qui planifie le travail des élèves, très faible dans les séances précédentes, est ici particulièrement élevé. Nous retrouvons là, une cohérence avec l'objectif de production de résultats exploitables dans le cours suivant.

E'6 : C'est vrai que je les sous-estime peut-être et que peut-être ils en sont capables, mais dans la mesure où je veux arriver à quelque chose je n'ai pas trop envie de les laisser, [...], là dans la mesure où lundi 8 on continue la suite, s'il y avait rien eu de fait, bon, je pouvais rien faire quoi après, j'étais vraiment bloquée ;[...]

Le déroulement du TP a été en complète cohérence avec la planification faite par l'enseignante : les élèves devaient au moins relever les mesures pour les différents dipôles afin de pouvoir terminer le travail chez eux : ils ont tous obtenu les mesures nécessaires et tracé le graphe pour au moins un dipôle. Sur l'ensemble des groupes, les trois caractéristiques attendues ont été obtenues.

Pour ce qui est des consignes, nous avons relevé sur la fiche l'alternance des consignes d'action et de réflexion / analyse données aux élèves, alternance qui planifie la mise en relation des résultats mathématiques avec les expériences (paramètres du montage, observations....).

Nous avons observé que, pendant la séance, l'enseignante ne donne pas les réponses attendues, elle guide les élèves par ses étonnements, ses questions. On retrouve là, son intention de laisser de l'autonomie pour toutes les réalisations expérimentales et tous les traitements mathématiques.

Dans ce bilan nous retrouvons aussi bien la cohérence entre les planifications et les raisons et choix exprimés par l'enseignante à partir de sa connaissance des difficultés a priori des élèves, que son expertise pour gérer la séance et guider ses élèves dans leur apprentissage.

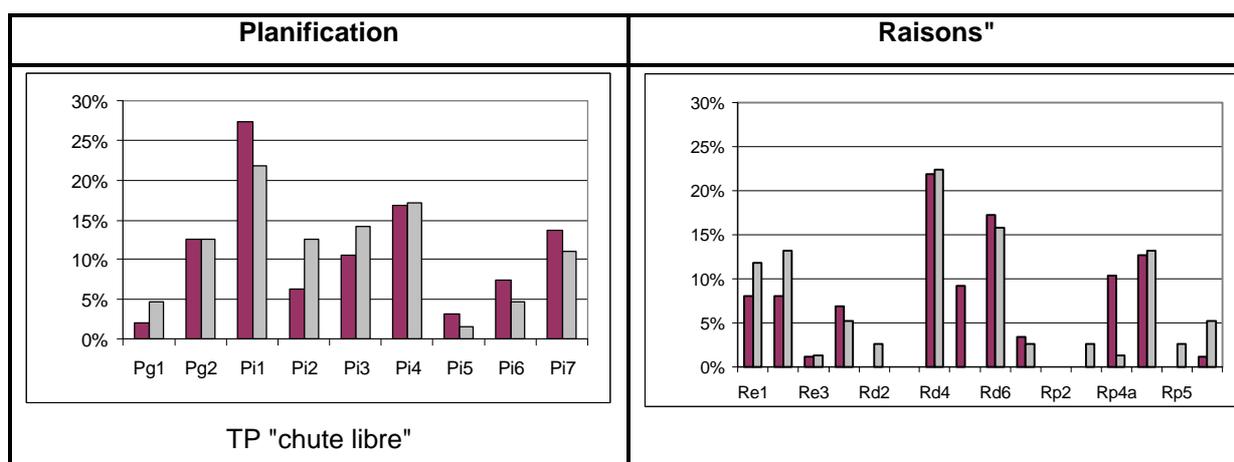
B.5. LA COHERENCE DE L'ENSEIGNANT

Nous nous proposons de nous intéresser, dans une première partie à l'analyse de la cohérence entre les planifications et les "raisons /justifications / argumentations" avancées par les deux professeurs puis, dans un deuxième temps, à l'étude des liens entre transmission de la planification par la fiche et dévolution.

Nous nous appuierons sur les bilans des codages que nous interpréterons en nous référant aux résultats que nous avons relevés dans les études détaillées précédentes.

5.1. L'articulation planification / raisons : la cohérence des enseignants

Dans le tableau ci-dessous nous présentons en parallèle la planification et les "raisons" que donnent les deux enseignantes pour chacun des trois sujets traités : en foncé les résultats pour l'enseignante P2 et en clair ceux de l'enseignante P4.



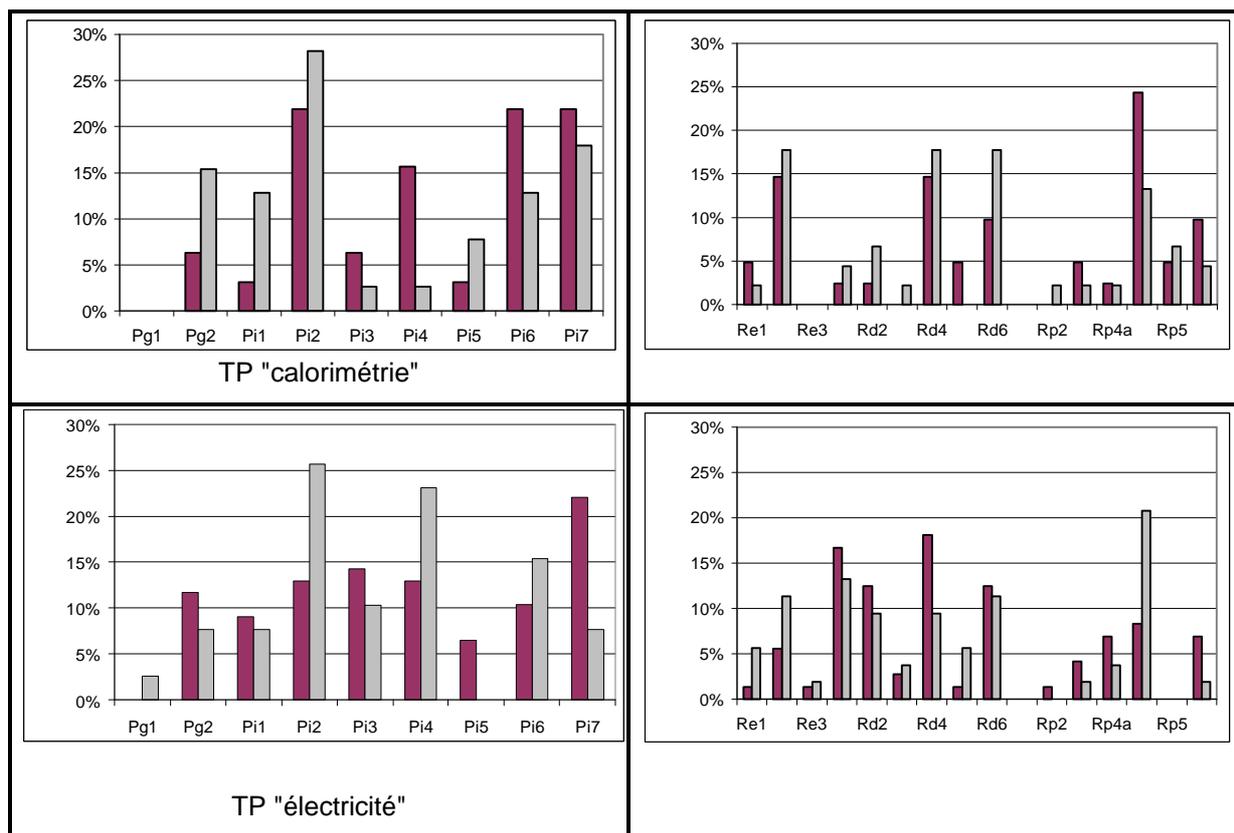


Figure B-23 : Bilan des planifications et des raisons - Enseignants P2 (■) et P4 (□).

La planification

Nous observons pour toutes les séances de TP que la planification faite par les deux professeurs concerne tous les ensembles que nous avons sélectionnés : la progression, les activités des élèves et celles de l'enseignant pendant la séance.

L'item Pg1, planification par rapport au programme, apparaît avec une fréquence très faible voire nulle pour les deux professeurs.

On peut interpréter cette absence de deux façons très voisines : soit, lors du codage des unités de signification, l'item Pg1 se discrimine difficilement de Pg2 (Pg1 est inclus dans Pg2, planification par rapport à la progression) ; soit l'enseignant en inscrivant le TP dans la progression du cours ne juge pas nécessaire de justifier sa place particulière dans le programme.

L'item Pi5 (autres planifications) est quasi absent des bilans de codage, absence que l'on peut interpréter en relevant que les catégories pour la planification que nous avons définies décrivent bien tous les aspects du travail préparatoire de l'enseignant (pour les TP observés).

Si nous comparons les résultats du codage de la planification pour les deux séances de travaux pratiques sur la "chute libre" pour les deux professeurs P2 et P4, nous notons leur grande similitude *alors que* le matériel, les activités et productions des élèves sont très différents ; ce phénomène se retrouve, à moindre échelle pour les TP "électricité" alors que là, les activités expérimentales, le matériel mis à disposition des élèves, les productions attendues sont très comparables, et les

différences s'accroissent entre les planifications pour la calorimétrie. Les deux séances portant sur les mesures calorimétriques présentent entre elles des écarts marqués que l'on peut expliquer par la différence de statut de ces deux TP : pour le professeur P2 ce travail est le support d'une évaluation "expérimentale" qui porte sur l'obtention d'un résultat pour la chaleur latente, l'analyse critique de la manipulation ; pour le professeur P4, les mesures calorimétriques ne sont pas le but du TP, c'est la distinction température, chaleur qui est visée ici. Les élèves doivent proposer une expérience (évolution de la température pendant la fusion du pentane) dont ils doivent prévoir le résultat. Ces deux séances étant particulières quant à leurs objectifs, nous nous intéresserons plus spécialement aux quatre autres cas.

La comparaison de la planification pour deux sujets différents de travaux pratiques "chute libre" et "électricité" montre des différences sensibles, ainsi la planification de l'organisation (Pi1) pour les deux enseignantes apparaît avec une fréquence plus grande pour "la chute libre" que pour "l'électricité", et c'est le phénomène inverse que nous observons concernant la planification des activités expérimentales pour l'acquisition des mesures (Pi2).

L'organisation des deux séances sur la chute libre présente des similitudes : ne disposant que de deux systèmes informatisés permettant de faire l'acquisition des mesures, l'enseignante P2 doit organiser la rotation des groupes d'élèves ; la manipulation des appareils étant délicate, l'acquisition de mesures "exploitables" souvent difficile, elle prévoit de rester près des élèves jusqu'à ce qu'ils obtiennent leur fichier de mesures, elle définit alors clairement le travail de l'ensemble des groupes.

Il en est de même pour l'enseignante P4, les groupes d'élèves doivent tourner sur les expériences de la "chute de l'obus" (un seul exemplaire), de la chute de la bille (cinq montages), et, par ailleurs, ils doivent également exploiter une chronophotographie.

L'organisation des deux séances "d'électricité" est plus traditionnelle : pour l'enseignante P2, tous les binômes travaillent sur leur table avec le matériel qui s'y trouve dès le début de la séance et, pour ce qui concerne les élèves de l'enseignante P4, ils travaillent également à leur table où ils disposent des appareils de mesure, de l'alimentation etc. mais ils se partagent les dipôles à étudier.

Ces exemples indiquent bien que l'organisation de la séance, est sensible à l'environnement matériel.

Comment expliquer les différences entre les planifications des activités pour l'acquisition des mesures ?

Pour ce qui concerne la chute libre étudiée par les élèves de l'enseignante P2, une fois que ceux-ci ont suivi les consignes de la fiche pour préparer l'acquisition, qu'ils ont attaché le mobile avec une ficelle, et qu'ils l'ont brûlée, l'acquisition des mesures est automatique ; le cas des élèves de l'autre enseignante est un peu différent, c'est bien eux qui font les acquisitions avec deux montages mais ils ont à leur disposition une fiche de consignes pour les guider, et ils doivent exploiter (au moins dans un premier temps) qualitativement les mesures qu'ils obtiennent : de ce fait le nombre des mesures est peu important et la précision n'intervient guère.

Lors des deux séances de travaux pratiques "d'électricité", pour les deux classes, les élèves doivent réaliser un ou plusieurs montages, choisir les calibres des contrôleurs, décider des mesures à effectuer, faire des réglages pour observer les phénomènes (début de l'électrolyse, moteur qui ne tourne pas etc.) et leurs mesures sont ensuite exploitées à travers l'étude des caractéristiques intensité - tension. La production de ces caractéristiques est donc essentielle pour les deux enseignantes.

Nous notons sur ces exemples que, même quand les activités organisées par les enseignants pour leurs élèves ont des objectifs apparemment "traditionnels", la planification de ces activités est très dépendante à la fois du matériel disponible mais également de l'enjeu des mesures.

Les raisons

L'étude des graphiques pour les "raisons" montre que la présence ou l'absence de certains items ne dépend pas de la situation analysée. Des "raisons" se retrouvent pour toutes les séances, il s'agit de celles liées au matériel (présence ou absence, quantité, fiabilité, etc.) que nous avons codées Re2 et Rp4a, celles en relation avec les élèves (Rd4 pour la prise en compte de leurs difficultés et Rp4b pour leur comportement pendant le TP), et des choix propres de l'enseignant (Rp6 et Rp5 pour la production d'un référent). De façon symétrique, certaines "raisons" sont toujours absentes (ou leur présence reste très faible) comme l'enseignement d'une démarche (Rd3), comme des raisons liées à la gestion de la classe (élèves actifs Rp1, autonomes Rp3, enseignant disponible Rp2), et comme la prise en compte de compétences autres que disciplinaires Rp5.

Ces résultats sont en concordance avec les différentes analyses détaillées que nous avons présentées plus haut :

- le matériel intervient dans le choix (ou l'imposition) des expériences mises en place, dans le choix des activités ; il intervient également lorsque, n'apparaissant pas suffisamment fiable à l'enseignant, celui-ci prévoit des "solutions de secours" (tableau de valeurs, enregistrements etc.)
- les difficultés des élèves en physique sont toujours évoquées et les incertitudes quant à leur comportement, à leurs activités durant la séance, sont analysées par les enseignants (et nous avons repéré la pertinence de ces analyses dans l'observation des séances),
- enfin les "choix" propres à l'enseignant amènent leur lot de contraintes et orientent explicitement la planification des activités des élèves.

Des différences entre les sujets traités et entre les enseignants ?

Effectivement on peut s'étonner de la faible fréquence des items Rd1 (enseignement de connaissances de physique) et Rd2 (enseignement de compétences) pour les travaux pratiques portant sur la chute libre et la calorimétrie contrairement à la dernière séance "électricité". Pour l'enseignante P2 dans l'étude de la chute libre nous avons noté que son objectif est que les élèves obtiennent et exploitent les mesures (référent) sur lesquelles elle s'appuiera pour construire son cours (construction d'un référent). Quant à l'enseignante P4, elle apporte sur la fiche des connaissances concernant le modèle de la chute libre, elle met en œuvre le principe d'inertie pour prévoir la modification de la vitesse de l'objet pendant la chute, toutefois pendant toute la séance les activités

expérimentales des élèves ne portent que sur la vitesse de l'objet. Pour ce qui est de l'étude des générateurs et/ou récepteurs électriques, les élèves doivent retrouver à travers les caractéristiques de ces dipôles, les grandeurs électriques f.e.m., f.c.e.m., résistance interne etc., ils doivent également mettre en œuvre leurs compétences pour la réalisation des montages.

Il apparaît que la très grande majorité des raisons évoquées portent sur la planification, nous confirmons ainsi que, quelles que soient les circonstances que nous avons étudiées, la liaison planifications / raisons est toujours une liaison forte.

Expertise et cohérence des enseignants

Dans l'étude que nous venons de réaliser nous avons noté que tous les aspects de la construction du milieu du TP ont été chaque fois planifiés ; nous avons également remarqué que pour un sujet donné la planification est semblable, voisine, lorsque la séance est "classique", que les objectifs de l'enseignant sont "traditionnels" (mettre en place une situation de référence, proposer une vérification ...) alors qu'elle diffère sensiblement lorsque les objectifs de l'enseignant s'écartent des références traditionnelles (évaluation, montage d'un dossier). On retrouve ici clairement l'étroite interaction planification / "raisons" : les situations étudiées sont bien des constructions élaborées par les enseignants pour répondre à des objectifs explicites, tout en prenant en compte un ensemble de "raisons", de contraintes. Ceci nous amène à penser que, construire une situation sur des objectifs explicites, prendre en compte tous les aspects de la planification, constituent une marque de l'expertise professionnelle des enseignants et ceci met également en évidence la cohérence dont fait la preuve l'enseignant constructeur (Comiti et al., 1995).

5.2. La planification transmise aux élèves à travers la fiche

Après avoir étudié la construction du milieu du TP (versant enseignant), nous allons suivre la même démarche pour étudier une des caractéristiques du milieu transmis aux élèves : la fiche d'activités (versant élève), c'est à dire que nous allons regarder le même "objet" (les activités planifiées) mais vu du côté des élèves.

Dans les études détaillées de chaque séance, nous avons mis en évidence que la place du TP dans la progression, l'organisation de la séance et la planification de l'activité de l'enseignant n'apparaissent pas (ou quasiment pas) sur les fiches d'activités distribuées aux élèves.

Nous avons également montré que la planification transmise par la fiche de TP est très voisine de la planification de l'enseignant pour P2 et que, par contre pour deux séances de TP (chute libre et calorimétrie) les différences étaient importantes pour l'enseignant P4.

La construction du milieu du TP

Pour affiner cette analyse nous avons repris pour chacune des séances la planification de l'enseignant et la planification transmise par la fiche. De plus, nous n'avons conservé dans le bilan de la planification de l'enseignant que les items qui concernent les activités et les productions programmées par la fiche (Pi2, Pi3, Pi4, Pi5, Pi6).

Nous représentons ci-dessous les diagrammes en fréquence des deux planifications pour chacun des TP, d'abord pour l'enseignante P2 puis pour l'enseignante P4.

Qu'en est-il pour l'enseignante P2 ?

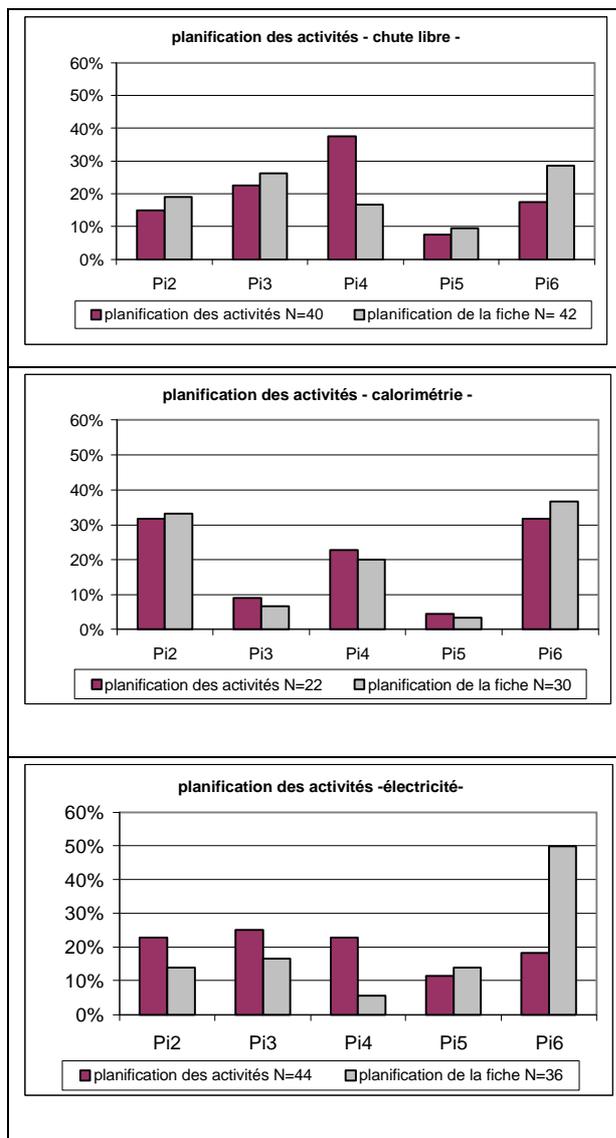


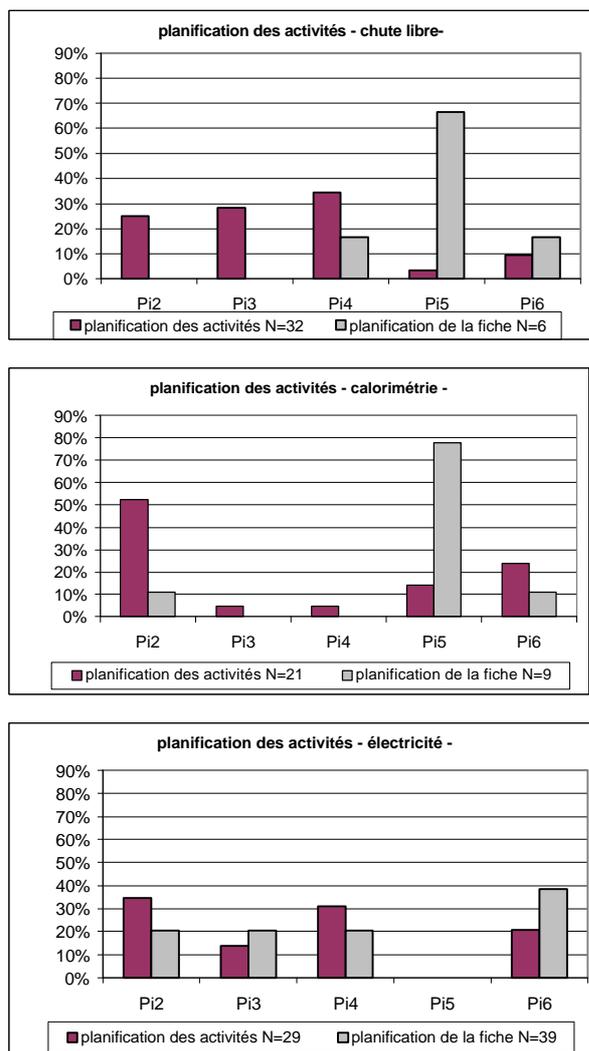
Figure B-24 : planification entretien (■) - fiche (□).

Enseignant P2

Nous observons sur les trois situations de TP pour l'enseignante P2 que :

- le nombre d'items codés est très voisin pour chaque entretien et pour la fiche correspondante,
- la planification des activités liées à l'acquisition des mesures (Pi2) et à leur traitement sont quasi identiques dans l'entretien et dans la fiche,
- des différences apparaissent pour les activités d'analyse qui sont moins fréquentes sur la fiche que dans l'entretien,
- des différences apparaissent également pour la planification des productions, les items sont plus fréquents sur la fiche que dans l'entretien.

Qu'en est-il pour l'enseignante P4 ?



Nous observons sur les trois situations de TP pour l'enseignant P4 que :

- le nombre d'items codés est très inférieur sur la fiche que dans l'entretien sauf pour l'électricité,
- la planification des activités liées à l'acquisition des mesures (Pi2) et à leur traitement sont quasi inexistantes sur la fiche contrairement à l'entretien, pour les TP - chute libre et TP - calorimétrie, alors qu'ils sont aussi fréquents pour le TP - électricité,
- la planification codée Pi5 "autres" apparaît avec une fréquence importante dans les fiches des TP - chute libre et TP - calorimétrie, et n'apparaît pas dans la fiche TP - électricité,
- les items pour la production ont une fréquence voisine sur la fiche et dans l'entretien, sauf pour le TP - électricité.
- la planification des activités d'analyse a une fréquence plus importante dans l'entretien que sur la fiche pour les 3 TP.

Figure B-25 : planification entretien (■) - fiche (□).
Enseignant P4

Si nous comparons maintenant les planifications des activités élaborées par les deux enseignantes, nous remarquons que toutes les observations que nous avons faites pour l'ensemble des TP organisés par l'enseignant P2 se retrouvent pour le TP - électricité de l'enseignant P4, contrairement aux observations que nous avons faites pour les deux autres TP (chute libre - P4 et calorimétrie - P4).

Pourquoi trouve-t-on pour ce TP - électricité de l'enseignant P4 autant de ressemblances dans la planification avec l'ensemble des TP de l'enseignant P2 ? et le corollaire, pourquoi retrouve-t-on une planification semblable dans les trois TP de l'enseignant P2 ?

Le TP - électricité est le seul que l'enseignante P4 fait avant le cours et sur lequel elle s'appuie pour développer ce cours, elle fait construire ici un référent à ses élèves comme nous l'avons relevé dans

l'analyse détaillée. S'il en est de même pour le TP - chute libre élaboré par l'enseignante P2, cela ne s'applique pas aux deux autres qui sont, soit une évaluation sommative (calorimétrie), soit, en partie, une évaluation formative (électricité).

La place et le rôle du TP dans la progression ne sont donc pas des critères discriminants pour expliquer les différences et ressemblances, il est nécessaire de préciser davantage les ressemblances des TP de l'enseignante P2 et du TP - "électricité" de l'enseignante P4.

Dans le TP "chute libre" de l'enseignante P2 comme dans le TP "électricité" de l'enseignante P4, l'activité expérimentale d'acquisition et de traitement des mesures est faite avant que des connaissances soient apportées ou mises en œuvre : quand les élèves de l'enseignante P2 font le TP - chute libre, ils n'ont aucune connaissance sur les lois horaires, sur la relation entre vitesse et dénivellation etc. : les lois cinématiques de la chute libre doivent être construites, trouvées à partir des résultats de l'expérience. Quand les élèves de l'enseignante P4 font le TP - électricité, ils abordent d'emblée les mesures d'intensité et de tension, le tracé de la caractéristique et sa modélisation ; ce n'est qu'après que les questions de la fiche les amènent à faire la relation avec leurs connaissances (pile, conducteur ohmique). Nous trouvons donc sur ces deux TP des ressemblances dans leur construction.

Le problème (la question) qui est posé aux élèves est en premier lieu de faire (montages, mesures) et d'obtenir (graphe, équation etc.) ce qui les amène à rester dans le niveau des liaisons entre les objets, les mesures, et les relations mathématiques ; la question initiale ne les engage pas d'entrée sur le niveau des connaissances de physique.

Qu'en est-il des deux autres TP pour l'enseignant P2 ?

On remarque que, bien que les élèves aient *a priori* des connaissances sur les sujets étudiés, il n'y a sur la fiche aucune indication, question ou consigne qui les amène à les mettre en œuvre avant de manipuler : les "objectifs" qu'ils découvrent en premier concernent les activités expérimentales (concevoir un montage, réaliser, tracer, utiliser...) ; ce n'est qu'*a posteriori* qu'ils doivent faire un "retour" sur leurs connaissances (analyse critique de la manipulation *a posteriori* et non prise en compte *a priori* des difficultés d'un mesurage en calorimétrie, etc.)

Le fonctionnement des trois TP de l'enseignante P2 que nous avons observés est donc le même, quelle que soit leur place dans la progression : ce sont la conduite de l'expérience, l'acquisition des mesures et leur traitement qui sont dévolus aux élèves : la mise en relation avec les connaissances arrive après.

La différence apparaît alors clairement avec le TP - chute libre et le TP - calorimétrie construits par l'enseignante P4. Dans ces deux cas, les élèves construisent leur travail expérimental à partir des connaissances de physique apportées ou évoquées en tête de la fiche : connaissances nouvelles pour la chute libre, connaissances évoquées pour la calorimétrie ; les élèves doivent donc s'appuyer sur leurs connaissances pour construire la réponse au problème posé.

Choisir de construire sur une activité de mesurage ou construire sur la mise en application de connaissances entraîne des différences importantes quant au problème (questions) dévolu(es) aux élèves mais entraîne également des différences quant au milieu transmis par l'enseignant :

- dans le premier cas, les élèves n'ont pas à mettre à l'épreuve ou à faire fonctionner leurs connaissances dans la confrontation à la réalité matérielle de l'expérience et l'élève reste dans le monde des objets et des instruments ; les consignes de la fiche sont majoritairement des consignes d'action (Pi2, Pi3), la présence attentive de l'enseignant pour repérer les erreurs de manipulation et de mesures, orienter l'activité est indispensable pour produire les résultats qu'il attend (ce qui n'exclut pas son rôle médiateur pour autant). La fiche comme l'enseignant sont des éléments du milieu du TP incontournables ;
- dans le second cas, les élèves s'appuient sur leurs connaissances pour répondre à la question posée, au problème à résoudre. La mise en œuvre de leurs connaissances et compétences et la construction de l'activité expérimentale sont à la charge des élèves ; on trouve alors sur la fiche des consignes ouvertes (Pi5) et si l'enseignant est bien un élément du milieu, il intervient essentiellement auprès des élèves en médiateur.

Dans le modèle de l'interaction de l'élève avec le milieu construit par l'enseignant pour le TP, nous retrouvons les deux situations que nous venons de relever :

- lorsque la construction de l'activité (au sens large) s'appuie sur les mesures alors, pour l'élève, pendant l'activité le lien savoir enseigné - activités n'est pas nécessaire au déroulement attendu,
- lorsque la construction de l'activité s'appuie sur les connaissances alors l'élève doit mettre en œuvre le lien savoir enseigné - activités pour mener à bien l'activité programmée.

Le schéma que nous avons proposé figure B-11 pour représenter l'élève dans l'activité de TP est ici modifié : vu de l'élève c'est bien le savoir enseigné qui se trouve derrière l'activité (et non le savoir à enseigner).

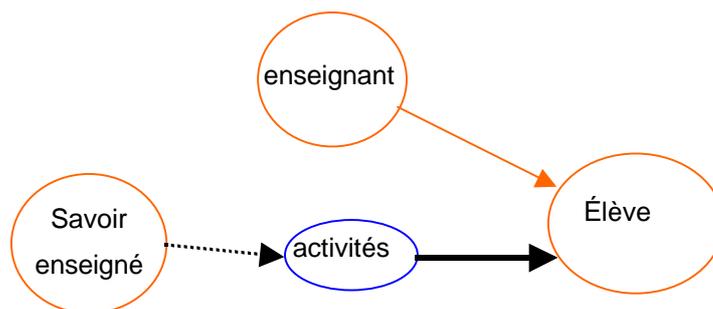


Figure B-26 : l'élève voit l'enseignant et les activités, mais pas nécessairement les savoirs qui sont derrière

La construction du milieu du TP

Jusqu'ici nous nous sommes intéressés à la construction du milieu du TP et aux raisons qui l'expliquent. Nous avons vu, dans le bilan des raisons que, pour toutes les séances, les difficultés des élèves, leur apprentissage (Rd4), font partie explicitement des préoccupations des enseignants.

Comment l'enseignant prend-il en compte ces difficultés, comment négocie-t-il l'apprentissage de connaissances de physique à travers les activités quantitatives faites par les élèves ? c'est une des questions que nous allons aborder dans l'analyse des activités quantitatives programmées.

PARTIE C

**LES EXPERIENCES QUANTITATIVES :
QUELLES RAISONS EN DONNENT LES
ENSEIGNANTS ? QUELS ROLES JOUENT-
ELLES DANS LA PRATIQUE ?**

C. LES EXPERIENCES QUANTITATIVES : QUELLES RAISONS EN DONNENT LES ENSEIGNANTS ? QUELS ROLES JOUENT-ELLES DANS LA PRATIQUE ?

Dans la précédente partie, nous nous sommes intéressés à l'élaboration générale des séances de travaux pratiques. Dans le milieu ainsi créé par l'enseignant, figurent en bonne place des activités centrées sur le mesurage et l'analyse de mesures. C'est cette dimension que nous avons qualifiée de "quantitative" qui va nous intéresser dans cette dernière partie.

Derrière l'expression "activités quantitatives", nous mettons l'ensemble des relations entre la théorie et l'expérience, et en particulier la confrontation entre mesures et modèles, et ce "quantitatif" est bien une caractéristique des disciplines scientifiques s'intéressant à l'étude des phénomènes naturels, et en particulier celle de la physique par ses relations privilégiées avec les mathématiques (depuis Galilée, voir "La mathématisation du réel" de G. Israël, 1996).

Comme nous l'avons déjà évoqué, le passage à l'enseignement et à l'apprentissage impose des écarts entre les pratiques scientifiques et les activités des élèves. Notre objectif a donc été de chercher à évaluer cet écart, et *in fine*, à préciser ce qui "reste de scientifique" dans les activités proposées aux élèves ; il s'agit bien alors, en terme de transposition, de l'identification des "invariants" mentionnés en première partie, c'est-à-dire les critères qui permettent un consensus (entre enseignants, institution, noosphère, scientifiques et parents) sur le fait qu'il s'agit bien d'un enseignement "scientifique" et "expérimental" (au sens des textes officiels).

Notre analyse a été conduite sur plusieurs fronts.

- Une analyse plus fine des raisons justifiant les activités quantitatives planifiées pour rechercher l'évocation d'un caractère scientifique, en reprenant l'ensemble des entretiens faits avec les enseignants, et en particulier l'entretien dit "final".
- Une analyse critique des activités proposées aux élèves en focalisant notre attention sur la validité scientifique de la démarche, et en prenant notamment comme critère des exigences scientifiques la nécessaire prise en compte des incertitudes (régulièrement mentionnées, et récemment réaffirmées dans les commentaires de l'inspection générale).

Nous voulons vérifier l'écart qui apparaît alors entre les attentes de l'enseignant et l'activité des élèves. Reprenant ici les travaux de K. Bécu-Robinault (1997), nous essayerons de repérer cet écart, sans doute *incontrôlé par l'enseignant* et même dont celui-ci n'a pas conscience, au niveau des mises en relations entre le monde des objets et celui des modèles. Reprenant les travaux de D. Beaufils (1999, 2) nous essayerons de montrer également comment les consignes explicites et les guidages peuvent induire une activité des élèves restreinte au "faire" et ce à un niveau parfois élémentaire.

L'ensemble des résultats de ces analyses permet d'avoir une évaluation précise de l'écart entre les activités scientifiques et celles des élèves dans les travaux pratiques qui leur sont proposés. Nous reprendrons ceci en conclusion ce qui nous conduira à une identification des "critères de scientificité", points restés invariants dans la transformation / transposition ainsi opérée de fait.

C.1. A PROPOS DES DEMARCHES

Nous nous proposons d'analyser, de caractériser ici les démarches mises en œuvre par les enseignants pour les six TP étudiés ; clairement notre objectif n'est pas de définir tous les possibles ou toutes les démarches existantes dans l'enseignement des sciences expérimentales au niveau du lycée mais de nous centrer sur celles que nous avons observées. Pour ce faire nous nous appuierons sur les entretiens avec les enseignants.

Pour étudier la construction du milieu du TP, nous avons mis en évidence et analysé les relations que l'enseignant établit entre la planification des activités et productions des élèves qu'il organise et les raisons /justifications / argumentations qu'il donne pour les expliquer, les justifier. Nous intéressent et nous limitant maintenant aux activités quantitatives, nous ne prendrons en compte dans nos analyses futures qu'un sous-ensemble de notre corpus initial.

À partir de ce que nous avons regroupé sous l'expression "activités quantitatives", les catégories recouvrant ces activités sont :

- l'acquisition des mesures : choix du montage, réalisation, obtention des mesures (codé Pi2),
- le traitement mathématique (graphes, relations algébriques, vectorielles...) de ces valeurs (codé Pi3)
- l'analyse des résultats au sens large qui recouvre aussi bien, une première étude critique des résultats de mesure obtenus que l'interprétation physique de grandeurs issues du traitement mathématique, que la confrontation d'un résultat expérimental avec la valeur tabulée, que la confrontation d'un modèle théorique avec les résultats des mesures etc. (codé Pi4),

Donc pour l'étude qui suit, nous ne prendrons en compte dans l'analyse des "raisons" données par l'enseignant que celles qui ont un lien avec, au moins un des trois items Pi2, Pi3 et Pi4.

1.1. Quelles références pour les démarches ?

Nous avons déjà noté que, si dans les programmes actuels des classes de première et terminale scientifiques et dans les commentaires qui les accompagnent, les références "à la démarche expérimentale", à la "démarche scientifique" sont clairement affirmées, il n'en est pas de même pour la caractérisation ou la (les) description(s) de celle(s)-ci. On peut parallèlement relever que, les programmes pour la classe de seconde récemment publiés font la distinction entre les "compétences

liées à l'expérimentation" et celles "liées aux manipulations et aux mesures" (B.O.E.N., 1999, p.10), mais si, à travers les compétences énumérées, on peut inférer des démarches, celles-ci ne sont pas pour autant explicites.

Dans un travail mené sur une étude de la transposition d'activités scientifiques à l'enseignement, A.Guillon a étudié les "démarches du physicien" (1995, p.116). Il a été ainsi amené à en différencier quatre :

- démarche dite "mathématique" : où l'essentiel du questionnement repose sur des considérations de structures et de propriétés mathématiques ;
- démarche de simulation : les modèles issus de modélisations théoriques sont mis en fonctionnement par des simulations et le travail est alors une expérimentation sur modèle ;
- démarche théorique : partant d'un questionnement à propos d'un système ou d'un phénomène complexe, le physicien en élabore un modèle qui, traduit en équations dans le cadre d'une théorie générale, conduit à des relations physico-mathématiques, le modèle de connaissance ;
- démarche expérimentale : le phénomène ou le système fait l'objet d'une étude expérimentale, fondées sur l'acquisition de données qui seront ensuite modélisée mathématiquement.

Dans la pratique "le physicien", au sein d'une équipe, met en œuvre successivement ou simultanément une ou plusieurs de ces démarches. De plus, dans tous les cas, la confrontation modèle/mesures occupe « la place centrale ».

Dans le cadre de l'enseignement supérieur qui intéressait A. Guillon, la démarche "mathématique" était déjà mise de côté. Dans le cadre de l'enseignement secondaire, c'est également le cas et, de plus, la "démarche de simulation" n'est pas apparue parmi les six séances que nous avons étudiées (cette démarche reste d'ailleurs assez rare dans la pratique, ne se trouvant que dans quelques innovations relatives à l'utilisation de l'ordinateur). Le nombre des démarches se limite donc aux deux dernières et nous reprenons ci-dessous l'extrait correspondant du schéma présenté par A.Guillon, 1995.

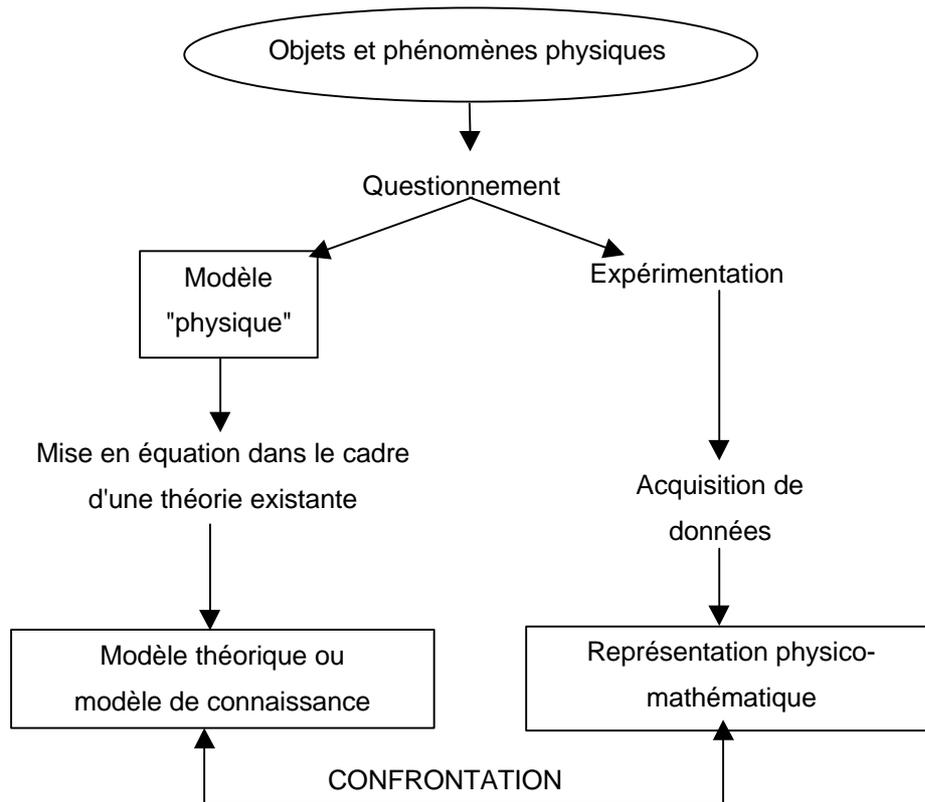


Fig. C-1 : Démarches du physicien (d'après le schéma synoptique d'A. Guillon, 1995, p.116)

Remarque : Dans le schéma ci-dessus, nous avons mis entre guillemets l'adjectif "physique" dans l'expression « modèle physique » utilisée par A. Guillon et, surtout, nous avons remplacé l'expression « modèle expérimental / modèle de comportement » qui faisait référence à la terminologie de J.-C. Trigeassou (1988) par "représentation physico-mathématique" ; en effet, le statut de modèle n'est pas atteint en première étape : la description d'un ensemble de données par une relation mathématique n'est un modèle que lorsque celle-ci est prise en tant que tel dans une application ultérieure.

Qu'en est-il pour les séquences observées ? Les démarches du physicien présentées ci-dessus permettent-elles de décrire les démarches mises en œuvre ? Pour répondre à ces questions, nous reprenons, dans les entretiens avec les enseignants, les indications qu'ils en donnent.

1.2. Quelles démarches dans les travaux pratiques observés ?

Étude de la chute libre (enseignant P2)

Au cours de cette séance de travaux pratiques les élèves doivent réaliser une étude cinématique du mouvement d'un mobile tombant verticalement (annexe 1). Les élèves réalisent l'acquisition

automatique à l'aide d'un système informatisé (Magnum de Microlec).; ils obtiennent alors un tableau de mesures (t, v et x) et qu'ils traitent ensuite avec le logiciel Regressi (Microlec).

Comme l'indique l'enseignante, l'observation de l'ensemble des points expérimentaux $x(t)$ doit permettre aux élèves de "reconnaître" une forme parabolique :

E1-128 : je leur pose déjà une question, est-ce qu'on peut exploiter facilement un tel graphe (?) alors j'attends quand même qu'ils me disent que c'est de type un peu parabolique,

et d'admettre alors la fonction mathématique proposée par l'enseignante $x = b \cdot t^2$:

E1-132 : c'est quand même un super problème au niveau de / de la conception du TP parce que j'aimerais bien quand même qu'ils me disent que c'est une espèce de parabole c'est à dire qu'on attend un t^2 , d'accord (?) /pour justifier mon modèle, pourquoi je choisis ce modèle là

Les élèves doivent ensuite observer la superposition points expérimentaux / graphe, et relever la valeur optimisée du paramètre ainsi que l'incertitude indiquée et "l'écart relatif sur x" calculé par le logiciel.

E1-142 : [...] ils peuvent recommencer en changeant un petit peu la valeur de b au départ, ils vont relancer la modélisation avec une même borne ou changer les bornes même à la limite, [...]

E1-146 : eh bé je veux qu'ils me relèvent tout/ et on en discutera, [...]

Pour ce qui concerne $v(t)$ la démarche suivie est similaire mais là, les élèves reconnaissent seuls la forme rectiligne de l'ensemble des points expérimentaux ; c'est donc eux qui proposent la fonction pour la modélisation expérimentale.

E1-162 : [...] ils vont travailler sur la vitesse v en fonction du temps, leur vitesse à eux, c'est possible, ils peuvent le faire donc ceux, les plus rapides / ils pourront faire $v(t)$, mais ils me feront aussi quand même quelques points à la main.

Dans les résultats obtenus pour les fonctions $x(t)$ et $v(t)$ les élèves doivent reconnaître l'accélération de la pesanteur g pour établir ensuite les équations horaires du mouvement de translation d'un objet tombant verticalement en chute libre.

E1-174 : [...] bon donc j'aimerais qu'ils reconnaissent g / je sais pas / j'aimerais qu'ils sentent que, peut-être il y a une relation avec g et je vais les guider ça c'est évident, ceux qui ne verront pas je vais les aider

E1-178 : Voilà qui (b) est de l'ordre de 5 on dira, 5 alors en $m.s^{-2}$ aussi, qu'ils fassent la corrélation avec les unités ce qu'on vient de voir, ah tiens, c'est des $m.s^{-2}$ aussi, bon, qu'ils disent ah ben, $g/2$ [...]

Dans cet exemple, les élèves ne font pas de confrontation entre un résultat expérimental et un modèle théorique, à partir de l'observation des graphes (et des indications de l'enseignante) ; ils élaborent une relation mathématique à partir de laquelle le modèle "physique" sera introduit. On remarque donc que cette démarche ne correspond pas exactement au schéma d'A. Guillon, mais à une partie seulement de la démarche, celle aboutissant à la description mathématique sans aller jusqu'à la confrontation. Ce qui apparaît ici, est que la démarche mise en place par l'enseignante lui permet de construire un référent pour son enseignement : les relations mathématiques "issues" de mesures serviront de support, de référence à la présentation ultérieure des éléments théoriques relatifs à la chute libre.

Montage et acquisition des données → description mathématique

Mesures calorimétriques (enseignant P2)

Dans la première partie, en mettant en œuvre le principe de conservation de l'énergie, les élèves établissent l'expression de l'enthalpie de fusion (L_f) de la glace pour une situation expérimentale "idéale" : calorimètres adiabatiques, pas de pertes d'énergie pendant les différentes manipulations etc.

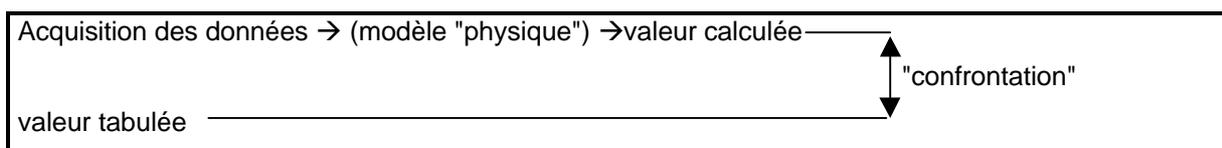
E3-54 : [...] donc s'ils me mettent ça, rédigé comme ça c'est parfait, donc s'ils me mettent le calorimètre plus l'eau plus / voilà les accessoires donc on le considère isolé de l'extérieur c'est-à-dire qu'il n'échange rien au niveau chaleur, [...] donc j'attends qu'ils arrivent à définir leur système, [...]

Dans la deuxième partie, en suivant le protocole de la fiche d'activités ils réalisent les mesures nécessaires au calcul de L_f et enfin comparent leur résultat à la valeur tabulée en calculant l'écart relatif entre ces deux valeurs.

E3-126 : j'ai mis 335, alors il y a certaines tables qui donnent 333 kJ [...], donc « commentez vos résultats » [...], ensuite s'il y a un résultat visiblement aberrant, enfin qui colle pas du tout, qu'ils me fassent un petit commentaire bon, on verra, il peut y avoir, / peut-être les amener à refaire leurs calculs, à la calculatrice, les amener à réfléchir, tu vois (?) [...] ; alors après j'ai mis « évaluer l'erreur » à partir du moment où ils estiment qu'ils ont un résultat pas trop mauvais, j'aimerais qu'ils me donnent le pourcentage d'erreur, [...]

E3-128 : voilà, par rapport à la valeur donnée, que j'ai donnée, bon, « alors quelles sont les causes d'erreur ? » j'attends pas quelque chose de très précis, simplement qu'ils me disent bon / les mesures de masse ne nous ont pas semblé très précises par exemple, nos mesures de température, bon tu vois qu'ils fassent de petits commentaires / sur les sources d'erreur mais pas simplement

Il s'agit ici de l'activité de mesurage d'une grandeur avec la confrontation du résultat à une valeur de référence, la démarche suivie s'inscrit alors parmi les démarches décrites précédemment :



Caractéristiques d'un électrolyseur (enseignant P2)

Dans cette séance de travaux pratiques (annexe 3) les élèves doivent étudier les caractéristiques intensité / tension de deux électrolyses du sulfate de cuivre en solution, pour l'une l'anode est en carbone et pour l'autre l'anode est en cuivre.

L'enseignante prévoit pour les deux électrolyses que les élèves réalisent le montage, effectuent les mesures nécessaires pour tracer la caractéristique de chaque électrolyseur et enfin qu'ils déterminent pour chaque dipôle l'équation de la "droite de modélisation".

Les expériences quantitatives

E5-12 : hé ben c'est concevoir le montage électrique, [...] le réaliser, [...] et puis bon tracer la caractéristique et puis arriver à me trouver l'équation de la droite de modélisation, [...]

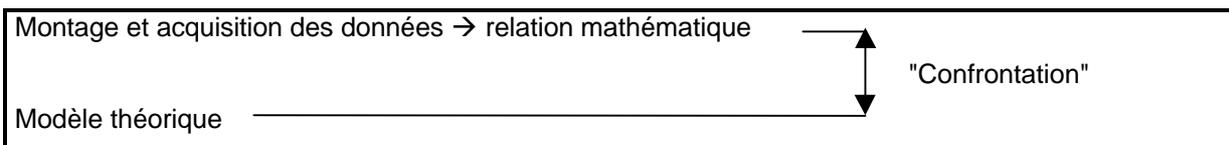
Pour l'électrolyse à anode en carbone, la description attendue est celle par une droite affine sur un domaine de fonctionnement : les élèves doivent « sentir » les limites du modèle en comparant la valeur mesurée pour $I \approx 0$ et celle obtenue à partir de la fonction mathématique.

E5-60 : mais ils risquent de louper la première valeur de U si tu veux, pour I non nul / c'est-à-dire à partir de quand l'électrolyse démarre, si je fais pas gaffe, [...] que vous me disiez pour quelle valeur de U aux bornes de l'électrolyseur, l'électrolyse commence

E5-108 : tu vois, [...] 1 mA ça me donnait 1,3 je crois / oui c'est ça j'avais 1,3 V / de tension au moment où le courant arrivait à 1 mA, bon c'est approximatif, / E' je trouve 1,6 V, c'est quand même intéressant / on pourra en discuter après / quand ils linéarisent, [...] c'est quand même intéressant expérimentalement [...] tu vois qu'ils aillent trop vite, par exemple si là ils font / mettons zéro, après ils font 10 mA, classique, hé bien ils l'ont loupé.

Pour cette même électrolyse, les élèves doivent déduire de l'équation de la droite un ordre de grandeur des valeurs des paramètres du modèle théorique : la force contre électromotrice E' et la résistance interne r' .

Pour cette étude particulière, si l'on se réfère aux démarches présentées par A. Guillon, on retrouve les étapes :



Pour la deuxième électrolyse à anode en cuivre, la démarche est voisine, les élèves doivent établir la relation mathématique descriptive (droite passant par l'origine) :

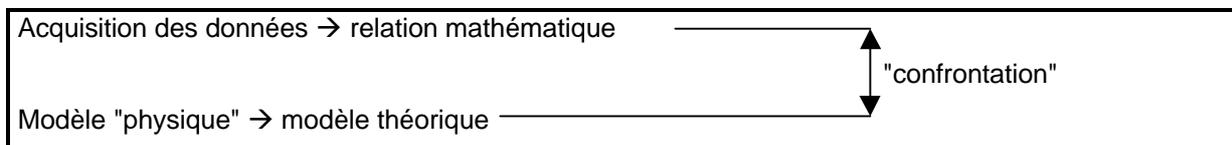
E5-144 : elle est particulière, ben hein, si ça marche pas trop mal, tu vois, je pense qu'ils vont quand même dire qu'elle passe à peu près par l'origine, donc je pense qu'ils vont quand même dire $U = aI$ tu vois [...]

E5-154 : oui, je pense conducteur ohmique, moi j'attends conducteur ohmique bien sûr / puisque ce qu'ils peuvent dire c'est en approximation à ce moment là ils peuvent peut-être se récupérer, une approximation à ce niveau là, ça peut les aider si tu veux

Après une étude des réactions chimiques et du bilan énergétique, les élèves doivent établir que la f.c.e.m. du récepteur est nulle et confrontent alors le modèle théorique au comportement expérimental :

E5-162 : c'est-à-dire que comme on a vu dans le cours, puisque j'ai fait le cours sur le récepteur, que l'énergie chimique récupérée était liée à la valeur de E' , ça on l'a fait ça, qu'ils / fassent l'association qu'ils trouvent que E' en fait là il est nul, [...]

Les étapes de la démarche sont ici :



Étude de la chute libre (enseignant P4)

L'enseignante construit la séance de travaux pratiques (annexe 4) sur la chute libre comme une « illustration de la conséquence du principe de l'inertie » (E2-31). S'appuyant sur le modèle "physique" de la chute libre, elle prévoit que la vitesse du solide doit varier au cours de sa chute verticale.

E2-91 : [...] puisqu'il y a que le poids donc vg varie / point et moi je leur dis puisqu'ils peuvent pas le trouver que seule la valeur varie puisqu'en fait la direction varie pas

Les élèves doivent retrouver / vérifier ce résultat en mettant en œuvre trois situations expérimentales.

E2-85 : là parce qu'effectivement parce qu'en fait la potence [...] si, l'étude qualitative ils peuvent le faire, mais je leur dis attention l'un des dispositifs n'est pas direct, c'est pas facile en fait à montrer que la vitesse augmente

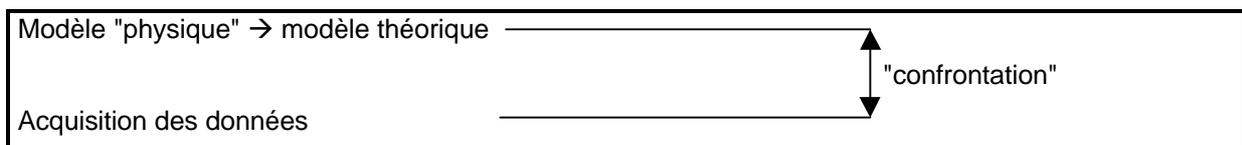
E2-121 : Qu'ils aient d'autres idées, ils pourraient aussi essayer d'essayer d'avoir un temps constant et de voir que c'est pas les mêmes distances mais ça c'est encore plus difficile à réaliser de façon pratique [...]

Après avoir établi pour les trois situations que la vitesse du solide varie pendant la chute, l'enseignante attend que les élèves « affinent cette information en trouvant la relation mathématique existant entre Vg et la durée de chute t ».

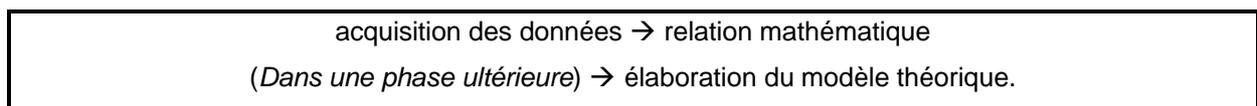
E2-137 : et bien j'espère qu'ils vont trouver une relation entre, alors ça va dépendre en fait de ce qu'ils vont utiliser comme, s'ils utilisent la chronophotographie, ils vont trouver $v = gt$, enfin ils vont pas trouver forcément que c'est g , j'attends $v = kt$, kt // par contre s'ils prennent l'obus, ça ne passe pas par zéro[...]

Si on analyse les deux démarches mises en place par l'enseignante, dans la première les élèves doivent "confronter" les résultats expérimentaux qu'ils obtiennent au modèle théorique qualitatif établi par l'enseignante : c'est la "vérification" demandée. Dans la seconde démarche, s'appuyant sur le graphe des points expérimentaux $Vg(t)$, les élèves doivent établir la relation mathématique qui sera utilisée ultérieurement : on reconnaît ici, la construction d'un référent sur lequel le cours sera bâti.

Pour la première partie on retrouve le schéma suivant :



et pour la deuxième étape :



Calorimétrie (enseignant P4)

Le but de l'activité des élèves est ici de réaliser un dossier s'appuyant sur des résultats expérimentaux (acquis avec un système informatisé) pour prouver que « plus on chauffe, plus c'est chaud n'est pas toujours vrai » (annexe 5).

Dans un premier temps, les élèves doivent choisir une expérience qui doit leur permettre de répondre à la question (ici l'étude de l'évolution de la température θ au cours de la vaporisation du pentane) :

E4-36 : je vais aller les voir, et je vais leur demander [...] mais qu'est-ce qu'ils me proposent comme expérience

Ils doivent prévoir le résultat pour $\theta(t)$

E4-44 : donc je pense en arrivant ils vont me dire on va faire ça // bon et là moi je vais, // les aiguiller un petit peu, leur dire et comment ça va se passer votre expérience (?) c'est-à-dire qu'est-ce que vous allez voir, qu'est-ce que (?)

et ensuite confronter leur prévision aux résultats expérimentaux :

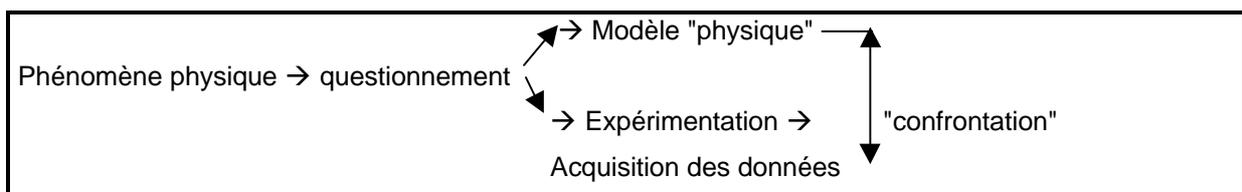
E4-58 : de CM2, hé ben on voit que la température bouge pas, c'est ça c'est tout ça hein, va pas plus loin, [...] il faut qu'ils restent à un niveau quelque chose d'observable, voilà c'est ça que j'attends.

La communication des résultats fait explicitement partie du travail, à l'écrit ou oralement devant leurs "pairs" :

E4-8 : là ils sont censés écrire à quelqu'un / qui n'est pas leur prof de physique a priori même s'ils passent par moi, donc j'espère qu'ils vont présenter quelque chose à un novice, et donc présenter l'ensemble, voilà, pas simplement répondre à des questions[...] Bon. donc ça c'était pour les obliger à faire un compte-rendu qui ressemble à quelque chose qui se tient, qui ait une introduction, un début une fin etc.

E4-54 : à la limite je leur dirai / rédigez papier et éventuellement quand vous me rendez le compte-rendu eh bien il y aura un groupe qui le présentera / oralement, c'est à dire qui aura sa partie papier, mais qui devra faire l'expérience comme si on faisait l'expérience aux élèves du primaire

La démarche mise en place correspond à la confrontation entre une prévision issue du modèle théorique et les résultats expérimentaux. On peut noter également que, en référence au schéma présenté figure C-1, le questionnement sur les phénomènes physiques fait ici partie intégrante de la démarche attendue des élèves, tout comme la communication orale des résultats "phase toujours absente" des travaux pratiques classiques (Guillon, 1995, p.119).



Caractéristiques intensité-tension d'un générateur et d'un électrolyseur (enseignant P4)

Le but du travail des élèves est indiqué par l'enseignante sur la fiche distribuée (annexe 6) :
Il s'agit de tracer pour une pile [...] et pour un électrolyseur [...] la caractéristique $U = f(I)$. à partir des courbes obtenues, un modèle mathématique sera recherché. Vous ferez de même dans le cas d'un moteur [...] mais en vous limitant au cas très particulier où le moteur ne peut pas tourner.

Les élèves doivent donc, en suivant les consignes de la fiche réaliser le montage expérimental, faire un ensemble de mesures intensité / tension pour les trois dipôles, tracer les caractéristiques et obtenir la relation expérimentale.

E6-28 : , pour eux je pense qu'un modèle mathématique c'est admettons $y = ax$, ça c'est clairement pour eux mathématique et de $y = ax$, ça arrive qu'on passe à des situations où on passe à $U = RI$; là c'est beaucoup moins clair, il faut passer de U , pour celui là le moteur, de $U = kI$ à $U = rI$, [...]

Pour l'électrolyseur comme pour le moteur l'enseignant attend que les élèves élaborent une relation expérimentale, qui servira de référent pour le cours suivant :

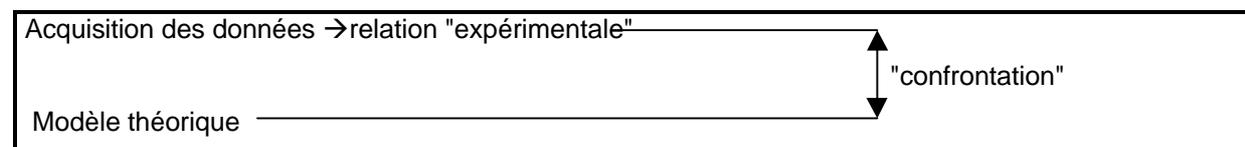
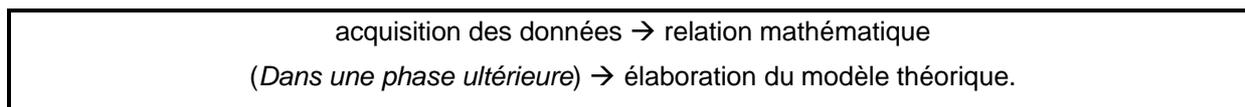
E6-30 : C'est à dire pour l'électrolyseur ils peuvent pas, parce que l'électrolyseur ils ont aucun renseignement la force contre-électromotrice ils connaissent pas, rien, donc là à ce niveau là, moi j'attends simplement qu'ils restent à $U = aI + b$, c'est tout, avec a négatif, je ne leur demande pas d'aller plus loin, tandis que là, (moteur qui ne tourne pas) j'espère qu'ils vont repenser à la loi d'Ohm

En ce qui concerne l'étude du générateur, les élèves peuvent ensuite confronter leurs résultats aux valeurs de la résistance du conducteur ohmique et de la f.e.m de la pile qui sont associés en série :

E6-32 : c'est pareil et c'est pour ça que j'ai mis "en utilisant vos connaissances de seconde", j'espère qu'ils vont repenser à $E - rI$

E6-80 : C'est une résistance de 100 ohms ce qui fait que quand on fait, s'ils sont passés à la loi physique et qu'ils se souviennent que c'est la résistance interne de la pile ils doivent retrouver une résistance interne de 100 et quelques ohms, normalement ils doivent se souvenir qu'une pile c'est quelques ohms, c'est pour ça que j'ai mis "vous attendez-vous aux valeurs obtenues ?"

Au niveau des démarches mises en œuvre pour les trois dipôles, elles ont en commun d'établir au préalable une relation mathématique "expérimentale". Pour deux dipôles (moteur, électrolyseur) cette étape initiale est la seule mise en œuvre : l'enseignant amène ses élèves à construire un référent, alors que pour la pile la démarche a une deuxième phase de "confrontation" des résultats aux valeurs des paramètres du modèle théorique (f.e.m et résistance interne).



1.3. Bilan

Ce qui apparaît à l'analyse des différentes situations c'est la partition du schéma des démarches que nous avons retenu entre l'activité mise en "travaux pratiques" et ce qui reste la part de l'enseignant. Dans le schéma ci-dessous, nous avons entouré ce qui est "dévolu" à l'élève, le reste étant ce qui est pris en charge par l'enseignant.

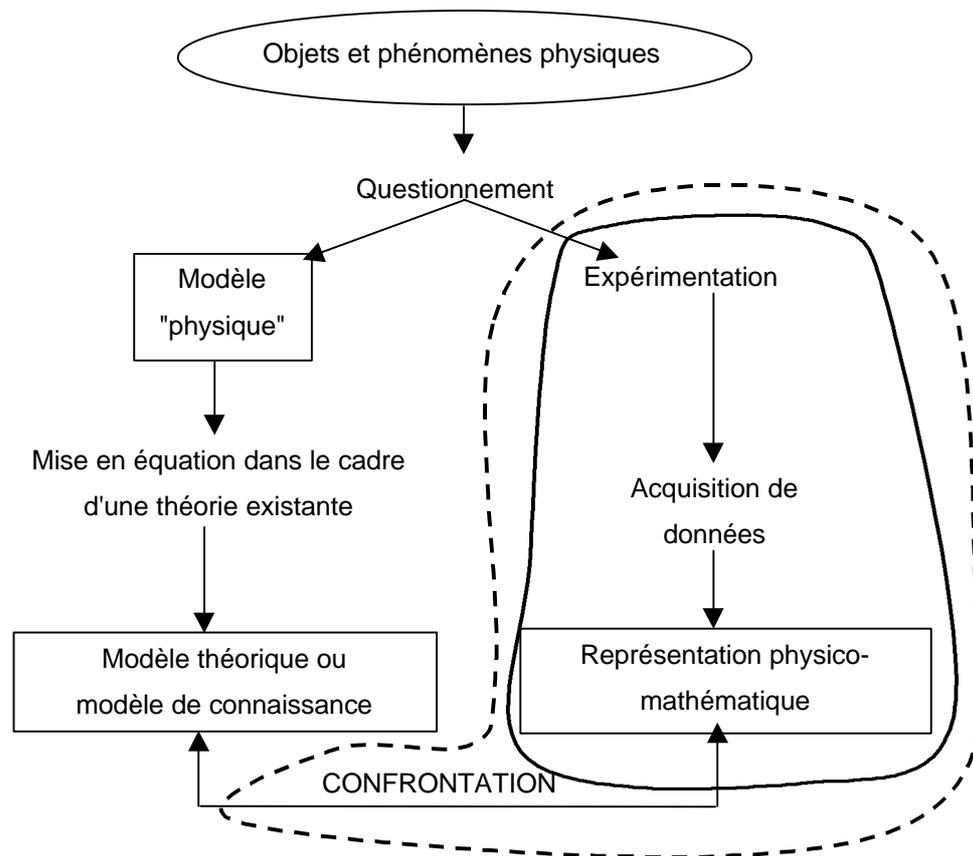


Fig. C-2 : La partition du schéma des démarches

En pointillés figure le cas où la confrontation fait partie de la séance de travaux pratiques, en trait plein, le cas où l'objectif de l'enseignant est d'aboutir à une description "empirique" pouvant servir de référent pour la présentation ultérieure des connaissances théoriques. Là encore, le savoir apparaît extérieur à l'activité de l'élève. La relation que celui-ci doit, ou devrait, établir avec le savoir peut être explicite (quand la confrontation est précisée et la référence théorique explicitée), mais elle peut aussi parfois être implicite. Dans notre étude préparatoire, nous avons en effet pu observer des activités centrées sur l'obtention de résultats de mesures, mais où l'enseignant escomptait une mise en relation "spontanée" avec les connaissances (implicites, sous-jacentes). Comme nos observations l'ont montré ceci n'a évidemment pas fonctionné, conformément aux observations de K. Bécu-Robinault (1997).

Dans cinq séances sur les six les élèves ont eu à confronter leurs résultats expérimentaux à un modèle théorique ou une valeur de référence, et nous avons trouvé des situations dans lesquelles les élèves déterminent à partir de leurs mesures une "relation expérimentale" qui sert de référent lors de l'enseignement ultérieur du modèle théorique. Une telle démarche est recensée dans la "carte d'analyse" des séances de TP élaborée dans le cadre du projet européen "Labwork in Science Education" (Tiberghien et al., 1998 et Millar et al. 1998) dans "ce que doivent faire les étudiants avec les idées" par l'item "rendre compte d'observation en proposant un modèle ou une loi" (voir extrait en annexe 28) ; cette démarche peut inscrire également dans les enjeux d'apprentissage pour les travaux pratiques que définit C. Larcher « Manipuler, explorer, c'est construire une relation au référent (empirique) que ne remplace aucune expérience de cours, aucune séance d'exercices, aucune simulation sur ordinateur. » (1999, p.8).

Un retour sur les six séances de travaux pratiques montre que dans quatre séances les élèves doivent réaliser, au moins une fois, la démarche mesures - graphe des points expérimentaux - observation du graphe - proposition d'une relation expérimentale.

C'est alors la question de la pertinence sur le plan scientifique des activités qui se pose et qui fera l'objet du chapitre suivant.

C.2. ANALYSE CRITIQUE A PRIORI DES METHODES EXPERIMENTALES MISES EN ŒUVRE

Nous avons caractérisé, dans le chapitre précédent, les démarches élaborées par les enseignants ; nous avons ainsi observé que la "confrontation" fait partie de la plupart des situations expérimentales élaborées. Mais cela dit, plusieurs questions s'imposent. L'idée d'une démarche et le choix des expériences, des matériels et des guidages sont-ils pertinents sur le plan scientifique ? L'expérience, la conduite de l'activité, permettent-elles *a priori* de mener à bien et de façon scientifiquement satisfaisante la démarche ? La confrontation, c'est-à-dire une comparaison instructive et discutable entre théorie et résultats expérimentaux, a-t-elle bien lieu ? Nous allons apporter des éléments de réponse à ces questions.

Pour cela, nous ne reprendrons pas l'intégralité des démarches mises en œuvre sur tous les travaux pratiques, mais étudierons plus particulièrement un cas (ou deux) pour chaque type de situations caractéristiques rencontrées :

- Confrontation valeur calculée - valeur tabulée avec "mesures calorimétriques" (enseignant P2)
- Confrontation d'une relation expérimentale et d'un modèle théorique avec l'étude de "l'électrolyseur à anode de cuivre" (enseignant P2)
- Confrontation d'un modèle théorique avec les mesures dans "calorimétrie" (enseignant P4)
- Élaboration d'un référent - relation mathématique avec :
 - l'électrolyseur (enseignant P4)
 - "l'étude de la chute libre" pour $x(t)$ (enseignant P2).

2.1. Confrontation valeur calculée - valeur tabulée

"mesures calorimétriques" (enseignant P2)

Les élèves doivent déterminer la valeur de la chaleur latente de fusion de la glace et la comparer à la valeur tabulée. Pour réaliser l'expérience en suivant les consignes de la fiche (annexe 3), ils doivent :

- déterminer la masse de l'eau contenue dans le calorimètre,
- déterminer la masse de glace qu'ils ajoutent dans l'eau,
- relever la température de l'eau avant l'ajout du glaçon et après lorsque l'équilibre thermique est atteint dans le calorimètre.

Quelles sont les conditions de l'étude expérimentale ?

Chaque groupe d'élèves dispose d'un calorimètre standard de TP dont la capacité thermique massique a été évaluée lors d'un TP précédent à $K = 300 \text{ J.kg}^{-1}$, de deux thermomètres à mercure (-10°C , 110°C et -5°C , 35°C) le premier au degré et le second au 1/5 de degré, d'une éprouvette graduée de 250 mL et d'un verre à pied gradué.

Les expériences quantitatives

Une balance électronique au décigramme, des glaçons en cours de fusion, de l'eau à la température ambiante et du papier absorbant sont à la disposition de l'ensemble des élèves.

La glace utilisée est à l'équilibre thermique dans de l'eau : elle a été sortie du congélateur et mise dans l'eau avant la séance.

Relever les températures

Les températures de l'eau, des glaçons et de l'ensemble à l'équilibre thermique sont comprises dans l'intervalle 0 et 35°C : le thermomètre au 1/5°C est adapté aux relevés à faire.

Mesurer les masses

Mesurer les masses avec le maximum de précision est pris en compte par l'enseignante puisque les élèves disposent d'une balance au décigramme, qu'elle avertit les élèves de précautions à prendre : "sécher les glaçons" juste avant de les introduire dans le calorimètre.

Limiter les échanges avec l'extérieur par chaleur pendant les manipulations

Le "calorimètre" utilisé est le modèle scolaire d'une enceinte adiabatique : il a bien plusieurs récipients emboîtés, les contacts se font bien par l'intermédiaire d'un isolant thermique, il possède bien un couvercle isolant, mais ce "calorimètre" limite insuffisamment les échanges thermiques avec l'extérieur. Il est donc nécessaire de travailler à des températures proches de la température ambiante, tout en ayant des variations suffisantes pour que leur mesure avec un thermomètre au 1/5°C ait un sens.

Toutes les précautions ont été prises en ce sens par l'enseignante : eau à température ambiante, nombre de glaçons à choisir, indications sur la fiche

<i>prendre deux morceaux de glace [...] ; les sécher, introduire rapidement les glaçons [...]</i>

Nous relevons que *a priori* toutes les conditions expérimentales ont été réunies pour qu'en utilisant le matériel disponible les mesures puissent être réalisées avec le maximum de précision, en limitant notamment les erreurs systématiques liées aux échanges énergétiques avec l'extérieur du système.

La démarche pour la confrontation valeur calculée - valeur tabulée

Dans le cadre d'une activité de mesurage dans le but d'obtenir un résultat scientifique, il y a nécessaire réflexivité entre le protocole expérimental et la mesure à déterminer, c'est-à-dire que la réflexion sur les conditions expérimentales (telle celle qu'a menée l'enseignante) précède, accompagne l'élaboration et la mise en œuvre du protocole. Dans le cas présent, les élèves sont amenés à faire l'analyse critique de leur manipulation, de leur résultat *a posteriori*, et non invités à prévenir d'éventuelles difficultés, ils ne reprennent pas non plus leurs mesures par la suite pour en tenir compte.

La confrontation valeur calculée - valeur tabulée repose sur l'écart relatif entre ces deux valeurs. L'absence d'évaluation de l'incertitude sur la valeur mesurée élimine de fait toute discussion argumentée sur le protocole.

Toutefois, rappelons que la situation étudiée est particulière puisque les élèves sont évalués. Cette évaluation ne porte pas sur la méthode employée par les élèves pour déterminer la valeur de la

chaleur latente de fusion de la glace mais sur l'obtention d'une valeur à partir de l'expérience, et la rédaction d'une analyse critique s'appuyant sur l'écart avec la valeur tabulée.

2.2. Confrontation d'une relation expérimentale et d'un modèle théorique Étude de l'électrolyseur à anode de cuivre (enseignant P2)

Quelles sont les conditions de l'étude expérimentale ?

Les élèves disposent d'un électrolyseur constitué d'un bécher contenant la solution de sulfate de cuivre et de deux électrodes (la cathode en carbone et l'anode en cuivre) posées dans ce récipient. Les contacts avec le circuit électrique sont réalisés au moyen de "pinces crocodiles".

La première difficulté recensée par l'enseignante est liée à cette fixation précaire qui ne garantit pas que la distance entre les deux électrodes restera constante : la résistance interne de ce récepteur peut varier (avec le déplacement des électrodes) ; à cette difficulté s'ajoute celle due au dépôt métallique sur l'électrode.

E5-192 : et ils vont s'apercevoir qu'en fait que effectivement si les électrodes bougent // hein, qu'est-ce que j'avais vu aussi, quand les électrodes sont trop recouvertes entre autres dans le deuxième cas, quand le carbone est trop recouvert de cuivre le / les valeurs sont pas stables / avec ton rhéostat tu as mis telle valeur de I et puis U il chute

E5-198 : [...] et donc on va voir effectivement, [...] que s'ils font pas attention si les pinces crocos sont mal mises et que tout ça c'est branlant, c'est un peu, c'est spectaculaire, les résultats c'est n'importe quoi

E5-200 : [...] donc je pense que, quand même, d'entrée de jeu je vais leur signaler que les électrodes doivent être bien stables, bien fixées et en leur demandant pourquoi, on va voir s'il y a une réflexion [...],

La démarche pour la confrontation relation expérimentale - modèle théorique

Pour cette électrolyse, les élèves doivent réaliser une série de mesures, tracer la caractéristique intensité - tension, et établir son équation.

E5-144 : elle est particulière, ben hein, si ça marche pas trop mal, tu vois, je pense qu'ils vont quand même dire qu'elle passe à peu près par l'origine, donc je pense qu'ils vont quand même dire $U = aI$ tu vois, [...]

Ils doivent ensuite faire la relation entre les coefficients calculés et les grandeurs caractéristiques f.c.e.m. et résistance interne du dipôle. À travers la question « comme quel conducteur cet électrolyseur se comporte-t-il ? » l'enseignante attend que les élèves reconnaissent la caractéristique d'un conducteur ohmique et "améliorent" leur résultat de la f.c.e.m. E' en reconnaissant $E' = 0$.

E5-154 : [...] moi j'attends conducteur ohmique bien sûr / puisque ce qu'ils peuvent dire c'est en approximation à ce moment là ils peuvent peut-être se récupérer, une approximation à ce niveau là, ça peut les aider si tu veux

Ils doivent enfin, en étudiant le bilan des réactions chimiques aux électrodes justifier le résultat $E' = 0$.

E5-162 : Voilà, soit en déduire soit améliorer son résultat, c'est à dire que comme on a vu dans le cours, [...] que l'énergie chimique récupérée était liée à la valeur de E' , ça on l'a fait ça, qu'ils / fassent l'association qu'ils trouvent que E' en fait là il est nul [...]

A priori, les élèves étudient une électrolyse "standard" et il n'y a, sans référence théorique préalable, aucune raison objective pour qu'ils tracent une droite caractéristique passant par l'origine.

Dans la démarche mise en œuvre, la relation expérimentale doit être en conformité avec le modèle théorique ; ne pas prendre en compte les incertitudes sur les mesures interdit ici toute discussion sur le protocole expérimental, sur l'adéquation du modèle choisi.

2.3. Confrontation d'un modèle théorique avec les mesures

"calorimétrie" (enseignant P4)

Quelles sont les conditions de l'étude expérimentale ?

Avec une sonde thermométrique les élèves réalisent l'enregistrement automatique de l'évolution de la température du pentane pendant l'ébullition et obtiennent le graphe des points expérimentaux $\theta(t)$.

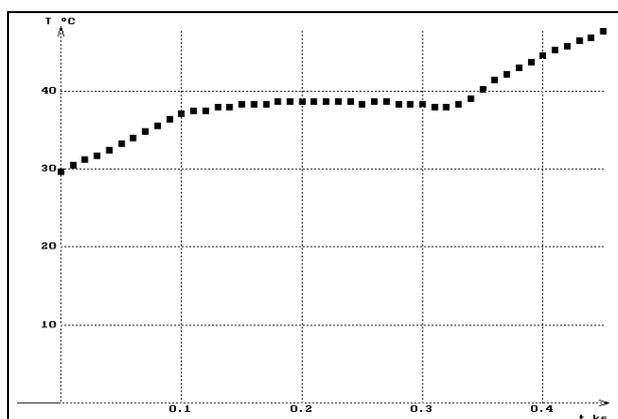


Figure C-3 : Exemple de graphe $\theta(t)$ obtenu par les élèves

La température du pentane est mesurée automatiquement avec une sonde de température reliée à l'interface d'un ordinateur.

Le graphe des points expérimentaux se construit progressivement sur l'écran.

Pour chauffer le pentane contenu dans un tube à essais, les élèves utilisent comme source d'énergie une plaque électrique thermostatique (pour des problèmes de sécurité) avec laquelle ils chauffent le bain-marie dans lequel est plongé le tube de pentane.

Plusieurs problèmes se sont révélés :

- la plaque électrique thermostatique n'assure pas le maintien de l'ébullition, ce qui entraîne des variations de température du pentane et de ce fait les courbes $\theta(t)$ présentent des fluctuations notables (connues de l'enseignante)

E4-80 : franchement / et puis après, c'est pas franchement plat / mais, bon, de toutes façons il y a plusieurs problèmes qui se posent, il y a le problème que c'est une plaque thermostatique / des moments elle s'arrête et bon ça fait des petites fluctuations, il y a ça // il y a le problème, bon ben de la // la sonde elle-même bon ben on peut pas mesurer, enfin les écarts bon ben 19 mV là enfin bon, c'est pas parfait hein, c'est pas quelque chose de très régulier, donc.

- la valeur évaluée à partir des points expérimentaux est en général supérieure à la valeur annoncée de la température d'ébullition (étalonnage du capteur ? position dans le tube ?) : cette difficulté est connue de l'enseignante :

E4-8 : qu'ils voient vraiment que la température ne change pas, ce qui est pas tout à fait vrai d'ailleurs parce que le pentane, en fait c'est entre 35 et 37, donc ça monte un petit peu

La démarche pour la confrontation modèle théorique - mesures

Dans une première étape les élèves doivent choisir le phénomène (changement d'état d'un corps pur) qui leur permettra de construire une argumentation à "plus on chauffe, plus c'est chaud n'est pas toujours vrai", proposer le principe de l'expérience à réaliser et prévoir le résultat (température constante pendant le changement d'état).

Ils doivent ensuite "choisir", entre pentane et eau, le composé qui sera adapté au matériel informatisé mis à leur disposition, monter l'expérience, initialiser l'acquisition automatique et enfin interpréter le graphe des points expérimentaux obtenus.

L'existence d'un "palier" de température suffit à la confrontation théorie expérience :

E4-56 : la température bouge pas, c'est ça, c'est tout ça, ça va pas plus loin

Déterminer sur la courbe la phase de vaporisation, interpréter les éventuelles fluctuations, comparer le résultat pour la valeur mesurée de la température d'ébullition avec la valeur indiquée sur la fiche sont ici dans le domaine qualitatif.

2.4. Élaboration d'un référent pour l'enseignement

Parmi les séances que nous avons étudiées, nous avons observé la démarche d'élaboration d'un référent pour l'enseignement ultérieur à plusieurs reprises et notamment pour l'élaboration de la description mathématique du comportement de l'électrolyseur (annexe 6, enseignant P4) et pour l'élaboration des lois horaires pour la chute (annexe 1, enseignant P2).

Ces deux parties de séances comportent des ressemblances :

- a) *Le phénomène physique est introduit par l'enseignant (Caractéristique d'un électrolyseur, Chute d'un corps)*
- b) *les élèves réalisent le montage et font l'acquisition des mesures*
- c) *ils représentent le(s) graphe(s) caractéristiques de la situation*
- d) *ils répondent à une question sur l'allure du graphe (pouvez-vous trouver un modèle qui s'applique à l'ensemble de la courbe ? Peut-on exploiter un tel graphe facilement ? Ou caractériser le graphe obtenu)*
- e) *Quand le graphe est une droite alors l'enseignant demande de proposer une modélisation et de donner l'expression de la relation (v(t) par exemple).*
- f) *quand le graphe n'est pas une droite : Pour décrire l'ensemble des points expérimentaux x(t), la fonction mathématique est proposée par l'enseignant (qui lui connaît le modèle attendu).*

Dans tous les cas, les élèves obtiennent donc une description mathématique du phénomène qui devient réfèrent pour le cours suivant.

Il n'est pas question, bien évidemment, d'ériger en règle les similitudes que nous venons de repérer sur deux exemples traités par deux enseignants différents dans deux situations différentes ; mais les coïncidences des démarches sont frappantes.

Des différences apparaissent cependant entre les deux séances.

L'enseignante P4 s'appuiera sur la description mathématique pour introduire la loi d'Ohm et définir les paramètres du dipôle r' et E',

E6-154 : ; pour l'électrolyseur, je leur signalerai que, que les valeurs varient d'un électrolyseur à l'autre parce qu'elle dépend de la géométrie des électrodes etc. donc a priori deux électrolyseurs ne sont pas parfaitement identiques, bon, on essaiera de relever, de citer quelques valeurs, voir si elles s'éloignent pas trop les unes des autres, bon a priori

L'enseignante P2, mettra l'accent sur la valeur du paramètre k obtenue pour $v = k \cdot t$ sur laquelle elle s'appuiera pour introduire $v = g \cdot t$ (g accélération de la pesanteur). Dans ce cas, les conditions expérimentales sont particulièrement sensibles

E1-174 : [...] exprimer la vitesse v du corps en fonction de t / donc normalement ils doivent reprendre et donc exploiter leur graphe / et donc mes mesures à moi j'ai trouvé / la pente c'est à peu près 9,4 / bon donc j'aimerais qu'ils reconnaissent g [...]

Quelles sont les conditions de l'étude expérimentale pour l'étude de l'électrolyseur ?

Les électrolyseurs, que l'enseignante a sélectionnés, sont des appareils "standard" pour l'enseignement :

E6-58 : Alors là par contre, l'électrolyseur, j'ai eu beaucoup de problèmes moi-même en essayant, je me suis aperçue qu'on avait, deux types d'électrolyseurs, des électrolyseurs avec soit disant des électrodes au nickel qui ne sont pas du tout au nickel, en fait qui posent plein de problèmes parce que la fameuse électrolyse de l'eau, ben il y avait dégagement que d'un côté, j'avais une courbe horrible, j'avais une courbe en trois parties en fait, donc j'ai mis de côté les électrolyseurs qui vont pas [...]

Quelles sont les conditions de l'étude expérimentale pour la chute "libre" ?

A priori, la forme (parallélépipédique) et la densité de l'objet dont on étudie le mouvement de chute, sont telles que l'ensemble des interactions avec l'air ne soit pas faible devant son poids. Qu'en est-il lorsqu'on étudie les enregistrements ?

Si nous reprenons les fichiers obtenus par les élèves nous relevons en superposant les points expérimentaux avec le graphe du modèle théorique $x = b \cdot t^2 + c \cdot t$ des résultats analogues à celui-ci :

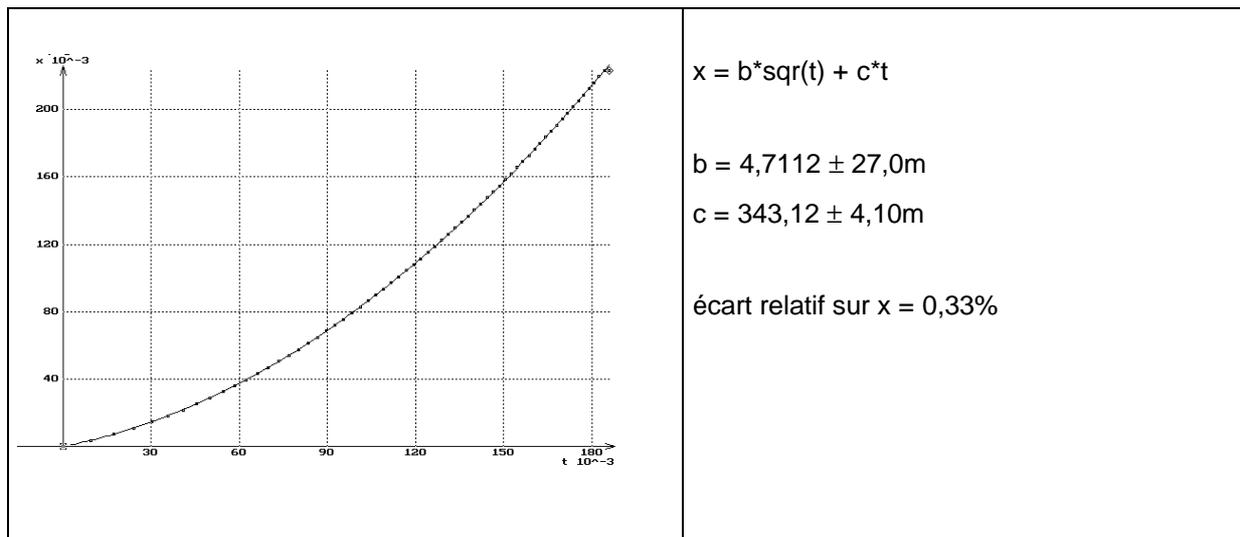


Figure C-4 : superposition des points expérimentaux et du modèle pour x(t)

Soit en tenant compte de l'incertitude affichée sur le coefficient b :

$$b = 4,71 \pm 0,03$$

La valeur $g/2 = 4,9 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ n'appartient pas à l'intervalle de confiance à 95% calculé pour b.

Les interactions avec l'air ont alors un effet mesurable avec l'appareil utilisé puisque l'incertitude sur les mesures de position et de temps sont très faibles : le fabricant indique que "la précision est de l'ordre de quelques microsecondes pour les dates et de quelques dixièmes de millimètres pour les positions".

L'enseignante connaît cette difficulté puisque :

"E1-208 : 4%, ils savent, [...] que quand on est en dessous de 5% dans un TP de physique c'est déjà bien [...] et puis / mon idée quand même, ça c'est dans mon cours parce que, à la fin de / de mon cours sur la chute libre je parle un peu de la chute réelle, donc mon idée c'était de réinvestir un peu tout ça par rapport à notre système de mesures, la manière dont on a conduit nos mesures, notre système expérimental, la manière dont v est acquis, c'est quand même une vitesse moyenne, / sur chaque petit intervalle etc., essayer de leur faire sortir quelques idées, sans formaliser, quelques idées, quelques sources d'erreurs quelques etc. et ce qu'ils pensaient du modèle par rapport à ce qui se passe vraiment/ ça c'était mon idée, [...]"

Notons parallèlement que l'étude ne concerne ici qu'une hauteur de 30 cm environ et donc un domaine très limité.

Pour ces deux exemples de construction de référent pour l'enseignement, dans un cas, c'est la forme de la caractéristique qui sera exploitée ultérieurement par les élèves, les valeurs numériques des paramètres ne sont ici qu'une indication ; le matériel utilisé doit permettre d'obtenir une caractéristique rectiligne sur un domaine comme l'indique l'enseignante ; dans l'autre cas, ce sont à la fois la forme linéaire de $v(t)$ et la valeur du coefficient directeur qui seront exploités ultérieurement. Nous avons relevé que, pour le montage étudié, les interactions du mobile avec l'air ne sont pas négligeables devant son poids. Ne pas prendre en compte clairement l'incertitude calculée par le logiciel, empêche toute discussion argumentée sur l'écart entre la chute réelle du mobile et le modèle de la chute "libre" et donc sur le statut du modèle. Ce dernier cas fait ressortir que, dans ces exemples de situation de TP visant à construire un référent pour l'enseignement, il n'y a pas de discussion sur le statut et sur la pertinence du modèle.

2.5. En conclusion

Les démarches que nous avons observées comportent pour la plupart une "confrontation" entre des résultats expérimentaux et un modèle théorique ; nous avons relevé que :

- la confrontation doit conduire à la validation d'une adéquation théorie - expérience prévue,
- les critères de décision sont qualitatifs : "on voit que...", "les points sont sensiblement alignés", "l'écart relatif est inférieur à 5% "....
- cette confrontation ne repose pas sur une discussion argumentée menée avec les élèves : les choix expérimentaux, la prise en compte des conditions expérimentales etc., sont faits par l'enseignant et les incertitudes sur les mesures, sur les valeurs des paramètres obtenus pourtant "un des outils privilégiés pour cette confrontation" (Guillon, 1995, p.117) ne sont ni prises en compte ni même évoquées.

Le terme de "confrontation" qui est pertinent dans la démarche scientifique de référence, apparaît alors trop fort. Il ne traduit pas la réalité de la démarche en œuvre dans le TP. Obtenir une courbe

avec un palier, une droite qui passe par l'origine, une valeur ayant le bon ordre de grandeur suffit pour valider l'accord modèle - résultats expérimentaux.

Il apparaît donc de nouvelles limites au schéma des démarches que nous avons proposé : la confrontation se réduit à une "comparaison à vue" entre résultats expérimentaux et théoriques.

Nous étudierons plus loin, les séances de travaux pratiques au cours desquelles les élèves ne mettent pas en œuvre une "confrontation" : l'objectif de ces séances est l'obtention par les élèves d'une courbe, d'une relation ou d'une valeur numérique, sur laquelle l'enseignant s'appuiera ultérieurement pour introduire la théorie.

La question de l'adaptation matériel - démarche est également sensible ; en effet nous avons vu que, pratiquement dans tous les cas, le matériel mis à la disposition des élèves est source potentielle de difficultés : distance des électrodes variables, calorimètres qui ne limitent pas suffisamment les échanges thermiques, chute "libre" avec frottement, température du pentane inhomogène dans le tube, etc. Les enseignants connaissent ces difficultés, connaissent leur influence sur la démarche, les résultats qu'obtiendront les élèves, ils pensent à remédier à ces difficultés (avertir les élèves, sélectionner dans le matériel disponible etc.).

Nous retrouvons ici un des résultats de l'étude des liens "raisons / planification" : les enseignants élaborent leur démarche expérimentale avec le matériel disponible dans le lycée et pallient, dans la planification des activités, aux faiblesses de celui-ci (choisir d'étudier la caractéristique d'un électrolyseur, de retrouver la loi d'Ohm alors que la distance entre les électrodes n'est pas constante etc.) Ainsi, dans les exemples que nous avons observés, le choix de la méthode expérimentale est premier, l'enseignant adapte ensuite au mieux le matériel disponible (avec ses qualités et malgré ses défauts), alors qu'il aurait pu d'abord tenir compte du matériel pour ensuite choisir une démarche en cohérence. Le choix de la démarche expérimentale apparaît alors particulièrement fort pour l'enseignant.

Nous consacrerons le chapitre C4 aux activités demandées aux élèves et à l'importance qu'y tiennent les manipulations et les mesures.

Cette analyse critique fait ressortir que les enseignants, lorsqu'ils élaborent la séance de travaux pratiques, développent une démarche souvent sophistiquée (choix des matériels, conditions expérimentales, méthode expérimentale etc.) à laquelle les élèves, eux, n'ont pas accès. Le professeur transmet le problème ou la question, le matériel à utiliser, les mesures à réaliser, la méthode à suivre mais n'explique pas, ne justifie pas ses choix aux élèves. L'élève ne participe pas à la construction de la démarche et il n'a pas non plus les moyens de l'appréhender : l'enseignant ne la dévoile pas, ne la soumet pas aux questions.

C3. DES MESURES AUX MODELES : QUELLE ARTICULATION DANS LA CLASSE ?

Dans les précédentes parties, nous avons analysé les démarches d'un point de vue que l'on pourrait qualifier d'extérieur : partant de démarches scientifiques prises en référence, nous avons situé la place des activités de travaux pratiques puis, en regard de la question centrale de la confrontation modèle/mesures, nous avons montré l'impossibilité de mener à bien les démarches de façon scientifiquement valide en l'absence d'hypothèses ; à cela s'ajoute l'absence de considérations sur les incertitudes expérimentales pourtant indispensables à la confrontation.

Nous voulons nous replacer maintenant du côté de l'enseignant qui a planifié un certain nombre de tâches et d'étapes d'une "démarche", pour tenter de voir quels sont les objectifs, ou du moins les attentes, de l'enseignant lorsqu'il propose des activités centrées sur la manipulation d'objets et instruments, le recueil de valeurs "expérimentales" et leur mise en relation avec une théorie ou un modèle.

De ce point de vue, il nous fallait un cadre de référence différent, une autre grille de lecture, qui bien qu'en cohérence avec le schéma précédemment utilisé pour le versant "scientifique", soit cette fois plus adapté(e) au versant "enseignement". Le travail de K. Bécu-Robinault déjà cité, nous a donné le point de départ pour constituer notre schéma et mener l'analyse du point de vue de l'enseignant et de la réalisation par les élèves.

Dans son travail, précisément centré sur l'analyse des différents niveaux, (entre le monde des objets et celui des théories) et leur mise en relation lors d'activités en travaux pratiques, K. Bécu-Robinault distingue :

- ◆ Le niveau de la Théorie : qui contient tous les éléments relevant d'un point de vue ou d'un système explicatif.
- ◆ Le niveau du Modèle physique : caractérisé par l'utilisation de grandeurs physiques (représentation symbolique et unités) et de leurs relations.
- ◆ Le niveau du Modèle numérique : caractérisé par l'utilisation d'éléments numériques : nombres (sans dimension), calculs arithmétiques et mathématiques.
- ◆ Le niveau des Mesures : appartenant au monde des choses, il est celui du recueil des informations quantitatives concernant les objets et événements par la mise en œuvre d'un instrument.
- ◆ Le niveau des Objets et événements : relatif à tous les éléments matériels (y compris les instruments lorsqu'ils sont choisis, branchés, etc.) avec lesquels les élèves interagissent.

Précisons que le terme de modèle employé ici, signifie "modèle de la situation en question dans le TP". Ce modèle est construit à partir de la théorie (de la physique ou de l'élève). Il n'est pas le modèle standard du "physicien" qui n'est pas spécifié pour une situation donnée.

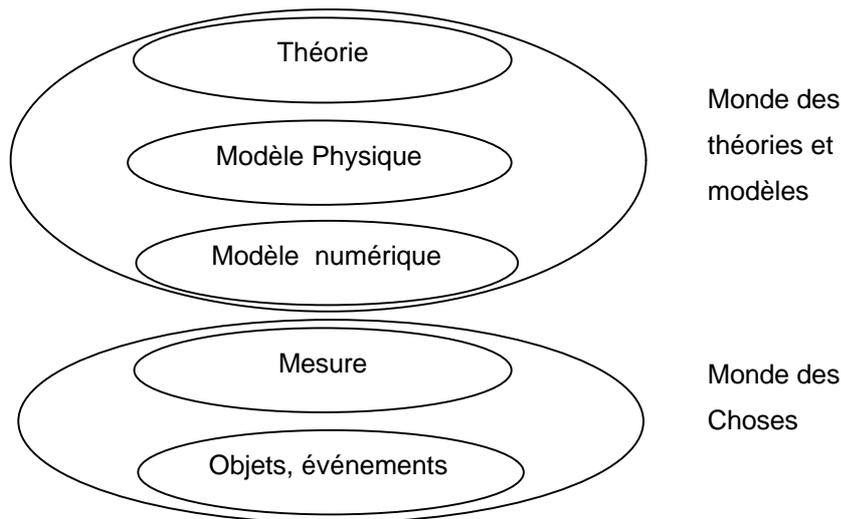


Figure C-5 : schéma des niveaux de K. Robinault (page 78)

L'un des éléments intéressants de ce schéma (dont la pertinence a été confirmée par les analyses faites par K. Bécu-Robinault sur plusieurs travaux pratiques) est l'apparition d'un niveau spécifiquement didactique : le niveau appelé "modèle numérique".

Très clairement, et nous l'avons constaté également (d'où notre choix présent), les élèves restent parfois (pour ne pas dire souvent) à ce niveau intermédiaire, hybride, où les valeurs numériques sont issues des mesures (et donc des expériences et instruments) mais sans référence explicite aux grandeurs qu'elles sont censées représenter : la manipulation reste alors celle de nombres sans dimension, sans étiquette. Le passage de ce niveau numérique à celui d'une représentation plus "physique" (le niveau appelé "modèle physique" ci-dessus) est effectivement une difficulté bien connue des enseignants : une partie du travail, dit parfois de modélisation par les enseignants, se situe dans cette transition. Les différents travaux mentionnés en introduction générale sur l'utilisation de l'ordinateur outil de laboratoire ont également mis l'accent sur ce point : certains logiciels (Chute et Plan, INRP-Jeulin, par exemple) proposent des fonctions de modélisation purement mathématiques ($y = ax^2 + bx + c$) laissant explicitement la tâche de "reconnaissance-reconnexion" avec les grandeurs physiques à la charge de l'élève ; ce choix a d'ailleurs été sources de difficultés également pour les enseignants non habitués à insister sur ce passage délicat.

Pour autant, le schéma ci-dessus ne peut être utilisé avec des formulations incompatibles avec celles du schéma d'A. Guillon, avec lequel pourtant, une forte cohérence est attendue. Nous allons ci-dessous, montrer cette cohérence et reformuler quelques libellés avant de les appliquer à l'analyse des activités quantitatives.

Tout d'abord, reprenant la remarque faite à propos du terme de modèle utilisé dans la branche "expérimentale" du schéma d'A. Guillon, nous n'utiliserons pas ce terme dans les expressions relatives au niveau "numérique" et "physique" ci-dessus pour différencier le modèle standard du physicien du modèle spécifique d'une situation donnée qui peut d'ailleurs être issu de ce modèle standard, c'est pourquoi nous les appellerons "représentation" plutôt que modèle. Le niveau hybride

"numérique" nous semble donc pouvoir être considéré comme une différenciation des aspects "physique" et "mathématique". Partant du schéma d'A. Guillon, nous distinguons ainsi, lors du passage à un point de vue sur les démarches en jeu dans l'enseignement, les deux niveaux définis par K. Bécu-Robinault, mais que nous appellerons : "transcription et traitement numérique" et "représentation physique".

Remarque : Le choix terminologique est évidemment délicat, les mots étant porteurs de sens plus ou moins fort suivant les personnes. Par notre choix nous avons voulu indiquer la hiérarchisation : la transcription signifiant la traduction par une relation mathématique alors que le terme de "représentation" contient pour nous le modèle ou une partie du modèle instancié pour le cas de la situation donnée.

Sur le plan plus global, la cohérence entre les deux schémas d'A. Guillon et de K. Bécu-Robinault, apparaît au vu de notre synthèse du chapitre précédent. Dans le schéma d'A. Guillon, la délimitation du domaine dévolu à l'élève en travaux pratiques (expérimentation, acquisition de données, représentation physico-mathématique) fait apparaître l'ensemble extérieur restant (modèle théorique, modèle "physique" questionnement) comme un seul "univers" celui de la théorie du schéma de K. Bécu-Robinault. La limite du côté de la "confrontation" est bien le détroit entre la représentation "physique" précisée ci-dessus et une représentation hypothétique construite *a priori* à partir de la théorie à laquelle l'enseignant espère faire parvenir les élèves.

Par une anamorphose traduisant le passage du scientifique à la pratique en classe, nous pouvons passer du schéma d'A. Guillon, à celui, calqué sur l'étude de K. Bécu-Robinault, que nous adoptons pour la suite :

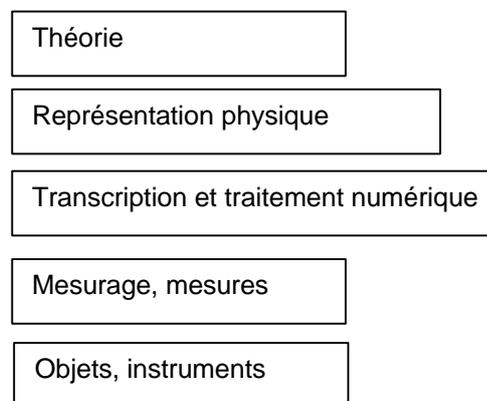


Figure C-6 : Schéma des niveaux entre objets et théorie adopté pour l'analyse.

Remarques :

- 1- On note le rôle d'interface entre le niveau des objets et celui des mesures joué par les instruments.
- 2- Les activités visant la mise en relation du "monde des objets" et celui des "modèles" peuvent également s'analyser avec le schéma de modélisation utilisé dans les travaux de l'INRP sur la modélisation (*Regards sur la modélisation*, INRP, 1992 ; *nouveaux regards sur la modélisation*, INRP, 1994) et avec l'explicitation des dimensions phénoménographiques et phénoménotechniques

soulignées par D. Beaufils (1999, 1, p.103). Mais, hormis une exception, les discours et attentes des enseignants ne renvoient à aucun des éléments de ce schéma. Cet outil fait pour penser l'enchaînement des activités de modélisation est en effet trop "pointu" et loin du fonctionnement des enseignants comme il ressort de l'étude de la planification.

Nous allons dans les parties suivantes présenter l'étude des activités quantitatives que l'enseignant planifie, en regardant successivement les deux questions :

- quels sont les niveaux de modélisation et les mises en relation que l'enseignant planifie ?
- quels sont niveaux de modélisation mis en relation par les élèves dans les activités et les copies qu'ils ont rédigées ?

Nous nous appuyons pour cela sur l'entretien préalable et la fiche de travaux pratiques pour interpréter les activités planifiées qui ont été codées Pi2 (montage et acquisition des mesures), Pi3 (traitement des mesures) et Pi4 (analyse critique de l'expérience et des résultats) en fonction des niveaux de modélisation et pour étudier les relations entre ces niveaux que l'enseignant veut faire construire à ses élèves. Nous nous référons aux comptes rendus de travaux pratiques pour réaliser le même travail au niveau des élèves. Plus précisément, il convient de rappeler qu'une observation avec prise de notes et enregistrement a été effectuée pour toutes les séances. Notre lecture des comptes rendus est donc éclairée par la connaissance des événements et interactions vécues. Toutefois, nous n'avons enregistré que les échanges des élèves avec l'enseignant et la transcription n'a été que partielle (en raison de la difficulté et du temps nécessaire à un tel travail) ; nous ne faisons alors référence qu'aux traces écrites relevées figurant dans le corpus de données.

Remarque : pour ce travail portant sur la construction des connaissances, nous considérerons les cinq séances "traditionnelles", et ne traiterons pas la séance "TP - évaluation" sur la mesure de la chaleur latente de fusion de la glace (enseignant P2).

3.1. La chute libre - Enseignant P2

Rappelons qu'avec ce TP, les élèves abordent l'étude de la chute libre.

Niveaux de modélisation planifiés par l'enseignant

Nous ne reprenons ici, que les activités quantitatives qui sont expliquées, justifiées par l'enseignante. Pour cette fiche, les consignes pour les élèves sont explicites et nous serviront de guide pour l'analyse.

D- Manipulation: Enregistrement d'une chute libre sans vitesse initiale (voir annexe 1)

- vérifier que...[...]
- Valider l'acquisition si elle convient, sinon recommencer

Les consignes font référence à des activités avec les objets et / ou les mesures :

Les expériences quantitatives

E1-94 : bon à moment j'ai mis, le mobile est fixé par une ficelle, [...] et j'ai mis vérifier que sa partie inférieure est bien bien placée dans la / dans la fourchette optique / et ça je compte leur demander pourquoi, [...]

E1-122 : bon, [...] Magnum affiche aussi v donc comme on aura discuté, là j'ai souligné, sans vitesse initiale, ils peuvent déjà vérifier l'ordre de grandeur de v pour leur premier point/ s'ils estiment alors, si c'est quelques milli mètres seconde moins un, c'est OK, on prend/ mais là je les aiderai, c'est pas un TP contrôle [...]

Il en est de même pour la consigne "valider l'acquisition si elle convient" ?

E1-104 : alors, Magnum, c'est un truc assez fermé / qui affiche un tableau de mesures x, d'abord quand tu fais ton acquisition il affiche le nombre de points que tu as enregistré. Moi j'ai fait x essais parce que j'avais deux points, parce que mon échelle était partie de travers/ donc elle était pas dans la cellule, alors deux points de mesure, ça c'est clair hein

E1-106 : un peu juste, donc rien que ça ils vont pouvoir se dire que ça c'est à recommencer./ heu, qu'est-ce qu'il y a d'autre aussi, / une fois que l'acquisition est continuée il nous affiche x(t) une magnifique parabole [...] donc ils peuvent vérifier quand même l'allure de la courbe et voir si elle est bizarre/ c'est très intuitif et ils peuvent me demander

E- Traitement des mesures avec le logiciel Regressi

2- Équation horaire du mouvement

Choisir " Graphe ", puis " Coordonnées " : abscisse : t ordonnée : x

- Tracer x(t) : " F5 " .

a- Question : Peut-on exploiter un tel graphe facilement ?

b- Modélisation de l'équation horaire des oscillations :

- Choisir " Calcul " puis " Modélisation " . Le graphe x(t) précédent apparaît .

Fonction de modélisation , taper : $x = b * \text{sqr}(t)$ (b est une constante) [...]

F- Graphe donnant la vitesse du corps en fonction du temps

Utiliser le relevé de mesures ci-dessous pour tracer le graphe v(t) .

Caractériser le graphe obtenu et donner l'expression v(t).

E1-128 : je leur pose déjà une question, est-ce qu'on peut exploiter facilement un tel graphe (?) alors j'attends quand même qu'ils me disent que c'est de type un peu parabolique [...]

E1-130 : non, j'ai envie qu'ils me disent on sait faire quand c'est une droite, [...] il y aura bien un ou deux fut-fut qui vont me dire ah ben oh si on dirait une parabole, [...]

Dans ces deux paragraphes toutes les activités planifiées pour les élèves par l'enseignante se réfèrent aux mesures et à leur traitement numérique. On a donc deux niveaux de modélisation en relation : le niveau des mesures et celui de la transcription et du traitement numérique. Les relations mathématiques font bien intervenir les grandeurs physiques x , t et v mais celles-ci sont issues d'un tableau de valeurs et les élèves peuvent rester alors au niveau de la transcription et du traitement numérique sans faire intervenir effectivement le niveau de la représentation physique.

G- Exploitation des résultats

1- Quelle est la nature du mouvement de chute libre ?

2- Le corps étudié est-il isolé ?

E1-170 : alors quelle est la nature du mouvement de chute libre, ils sont capables actuellement de dire que c'est un mouvement rectiligne alors j'attends ça et ils sont capables de dire accéléré, bon, c'est tout ce qu'ils sont capables de dire/ en tous cas vitesse pas constante etc. [...] ensuite le corps étudié est-il isolé (?) / hé ben j'attends que non

E1-172 : et / avec juste la question d'avant, pour essayer de faire / faire la relation avec ce qu'on a fait sur le principe d'inertie [...]

Les niveaux concernés sont alors, celui de la représentation physique et celui de la théorie.

G- Exploitation des résultats

3- Exprimer la vitesse v d'un corps en chute libre sans vitesse initiale, en fonction de la date t . Unités .

E1-172 : [...] et puis la suite / bon après exprimer la vitesse v du corps en fonction de t / donc normalement ils doivent reprendre et donc exploiter leur [...] bon donc j'aimerais qu'ils reconnaissent g / je sais pas / j'aimerais qu'ils sentent que, peut-être il y a une relation avec g [...] et là j'ai mis unité pour qu'ils me disent que le coefficient directeur il est en $m.s^{-2}$ /pour que/ on fasse la relation avec le g et qu'on dise ben finalement g pourrait s'exprimer aussi en $m.s^{-2}$ [...]

Comme l'indique l'enseignante, répondre à ces questions fait mettre en relation le niveau de la transcription et du traitement numérique et celui de la représentation physique et non celui de la théorie car "reconnaître g " ne prend pas en compte l'interprétation théorique.

G- Exploitation des résultats

4- Déterminer la relation entre v et la hauteur de chute, toujours pour une chute libre sans vitesse initiale.

Pour répondre à cette question les élèves doivent exprimer l'équation horaire d'un corps en chute libre sans vitesse initiale en s'appuyant sur les résultats qu'ils ont établis :

E1-176 : ils ont dû trouver $x = b.t^2$, d'accord (?)

E1-178 : Voilà qui est de l'ordre de 5 on dira, 5 alors en $m.s^{-2}$ aussi, qu'ils fassent la corrélation avec les unités ce qu'on vient de voir, ah tiens, c'est des $m.s^{-2}$ aussi, bon, qu'ils disent ah ben, $g/2$ [...]

Ensuite c'est une combinaison des deux relations $v(t)$ et $x(t)$ qui leur permet d'obtenir $v(x)$.

Pour répondre à cette question (non posée) les élèves mettent en œuvre le niveau de la représentation physique.

G- Exploitation des résultats

5- Quelle est l'influence de la masse du corps en chute libre ?

Dans l'entretien l'enseignante ne précise pas ses attentes pour cette question. On peut ici simplement inférer que, sans expériences supplémentaires, les expressions $v(t)$ et $x(t)$ pour la chute libre établie ne comportant pas d'indication de la masse m de l'objet, elles sont indépendantes de m . La masse de l'objet étudié n'influe pas sur le mouvement de chute libre. L'élève devra mettre en relation, a priori, le niveau de la représentation physique et celui de la théorie.

Si nous faisons le bilan des différents niveaux de modélisation sollicités et mis en relation pour les questions quantitatives nous obtenons le diagramme suivant :

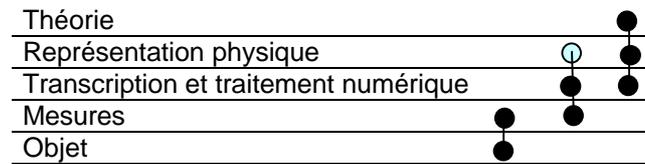


Figure C-7 : Diagramme des niveaux de modélisation prévus par l'enseignant

Les niveaux de modélisation mis en œuvre dans les activités et les productions des élèves

En début de séance, l'enseignante présente, comme prévu, le principe de l'acquisition des mesures avec l'expérience Magnum (Micarelec), explique la méthode pour réaliser la manipulation, et enfin organise la séance de façon que tous les groupes puissent accéder aux postes de mesures et traiter les résultats obtenus.

Nous avons observé que tous les groupes pendant la séance ont réalisé l'expérience pour l'acquisition des mesures, c'est à dire :

- vérifié le fonctionnement du capteur,
- suivi les consignes pour l'initialisation des mesures avec l'ordinateur et le logiciel Magnum,
- attaché avec un fil la réglette,
- brûlé le fil,
- vérifié sur l'écran de l'ordinateur que les points de mesure étaient en nombre suffisant et réparti a priori "régulièrement".

Nous avons également relevé que tous les groupes ont travaillé sur leur fichier de mesures pour obtenir le modèle numérique de $x(t)$ en suivant les consignes de la fiche mais qu'ils n'ont pas utilisé ce fichier pour obtenir le modèle numérique de $v(t)$. Un seul groupe a représenté $v(t)$ à partir du tableau de mesures fourni par l'enseignant.

Qu'en est-il des productions des élèves pour ce qui concerne le traitement et l'exploitation des mesures ?

En nous appuyant sur les réponses données par chaque groupe dans le compte rendu, nous faisons un bilan question après question des niveaux de modélisation mis en œuvre par les élèves.

À la question "Peut-on exploiter un tel graphe facilement ?" seul le groupe 6 a répondu :

"nous pouvons exploiter un tel graphe car le nombre de points est suffisant"

Par contre tous les groupes ont simplement relevé la valeur de la constante b calculée par optimisation du modèle ainsi que la valeur de l'écart relatif affichée, mais aucun n'a donné de signification physique aux grandeurs utilisées : ce sont bien x et t les variables, mais elles sont imposées par le système. Les élèves semblent être restés au niveau de la transcription et du traitement numérique.

Pour ce qui est des observations et productions de la séance, nous pouvons faire un bilan des niveaux de modélisation mis en œuvre par les élèves :

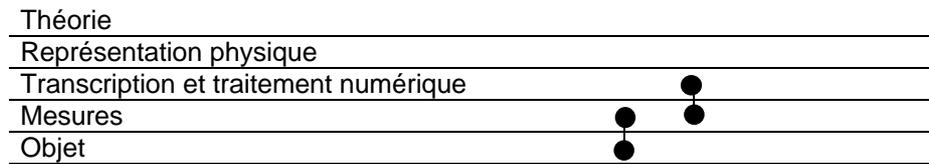


Figure C-8 : Diagramme des niveaux de modélisation mis en œuvre par les élèves en TP

Nous observons que, par rapport aux activités planifiées par l'enseignante et aux activités transmises par la fiche, toute la part concernant l'analyse des résultats n'a pas été abordée. Pour la durée de la séance, on ne retrouve pas d'activités des élèves faisant intervenir des relations entre le niveau des objets et mesures et le niveau des modèles et théorie.

3.2. La chute libre - Enseignant P4

Niveaux de modélisation planifiés par l'enseignant

Pour cette séance, les consignes relatives aux activités expérimentales sont ouvertes, aussi nous ne pouvons que nous appuyer sur l'entretien préalable.

2- ÉTUDE QUALITATIVE

But : vérification d'une conséquence du principe de l'inertie à l'aide de trois dispositifs expérimentaux.

[...] La direction de V_g ne changeant pas, seule la valeur de V_g doit changer.

Utilisez ces trois dispositifs pour atteindre le but recherché. Attention, pour l'un des dispositifs, ce n'est pas direct.

Pour réaliser l'enregistrement avec l'appareil de Lefèbvre, pour mener les études qualitatives sur cet enregistrement et sur la chronophotographie l'enseignante prévoit que les élèves mettront en œuvre les niveaux des objets et événements :

E2-79 : oui, ça l'obus /// je me suis dit, ils vont faire leur enregistrement,[...] et puis moi ça me paraissait intéressant qu'ils / voilà / ils faut qu'ils lisent, / qu'ils voient qu'il y a deux boutons, qu'il faut bien déclencher le jet d'encre enfin l'encre avant l'électro-aimant sinon on n'a rien [...]

E2-89 : oui et puis pour l'obus c'est pareil en fait, les traces sont de plus en plus espacées, alors que l'obus enregistre tous les 2 centièmes de seconde donc temps égaux distances de plus en plus grandes donc là, il y a rien à dire,[...]

En ce qui concerne la chute de la bille , elle attend que les élèves décident des mesures à réaliser pour montrer que la vitesse de la bille varie :

E2-83 : la potence avec les chronomètres en réalité ça leur sert à rien/ parce que, si, l'étude qualitative ils peuvent le faire, mais je leur dis attention l'un des dispositifs n'est pas direct, c'est pas facile en fait à montrer que la vitesse augmente

*E3-85 : alors bon, peut-être, moi je me suis dit / mais ça c'est dans ma tête à moi, ils vont mesurer sur 50 cm, ils vont regarder le temps et puis après ils vont mettre 1 mètre
Et ils vont voir qu'il faut pas plus que c'est pas deux fois plus,...]*

Pour l'ensemble des activités concernant l'étude qualitative, les niveaux de modélisation que l'enseignante prévoit quand elle se place au niveau de l'élève, sont alors celui des objets pour l'acquisition de l'enregistrement avec l'obus, ceux des mesures et de la transcription et du traitement (étape pour accéder au niveau attendu de la représentation physique) pour l'étude des deux enregistrements (obus et chronophotographie) et enfin ces trois niveaux pour l'étude avec "la chute de la bille".

3. MODÉLISATION - (1^o partie)

Après avoir vérifié que la vitesse V_G augmente au cours du temps, on veut affiner cette information en trouvant la relation mathématique existant entre V_G et la durée de la chute t .

Question 3 : Quel dispositif ne vous semble pas adapté au but recherché ?

E2-125 : De voir que c'est pas parce que, que tout matériel n'est pas utile à tout // que en fait pour une expérience donnée il y a / il faut adapter, enfin, comme en chimie / on va pas prendre un ballon quand il faut prendre un bécher, ben en physique c'est pareil, on a moins l'occasion peut-être de voir ça en fait, parce que souvent on leur donne le matériel dont ils ont besoin et pas celui dont ils ont pas besoin

C'est donc la mise en relation du niveau des objets et de la représentation physique que l'enseignante planifie ici.

3. MODÉLISATION - (2^o partie)

Après avoir vérifié que la vitesse V_G augmente au cours du temps, on veut affiner cette information en trouvant la relation mathématique existant entre V_G et la durée de la chute t .

Utilisez un des deux dispositifs restants pour atteindre le but recherché.

E2-137 : et bien j'espère qu'ils vont trouver une relation entre, alors ça va dépendre en fait de ce qu'ils vont utiliser comme, s'ils utilisent la chronophotographie, ils vont trouver $v = gt$, enfin ils vont pas trouver forcément que c'est g , j'attends $v = kt$, kt // par contre s'ils prennent l'obus, ça ne passe pas par zéro [...]

E2-143 : c'est des distances parce que c'était pas lisible donc voilà, donc l'exploitation est très faible en fait, il y a très peu d'initiatives à prendre

E2-149 : donc ô, ils ont juste à calculer le t , même pas à calculer puisqu'ils ont les intervalles [...] oui, oui, c'est très très simple

E2-175 : alors / il y avait quand même, je voulais quand même, j'avais quand même envie de montrer qu'il y avait une relation que ça varie mais que ça varie pas au hasard / qu'il y a quand même des lois, même si ces lois on est pas capable avec les connaissances qu'on a de les justifier, mais que // on peut en trouver, et a priori on peut même peut-être, ça peut être intéressant de le signaler, qu'on peut trouver des lois même si on connaît pas la théorie, parce que là / ils connaissent rien

Pour ce travail quantitatif, les élèves doivent faire intervenir les niveaux des mesures et de la représentation physique.

Si nous faisons un bilan pour l'ensemble des activités nous retrouvons :

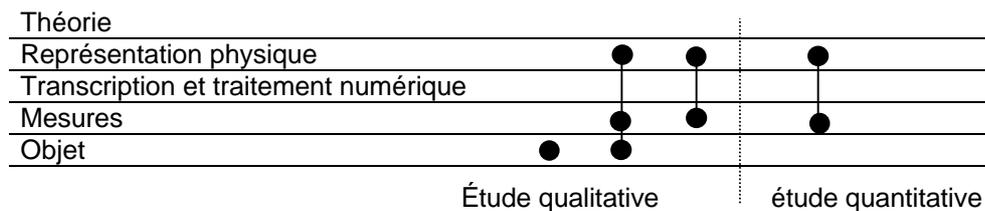


Figure C-9 : Diagramme des niveaux de modélisation prévus par l'enseignant

Nous observons que le niveau de la théorie n'intervient pas dans les activités des élèves et que, par ailleurs, le niveau de la représentation physique intervient essentiellement pour la définition et la méthode de calcul de la vitesse moyenne ou instantanée.

Les niveaux de modélisation mis en œuvre dans les activités et les productions des élèves

Pendant la séance les élèves réalisent une ou plusieurs des expériences prévues pour l'étude qualitative mais ils n'abordent pas pour la plupart l'étude quantitative.

Dans les comptes rendus, pour présenter les expériences, trois binômes réalisent des schémas commentés alors que les autres groupes décrivent les enregistrements ou les mesures et non les instruments. (niveau des mesures)

Dans l'étude qualitative, tous les groupes, sur une ou plusieurs expériences mettent en relation le niveau des mesures et le niveau de la représentation physique comme pour le groupe 3 :

Chronophotographie : on remarque que la distance, chaque fois que le stroboscope éclaire la bille, qu'elle augmente du précédent donc la vitesse augmente

Obus : on remarque que la distance entre chaque trait augmente donc tout au long du trajet la vitesse augmente

Bille (chronomètre) : : on remarque qu'à chaque fois qu'on augmente la distance, la période entre le début et la fin de la chute n'augmente pas de la même façon, elle n'est pas proportionnelle.

"On observe en effet, une augmentation de la vitesse dans ces expériences. Alors on peut dire que dans n'importe quel chute libre, la vitesse augmentera"

Ils travaillent, pour la plupart sur un tableau de mesures (x, t) pour étudier la chute de la bille, parfois sur le graphe x(t). Il concluent de façon analogue au groupe G2 :

*"la bille a parcouru 50 cm en 0.32 s mais a parcouru 100 cm en 0.46s. Comme la bille parcourt en tombant 50 cm en 0.32s alors elle devrait parcourir 100 cm en 0,64 s (tps*2) or elle met 0,46 s. Donc proportionnellement V_g sur 50 cm > V_g sur 100 cm. Donc la bille lors de la chute libre parcourt plus de distance en un plus petit temps"*

Dans cette question les élèves font intervenir à la fois le niveau des objets (essentiellement avec la chute de la bille), le niveau des mesures, celui de la représentation physique.

L'étude quantitative demandée par l'enseignant a été amorcée par sept groupes d'élèves sur les huit. Ils ont tous étudié la vitesse moyenne du mobile (bille ou obus) en fonction du temps : aucun groupe,

dans les commentaires, ne distingue vitesse moyenne et vitesse instantanée (même quand ils l'ont fait dans les échanges avec l'enseignante pendant la séance), aucun n'explique la méthode de calcul de la vitesse. Six groupes sur sept tracent le graphe $v(t)$ et une droite passant entre les points, sans établir l'équation de la droite, sans donner de commentaires ni écrire de conclusion. Sur les productions le niveau de modélisation mis en œuvre par les élèves est essentiellement celui des mesures et on peut se poser la question pour ce qui est de la transcription et du traitement numérique (les élèves ont simplement tracé une droite). Le niveau de la représentation physique ne reste toujours sollicité que pour déterminer la vitesse moyenne.

Un bilan des niveaux de modélisation mis en jeu par les élèves fait apparaître une grande similitude avec les prévisions de l'enseignante : on retrouve un schéma analogue.

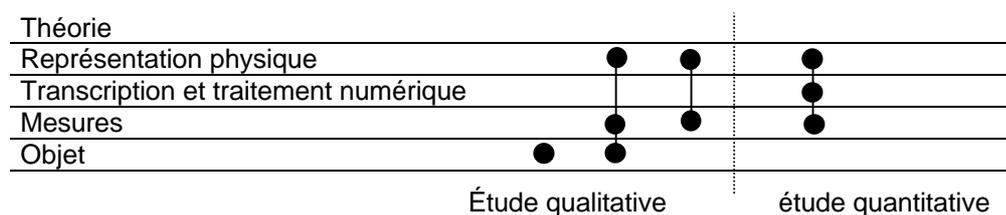


Figure C-10 : Diagramme des niveaux de modélisation mis en œuvre par les élèves

3.3. Calorimétrie - Enseignant P4

Niveaux de modélisation planifiés par l'enseignant

Les consignes de la fiche distribuée aux élèves sont très ouvertes comme nous l'avons déjà précisé aussi nous appuyons-nous essentiellement sur l'entretien préalable pour structurer l'analyse en niveaux de modélisation des activités des élèves planifiées.

L'enseignante prévoit dans un premier temps que les élèves lieront le niveau de la représentation physique (la courbe d'évolution de la température au cours du temps) à celui de la théorie (changement d'état, échanges énergétiques) :

E4-8 : [...] la deuxième chose c'était faire comprendre le changement d'état à température constante, [...] , c'était pour qu'ils le voient, qu'ils touchent du doigt, qu'ils voient vraiment que la température ne change pas

Elle prévoit également que les élèves retrouverons ces liens dans la rédaction :

E4-58 : de CM2, hé ben on voit que la température bouge pas, c'est ça c'est tout ça hein, va pas plus loin, en fait c'est à dire il faut que ça utilise quelque chose qui soit simple, [...] il faut qu'ils restent à un niveau quelque chose d'observable, voilà c'est ça que j'attends [...] bon, je leur demande de redéfinir avec des termes scientifiques

L'enseignante attend également que les élèves mettent en œuvre à la fois les niveaux des objets et des mesures dans leurs activités expérimentales :

E4-18 : mais ce sur quoi ils ont à travailler sur place c'est ça : quelles sont les grandeurs que le logiciel vous demande de choisir (?) c'est à dire en fait la durée de l'expérience, et tous les combien on va faire une mesure / bon c'est sur ça en fait qu'il faut, que le problème va se poser en réalité

E4-42 : eau et pentane, donc // à mon avis ils vont dire on fait bouillir, / alors peut-être qu'ils vont me dire on fait bouillir l'eau, c'est possible, je pense pas mais, enfin de toutes façons ils ont quand même, je veux pas les empêcher, ils ont quand même un thermomètre

E4-46 : juste quand ils démarrent, dire / si vous voulez, par exemple moi je pense, c'est pour ça que j'ai gardé le thermomètre, je leur dirai, vous pouvez faire un premier essai / sans l'informatique et regarder simplement ce qui se passe avec le thermomètre tout bêtement [...]

ainsi que les niveaux de la représentation physique et des objets et événements :

E4-46 : [...] bon moi ce que j'avais trouvé, /j'ai pas marqué d'ailleurs, je regrette on peut pas toujours tout marquer dans les feuilles, en fait c'est en fait qu'ils pensent à regarder / pas seulement l'écran de l'ordinateur mais ce qu'il y a dans le tube / c'est à dire effectivement, ça bout quoi /

Dans le contexte, "regarder l'écran de l'ordinateur" signifie "regarder" le graphe de l'évolution de la température au cours du temps, visualisé sur l'écran de l'ordinateur", on est bien au niveau de la représentation physique et non de celui des objets ; la relation avec le niveau des objets et événements concerne l'observation de l'ébullition du pentane dans le tube.

L'enseignante prévoit que tous les niveaux de modélisation (sauf celui de la transcription et du traitement numérique) soient mis en œuvre, le niveau des objets et événements devant être mis en relation aussi bien avec les mesures qu'avec la représentation physique.

L'enseignante ici a relevé et a prévu d'intervenir pour remédier à ce que nous appellerions "un risque de glissement phénoménologique" (Beaufils, 1999) : celui que l'observation de la courbe d'évolution de la température remplace pour les élèves l'observation du phénomène d'ébullition du pentane (E4-46) et elle a prévu d'intervenir.

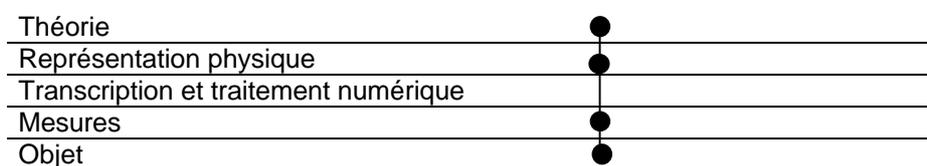


Figure C-11 : Diagramme des niveaux de modélisation prévus par l'enseignant

Les niveaux de modélisation mis en œuvre dans les activités et les productions des élèves

Tous les groupes (6 au total) ont proposé l'étude de l'ébullition du pentane, réalisé l'expérience, obtenu pour la fin de la séance un fichier de mesures et le graphe $\theta(t)$. Les copies ont été remises quelques jours plus tard.

Dans leurs comptes rendus, tous les groupes font intervenir le niveau de la théorie pour interpréter le graphe représentant l'évolution de la température au cours du temps comme par exemple :

(G5)"en effet pour chaque système, il existe un "seuil" où la température reste constante parce que le système subit un changement d'état ; ainsi lorsque Q augmente, T reste parfois constante"

certains font également le lien avec le phénomène :

(G4)"la température du pentane liquide n'augmente plus à partir de 36°C car il a changé d'état, il est passé de l'état liquide à l'état gazeux"

(G2)" d'après la courbe [...] puis la température stagne à 38°C les 5 dernières minutes. Vers la dixième minute, la température monte jusqu'à 42°C car le pentane contenu dans le tube s'est totalement évaporé"

Nous retrouvons un même diagramme pour les niveaux de modélisation prévus par l'enseignante et ceux mis en œuvre par les élèves.

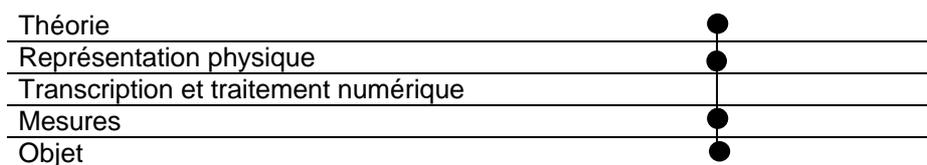


Figure C-12 : Diagramme des niveaux de modélisation mis en œuvre par les élèves

3.4. Étude d'un récepteur - Enseignant P2

Niveaux de modélisation planifiés par l'enseignant

Première partie

1. Faire le schéma du montage (potentiométrique) nécessaire pour tracer la caractéristique intensité-tension repérer anode et cathode
2. Réaliser le montage
3. Remplir les tableaux de mesures

Pour réaliser l'ensemble de ces demandes, les élèves se placent aux niveaux des objets et des mesures.

Deuxième partie (expériences 1 et 2)

1. Tracer les graphes donnant U en fonction de I pour les deux expériences.

Les élèves restent ici au niveau des mesures.

Deuxième partie : Exploitation- résultats (expérience 1)

Pour quelle valeur de la tension U un courant peut-il être détecté dans l'électrolyseur ?

E5-108 : 1,3 je crois / oui c'est ça j'avais 1,3 V / de tension au moment où le courant arrivait à 1 mA, bon c'est approximatif, / E' je trouve 1,6 V, c'est quand même intéressant / on pourra en discuter après / quand ils linéarisent, [...] j'avais peur que si je les incite pas à y penser, d'eux-mêmes ils y pensent pas, tu vois qu'ils aillent trop vite, par exemple si là ils font / mettons zéro, après ils font 10 mA, classique, hé bien ils l'ont loupé

Deuxième partie : Exploitation- résultats (expérience 1)

Linéariser la caractéristique $U = f(I)$ obtenue et déterminer l'équation numérique de la droite obtenue.

Donner les valeurs de la f.c.e.m et de la résistance interne

E5-230 : linéariser, je pense que ça va très vite, l'équation numérique[...] ils vont me dire $ax+b$, alors ça toujours pareil, y, madame $y=ax+b$, [...] là je les inciterai peut-être à mettre du E', r' pour améliorer, [...]

E5-192 : qu'ils comprennent bien que notre E' c'est artificiel quand même par rapport au récepteur / puisque c'est sur la partie uniquement linéaire,

Deuxième partie : Exploitation- résultats (expérience 1)

Calculer le rendement énergétique de cet électrolyseur pour $I = 100$ mA.

Pour l'ensemble des activités concernant l'expérience 1, l'enseignant prévoit que les élèves mettront en œuvre les niveaux des objets et des mesures (valeur de U pour $I \approx 0$), de la transcription et du traitement numérique (linéariser, obtenir $ax+b$ etc.) et de la représentation physique (valeurs de E' et r' par exemple).

Deuxième partie : Exploitation- résultats (expérience 2)

Linéariser la caractéristique $U = f(I)$ obtenue et déterminer l'équation numérique de la droite obtenue.

Donner les valeurs de la f.c.e.m et de la résistance interne

E5-144 : elle est particulière, ben hein, si ça marche pas trop mal, tu vois, je pense qu'ils vont quand même dire qu'elle passe à peu près par l'origine, donc je pense qu'ils vont quand même dire $U = al$ tu vois, enfin bon, on va voir, je suis pas très sûre de leurs réflexes là-dessus

Deuxième partie : Exploitation- résultats (expérience 2)

Comme quel conducteur cet électrolyseur se comporte-t-il ?

E5-154 : oui, je pense conducteur ohmique, moi j'attends conducteur ohmique bien sûr / puisque ce qu'ils peuvent dire c'est en approximation à ce moment là ils peuvent peut-être se récupérer, une approximation à ce niveau là, ça peut les aider si tu veux

Pour répondre à la question, les élèves doivent ici mettre en œuvre le niveau de la représentation physique et de la théorie.

G- Exploitation des résultats (expérience 2)

Écrire les équations-bilan des réactions qui ont lieu aux électrodes, puis le bilan de l'électrolyse on parle d'électrolyse à anode soluble).

En déduire une justification de la valeur de la f.c.e.m de l'électrolyseur

E5-160 : [...] et c'est entre autres pour ça que quand on va commencer les mesures[...] il faut que je pense à leur dire, de bien regarder aux électrodes ce qui se passe, tu vois, [...] qu'ils notent les observations visuelles / et normalement on voit très bien que l'électrode est mangée pour l'une, l'électrode de cuivre est rognée ça se voit et dépôt de cuivre pour l'autre qui se voit aussi très bien, donc normalement écrire Cu donne $Cu^{2+} + 2$ électrons et l'autre le contraire, bilan le transfert de Cu / tu vois

E5-162 : c'est à dire que comme on a vu dans le cours, puisque j'ai fait le cours sur le récepteur, que l'énergie chimique récupérée était liée à la valeur de E' , ça on l'a fait ça, qu'ils / fassent l'association qu'ils trouvent que E' en fait là il est nul,

L'enseignante attend donc que les élèves mettent en relation le niveau des objets, le niveau de la représentation physique et le niveau de la théorie.

Nous reprenons en bilan l'ensemble des activités prévues par l'enseignante pour cette séance. Nous notons que tous les niveaux de modélisation doivent a priori être sollicités par les élèves et qu'ils sont amenés a priori à relier plusieurs niveaux entre eux.

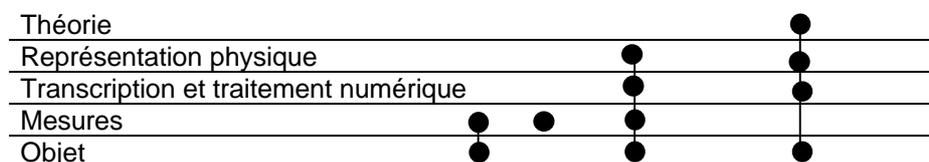


Figure C-13 : Diagramme des niveaux de modélisation prévus par l'enseignant

Les niveaux de modélisation mis en œuvre dans les activités et les productions des élèves

Tous les groupes ont réalisé les montages, rempli le tableau de mesures et tracé les graphes des points expérimentaux pour les deux électrolyses.

ces graphes obtenus par les élèves peuvent être d'une exploitation difficile voire impossible :

- Plusieurs groupes ont interverti l'ordre des électrolyses, ils obtiennent alors la caractéristique linéaire attendue (par l'enseignante) pour l'électrolyse à anode en cuivre mais pour l'électrolyse à anode en carbone, celle-ci étant recouverte de cuivre au début de la réaction, c'est une caractéristique inexploitable avec les consignes de la fiche que les élèves obtiennent.
- certains graphes présentent des décalages brusques ou des fluctuations importantes.

Dans le tableau ci-dessous nous récapitulons les productions des élèves :

Montage, mesures, tracé des points expérimentaux	9
Tracé du modèle affine ou linéaire sur au moins un des graphes	8
Détermination des grandeurs E' et r' (ou r' seul), valeurs numériques et unités pour au moins une des caractéristiques	5
Reconnaître la caractéristique d'un conducteur ohmique	3
Calculer au moins un rendement	4
Faire appel aux réactions aux électrodes pour justifier $E' = 0$	1

Nous pouvons constater sur les productions des élèves que, après avoir réalisé le montage (niveau des objets et événements) et les mesures, 5 groupes sur les 9 ont mis en œuvre les niveaux des mesures, de la transcription et du traitement numérique ainsi que le niveau de la représentation physique (avec la détermination de E' et r'). Trois groupes seulement ont travaillé au niveau explicatif de la théorie et l'on trouve dans deux copies un commentaire analogue à :

$U = 0,01 + 0,021 \cdot I$ et $r' = 21 \text{ W}$. Cet électrolyseur est un récepteur qui convertit l'énergie électrique en énergie chimique. Il se comporte comme un conducteur ohmique car $U = RI$ et ici $U = E' + r'I$ Il n'y a que l'addition de la f.c.e.m.

Il est difficile de faire un bilan, les productions et activités des élèves ayant été très variables selon qu'ils ont eu ou non des problèmes avec le matériel, qu'ils ont effectivement étudié les électrolyseurs dans l'ordre indiqué par l'enseignante. Toutefois, il faut relever qu'un tiers des groupes a fait le lien entre le niveau de la représentation physique et celui de la théorie.

Dans le diagramme ci-dessous, nous avons représenté en noir les niveaux mis en relation par la majorité des élèves, en gris les niveaux qui n'ont été atteints que par le tiers des élèves, et pour mémoire, en blanc, le seul groupe qui a fait la relation entre le dépôt métallique sur l'anode et les réactions chimiques aux électrodes et la valeur de la f.e.m.

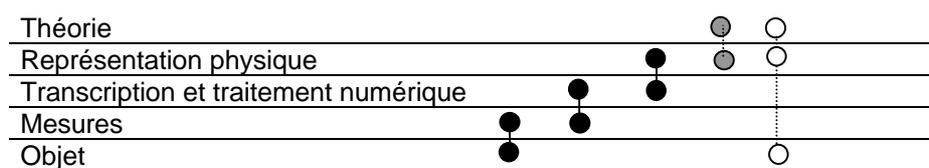


Figure C-14 : Diagramme des niveaux de modélisation mis en œuvre par les élèves

Ce diagramme est un bilan des liens que nous avons constatés pour l'ensemble des groupes, mais il ne fait pas apparaître (sauf pour un cas) la possibilité qu'un ou plusieurs groupes aient relié plus de deux niveaux de modélisation.

3.5. Caractéristique d'un générateur et d'un récepteur - Enseignant P4

Les élèves étudient les caractéristiques de trois dipôles. Nous allons étudier simultanément les questions communes et faire apparaître indépendamment les questions spécifiques à l'étude d'un dipôle particulier.

Niveaux de modélisation planifiés par l'enseignant

Pour les trois dipôles les élèves doivent réaliser des activités quasi identiques :

Réalisez le montage
Faites les mesures....
Tracez la courbe $U = f(I)$, (avec les recommandations particulières)

Modélisez en indiquant si nécessaire les limites de validité (ou formulations autres)

Pour cet ensemble d'activités les élèves mettent en œuvre les niveaux des objets et des mesures puis celui des mesures et de la transcription et du traitement numérique.

Pour la pile :

En utilisant vos connaissances de seconde (pile), retrouvez la loi physique que l'on peut tirer de cette modélisation .
Vous attendiez-vous aux valeurs obtenues ?
Observez le contenu du boîtier et proposez une explication aux valeurs obtenues.

E6-32 : c'est pareil et c'est pour ça que j'ai mis "en utilisant vos connaissances de seconde", j'espère qu'ils vont repenser à $E - rI$

E6-80 : C'est une résistance de 100 ohms ce qui fait que quand on fait, s'ils sont passés à la loi physique et qu'ils se souviennent que c'est la résistance interne de la pile ils doivent retrouver une résistance interne de 100 et quelques ohms, normalement ils doivent se souvenir qu'une pile c'est quelques ohms, c'est pour ça que j'ai mis "vous attendez-vous aux valeurs obtenues ?

En faisant appel à leur connaissances les élèves doivent reconnaître la f.e.m. d'une pile courante du commerce (1,5 V) mais pas la valeur de la résistance (trop grande ici).

C'est l'observation du dipôle réel contenu dans le boîtier qui doit leur permettre de reconnaître la valeur de la résistance mesurée.

Pour l'électrolyseur :

Pouvez-vous trouver un modèle qui s'applique à l'ensemble de la courbe ?
quelle modélisation pouvez-vous proposer ?

E6-30 : C'est à dire pour l'électrolyseur ils peuvent pas, parce que l'électrolyseur ils ont aucun renseignement la force contre-électromotrice ils connaissent pas, rien, donc là à ce niveau là, moi j'attends simplement qu'ils restent à $U = aI + b$, c'est tout.[...]

L'enseignante attend donc que les élèves mettent en œuvre le niveau de la représentation physique.

Les expériences quantitatives

Pour le moteur :

quelle est la loi de la physique suivie par un moteur bloqué ?

Représentez la chaîne énergétique correspondante.

Quel risque y a-t-il à empêcher un moteur de tourner ?

E6-30 : [...] tandis que là, j'espère qu'ils vont repenser à la loi d'Ohm

E6-94 : Ce que j'ai fait hier, c'est à dire hier on a vu donc travail électrique, chaleur, travail mécanique donc là j'attends qu'ils ne mettent plus que chaleur et puis travail mécanique quoi

L'enseignante attend explicitement que les élèves fassent intervenir ici, le niveau de la théorie.

En bilan, nous faisons apparaître dans le diagramme ci-dessous l'ensemble des niveaux de modélisation mis en jeu pour l'étude planifiée pour chacun des dipôles : la pile, l'électrolyseur et enfin le moteur. Nous observons que sur l'ensemble des activités prévues par l'enseignante, tous les niveaux de modélisation sont sollicités *a priori*.

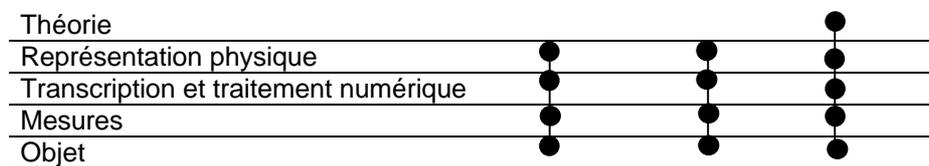


Figure C-15 : Diagramme des niveaux de modélisation prévus par l'enseignant

Les niveaux de modélisation mis en œuvre dans les activités et les productions des élèves

L'activité des élèves pendant la séance a été essentiellement expérimentale : réaliser un ou plusieurs montages, faire les mesures pour les couples (I , U) et placer les points sur un graphe.

Les élèves, pendant la séance, ont pour la plupart réalisé des activités qui mettent en relation les niveaux des objets, des mesures et du modèle numérique. Toutes les questions de la fiche qui amènent les relations avec les niveaux de la représentation physique et de la théorie n'ont quasiment pas été abordées. Il ne nous est pas possible de faire un bilan plus précis, les élèves n'ont pas rendu leurs comptes rendus.

3.6. Conclusion

Pour toutes les séances de travaux pratiques que nous avons observées, les enseignants prévoient que les élèves mettent en relation les deux mondes de la démarche du physicien : le "monde des choses" et le "monde des théories et des modèles " (Bécu-Robinault, 1997, p.77), leur offrant ainsi un moyen de donner du sens à un concept, un modèle (Tiberghien, 1994 ; Tiberghien et Megalakaki, 1995).

Toutefois, si nous nous centrons sur les activités planifiées par l'enseignant, nous retrouvons une différence entre les séances pendant lesquelles les élèves doivent construire, à partir de mesures, un référent (auquel l'enseignant se reportera ultérieurement), et les autres séances au cours desquelles une "confrontation" modèle - expérience est organisée.

Dans le premier cas (obtention d'un référent) l'enseignant prévoit que les élèves relient les niveaux des objets, mesures, de la transcription et du traitement numérique et de la représentation physique (avec les limitations dues au matériel et au traitement des mesures que nous avons déjà précisées) ; le niveau de la théorie est exclu de l'activité.

Nous avons également noté que si les élèves répondent en mettant en œuvre les niveaux des objets, des mesures, de la transcription et du traitement numérique, ils n'abordent pas forcément le niveau de la représentation physique, en tout cas il reste une indétermination, une ambiguïté : si le graphe, le modèle numérique qu'ils obtiennent notamment avec un système informatisé, font apparaître les grandeurs physiques (tension, intensité ; distance, temps), les élèves ne leur donnent pas forcément un sens physique. Pour nous ici, seule l'analyse du compte-rendu permet de préciser l'existence du lien avec le niveau de la représentation physique. Nous avons noté que peu d'élèves réalisent explicitement ce lien.

Pour les situations où les élèves "confrontent" modèle et expérience, les enseignants prévoient systématiquement des liens avec la théorie (soit réalisés par eux, soit par les élèves) et par de nombreuses questions favorisent les relations avec le monde des objets et événements.

Les productions des élèves de l'enseignante P4 reflètent généralement ces mises en relation, alors que pour les élèves de l'autre classe celles-ci apparaissent peu fréquemment. Cette différence peut être interprétée. En effet dans le premier cas, les élèves ont toujours rendu leur travail quelques jours après la séance, ils ont donc eu le temps, les documents etc. pour terminer le travail de rédaction, alors que dans le deuxième cas, les élèves ont remis leurs copies immédiatement à la fin de la séance. Nous retrouvons ici "matérialisé" l'écart entre le temps didactique nécessaire aux élèves pour construire leurs connaissances et le temps d'enseignement : dans la durée de la séance les élèves des deux classes mènent des activités semblables (montages, mesures, graphes, etc.) mais dans le cas des élèves de l'enseignante P4 ils les poursuivent, en autonomie, en dehors de la séance.

Le monde des théories et modèles que les élèves doivent mettre en œuvre n'est pas équivalent non plus pour les élèves des deux classes : ainsi c'est l'enseignante (P4) qui propose et met en œuvre le principe d'inertie pour prévoir l'évolution de la vitesse au cours de la chute, laissant alors aux élèves la charge de vérifier sa prévision ; c'est elle également qui rejette la mesure de la chaleur latente de fusion de la glace parce que trop complexe pour ses élèves et qui choisit l'évolution de la température au cours d'un changement d'état, enfin c'est elle qui, dans les fiches qu'elle distribue, apporte de nombreux indices, voire des réponses, permettant ainsi d'orienter les activités des élèves. Tout ceci nous paraît relever d'un traitement particulier des élèves de classes faibles, traitement à rapprocher de celui que décrit A. Mercier (1995) pour les mathématiques.

Dans l'analyse que nous avons menée sur les démarches expérimentales mises en œuvre dans les séances de travaux pratiques nous avons précisé l'écart entre le travail de construction argumenté, sophistiqué fait par l'enseignant et la part limitée dévolue à l'élève ; celui-ci n'accède pas et n'a pas les moyens d'accéder à l'intégralité de la démarche élaborée. Cette distance entre l'activité de l'enseignant et celle de l'élève est encore plus grande quand on prend en compte le résultat obtenu ici sur l'écart entre la prévision par l'enseignant de l'activité de l'élève et celle réalisée effectivement. En effet, l'enseignant prévoit, attend que l'élève, à travers les activités quantitatives qu'il mène, établisse des liens avec le niveau de la théorie. Nous avons observé un écart entre cette planification et les liens effectivement réalisés par les élèves : les élèves peuvent rester essentiellement aux niveaux des mesures et de la transcription et du traitement numérique.

C.4. QUELLES SONT LES ACTIVITES DEMANDEES AUX ELEVES ? IMPORTANCE DES MANIPULATIONS ET DES MESURES

Nous avons montré dans le chapitre C.2. que la part des élèves dans la construction des activités expérimentales reste faible : c'est l'enseignant qui fait les choix expérimentaux (situation, instruments, conditions expérimentales et méthode), choix qu'il n'explique pas aux élèves. Par ailleurs, la contribution des élèves à la "confrontation" entre résultats expérimentaux et théoriques se résume le plus souvent à constater des ressemblances, des cohérences. La question se pose alors de connaître quelles sont les activités avec le matériel expérimental et les mesures qu'ils réalisent, quels sont les savoirs et savoir-faire qu'ils mettent en œuvre.

Afin de caractériser les activités expérimentales que les élèves ont à réaliser, nous nous sommes appuyés sur une grille descriptive des tâches planifiées par l'enseignant (Beaufils et al, 1, 1999). Cette grille comporte un ensemble d'items structuré en sept catégories : "exploiter de l'information", "observer (avec ou sans manipulation)", "choisir, imaginer, créer", "réaliser, conduire", "calculer, analyser", "fournir une réponse connue" et enfin "juger, critiquer, argumenter" dont nous donnons un extrait dans le tableau ci-dessous (l'extrait publié est en annexe 27) :

O. Observer (avec ou sans manipulation)

- observer (voir, percevoir) un phénomène *attendu/annoncé* ;
- observer (voir, percevoir) et *relater* un phénomène *nouveau*.

C. Choisir, imaginer, créer (par exemple)

- *prédire* un phénomène, un comportement empirique, un résultat expérimental ;
- *proposer (formuler)* une hypothèse (pouvant être *ensuite* testée par l'expérience) ;
- *choisir* les grandeurs à mesurer ;

R. Réaliser, conduire (par exemple)

- *exécuter* une action *élémentaire (ou une suite d'actions élémentaires)* *spécifiée* ;
- *faire* ou *compléter* le schéma d'un montage, d'un dispositif ;
- *reconnaître* un appareil ou un dispositif expérimental ;

K. Calculer, analyser (par exemple)

- *mettre en œuvre* une définition, un théorème ;
- *effectuer une transformation (calcul) mathématique* sur la(les) valeur(s) d'une mesure ou d'une série de mesures pour une même grandeur ;
- *effectuer un calcul* (une série de calculs) à partir d'une *fonction* ou d'une *équation mathématique* (hormis le cas précédent) ;
- *obtenir* une représentation graphique à partir d'une *série de valeurs* ;

F. Fournir une réponse connue (par exemple)

- *dire* (écrire) le rôle ou la fonction d'un appareil *connu* dans un montage ;
- *dire* (écrire) un protocole expérimental *connu*.

J. Juger, argumenter, critiquer (par exemple)

- *juger* de la *qualité/validité* d'une mesure, d'un calcul ;
- *juger* de la *cohérence* d'un résultat ;
- *juger* de la *validité d'une hypothèse*, d'un modèle *en référence aux mesures*.

Tableau C-1

Nous avons caractérisé pour chaque fiche de travaux pratiques, les activités planifiées par les consignes. Nous avons inscrit les résultats dans les tableaux d'analyse de chaque séance (partie B). Nous reprenons ici ces résultats dans le but d'obtenir une image des tâches qui sont confiées aux élèves. Par ailleurs, en nous appuyant sur les entretiens préalables, nous ferons le bilan des compétences des élèves que l'enseignant juge nécessaires à la bonne conduite des activités expérimentales.

Compte tenu du faible nombre de séances analysées, nous ne pourrons établir de résultats quantitatifs.

4.1. "La chute libre" (enseignant P2)

Les activités planifiées par la fiche

Nous reprenons un extrait du tableau B-2b qui concerne les activités des élèves avec le matériel et les mesures :

<ul style="list-style-type: none"> - Manipulation. - Le traitement des mesures - <i>Équation horaire du mouvement</i> <p>Graphe donnant la vitesse du corps en fonction du temps</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tracer le graphe $v(t)$ - <i>caractériser le graphe et donner l'expression de $v(t)$</i> 	<p>Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - effectuer le test... - brûler la ficelle... <p>Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir "graphe" ... <p>Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées :</p> <ul style="list-style-type: none"> - choisir avec la souris les bornes ..., - taper $x=b*\text{sqr}(t)$.... <p>Construire une représentation graphique</p> <p>Traiter un graphe :</p> <ul style="list-style-type: none"> - reconnaître une droite - Déterminer son équation
--	---

Tableau C-2 : les activités des élèves liées au quantitatif - chute libre - enseignant P2

Nous relevons ainsi que, pour réaliser l'expérience, acquérir les mesures, traiter ces mesures avec les moyens informatisés mis à leur disposition, les élèves doivent essentiellement "**Exécuter une suite d'actions élémentaires spécifiées**" (*effectuer le test [...] , brûler la ficelle, [...], valider, sauver*) programmées par la fiche.

Le lien matériel / activités des élèves

Pour l'appareil utilisé ici, "Magnum", l'objet (échelle) dont on étudie la chute est fixé en position haute par une ficelle, libéré manuellement (on brûle la ficelle), l'enregistrement des mesures se fait automatiquement lors du passage de l'échelle devant un capteur fixe (la fourchette optique). Les élèves recueillent directement un tableau de mesures (t, x et v) et observent sur l'écran le graphe des points expérimentaux $x(t)$. Ils ne font aucune intervention, aucun réglage pendant l'acquisition des mesures. Toutes les activités ultérieures des élèves se font sur les valeurs du tableau ou sur les graphes. Ce tableau, ce graphe constituent leur nouveau référent empirique.

Ils ont par contre réalisé le "test du capteur" pour comprendre le principe de l'acquisition :

E1-90 : au moment ils font le test pour vérifier si Magnum fonctionne, ils verront les cellules qui s'obturent / en passant le doigt / on leur fait passer le doigt pour qu'ils comprennent bien cette histoire cellules émettrice, réceptrice donc ils vont lire là rapidement mais ils verront surtout quand ils vont manipuler comment ça marche.[...]

Les compétences attendues et savoir-faire à acquérir

Les élèves utilisent pour la première fois ce matériel dédié, et pour certains réalisent également pour la première fois une acquisition automatique de mesures. Dans l'entretien préalable à la séance, nous n'avons pas relevé d'indications explicites sur les compétences attendues des élèves ou à acquérir par eux, ce sont des connaissances sur le système qui sont apportées par l'enseignante :

E1-90 : [...] Bon matériel on passera rapidement, je leur expliquerai quand même à tous ce qu'est une interface / hein puisque ce n'est pas une mesure comme d'habitude, il y en a qui vont sûrement hocher la tête, ils savent et puis d'autres qui savent pas, donc je réexpliquerai mais très rapidement hein, en disant [...] principe de l'enregistrement, [...] je vais leur expliquer oralement comment, comment ça fonctionne, j'attends leurs questions éventuellement, [...] donc je voulais qu'ils comprennent un petit peu comment on pouvait atteindre la vitesse et puis / la position aussi,

4.2. "La chute libre" (enseignant P4)

Les activités planifiées par la fiche

Les élèves ont à leur disposition du matériel d'enseignement dédié (obus de Lefèbvre et chute de la bille) qu'ils doivent "**mettre en œuvre**" en utilisant une "feuille annexe".

Dans le tableau ci-dessous nous reprenons les consignes portées par la fiche (annexe 2) et la catégorisation des activités correspondantes (tableau B-3).

<ul style="list-style-type: none">- Utilisez ces trois dispositifs pour atteindre le but recherché- Utilisez un des deux dispositifs restant pour atteindre le but recherché	<p>Proposer et mettre en œuvre une méthode d'étude qualitative</p> <p>- une méthode d'étude quantitative</p>
---	--

Tableau C-3 : les activités des élèves liées au quantitatif - chute libre - enseignant P4

Les expériences quantitatives

Nous relevons que les consignes de la fiche donnée aux élèves sont "ouvertes".

Les renseignements techniques qu'apporte cette "feuille annexe" sont autant de consignes pour la manipulation du matériel :

"frotter, appliquer, faire fonctionner, vérifier, faire tourner [...] pour l'appareil de Lefèbvre,

"mettre en fonction, remettre le chronomètre à zéro, laisser le bouton enfoncé etc." pour la "chute de la bille".

Les consignes d'utilisation du matériel dédié pour l'acquisition des mesures ou des enregistrements correspondent ici également à "**exécuter une suite d'actions élémentaires spécifiées**".

Par contre, aucune indication n'est donnée aux élèves sur les mesures à réaliser pour répondre à la question posée, ils devront choisir.

Note : pour la chronophotographie que les élèves auront à exploiter, ils ne réalisent pas d'expérience, ils travaillent directement en utilisant les renseignements portés sur le document (annexe 2).

Le lien matériel / activités des élèves

L'appareil de Lefèbvre

L'obus dont on étudie la chute est fixé en position haute par un électro-aimant, libéré manuellement par l'ouverture du circuit de l'électro-aimant, un jet d'encre projeté par un encrier tournant à vitesse constante permet l'enregistrement des positions. Les élèves n'ont aucun réglage à réaliser, aucun paramètre à choisir.

Qu'en est-il des activités de mesure ?

Les élèves doivent interpréter l'enregistrement obtenu, reconnaître qu'à la date $t = 0$ de départ de l'obus, les premières "lignes" enregistrées sont en bas du document et que la "lecture" de l'enregistrement se fait dans le sens opposé du déplacement de l'obus (comme pour le système précédent mais la difficulté y est éludée, les résultats étant directement rangés dans le tableau)

Ils mesurent ensuite les distances parcourues et calculent les durées de chute.



Figure C-16 : schéma d'un enregistrement

La "chute de la bille"

Pour ce qui concerne "la chute de la bille", la bille est retenue en position haute par un électro-aimant. Les élèves règlent manuellement la hauteur de chute (maximum de l'ordre du mètre) en déplaçant le godet de réception de la bille. L'ouverture (manuelle) du circuit de l'électro-aimant commande la mise en route d'une horloge mécanique et le basculement de l'interrupteur du godet l'arrête. Les élèves relèvent alors la durée de la chute correspondant à la hauteur de chute qu'ils avaient fixée.

Les expériences quantitatives

Pour ce matériel les élèves choisissent la hauteur de chute, la règlent en déplaçant le godet de réception et remplissent un tableau de mesures (x, t).

Nous notons donc a priori des interactions très différentes entre l'élève et le phénomène de la chute :

- dans un cas (appareil de Lefèbvre) l'élève regarde le cylindre tomber et ne peut intervenir dans les choix expérimentaux,
- dans l'autre cas, il peut décider des mesures à réaliser, il assure les réglages correspondants et relève les résultats.

Les compétences attendues et savoir-faire à acquérir

Les compétences que l'enseignante cherche à faire acquérir par ses élèves ne sont pas "disciplinaires" :

E2-51 : bon j'essaie aussi de / de leur donner des extraits de, bon j'ai repris la notice, c'est une très vieille notice donc j'ai pas voulu la photocopier parce qu'il y avait des mots assez anciens et autres, je pense que c'est important pour eux d'être capables de lire des choses un peu techniques entre guillemets, donc c'est pourquoi j'ai / ben voilà, je leur ai fait des petits schémas a priori, j'ai pas trop l'intention de les aider à se servir du matériel / bon, ça on verra hein

E2-209 : ils apprennent une certaine autonomie voilà, je dirai ça comme ça, c'est à dire ils commencent par quoi ils veulent, bon s'il y a pas d'ordre évidemment mais a priori

Nous n'avons pas relevé de références explicites dans l'entretien sur des compétences à acquérir ou des savoir-faire visés quant aux manipulations ; les objectifs d'apprentissage pour la physique concernent les connaissances.

4.3. Mesures calorimétriques (enseignant P2)

Les activités planifiées par la fiche

Nous avons déjà précisé le statut particulier de ce TP pour lequel l'enseignante a organisé les activités afin que tous les élèves obtiennent un résultat pour la mesure de la chaleur latente de fusion de la glace.

Sur l'extrait du tableau (annexe 22), nous retrouvons les activités avec le matériel et les mesures planifiées par la fiche (annexe 3) pour cette séance :

- Réalisation de l'expérience et acquisition des mesures (2 ^o partie) - <i>prendre [...] et sécher</i>	Choisir un protocole de mesure (masse) Exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées
- Calcul de la valeur de Lf (3 ^o partie) - calcul de l'erreur sur Lf	Effectuer un calcul mathématique sur des valeurs Effectuer un calcul mathématique sur des valeurs
Analyse des résultats	

Les expériences quantitatives

Indiquer rapidement les méthodes expérimentales choisies Ces méthodes vous conviennent-elles ? proposer d'autres méthodes Comment s'assurer que l'équilibre thermique est atteint ? Quelle indication vous donne le fait que les glaçons sont partiellement fondus ? [...] Commentez vos résultats Quelles sont les causes d'erreur ?	Écrire le protocole suivi Juger de la validité d'une méthode de mesure, Proposer une méthode de mesure, Écrire un protocole connu Écrire un réponse connue [...] Juger de la cohérence d'un résultat Apprécier les sources d'erreur
--	---

Tableau C-4 : les activités des élèves liées au quantitatif - mesures calorimétriques -
- enseignant P2

Nous retrouvons, à la fois, des consignes très précises (exécuter une série d'actions élémentaires spécifiées, effectuer un calcul sur des valeurs) pour la manipulation du matériel et les calculs et des consignes ouvertes qui demandent aux élèves de "choisir, juger, proposer etc."

Le lien matériel / activités des élèves

Les élèves manipulent ici du matériel "de laboratoire". Ils choisissent un protocole pour mesurer des masses (soit avec une éprouvette graduée soit avec une balance), doivent tenir compte des qualités de la balance disponible, ils choisissent le thermomètre adapté à leurs mesures, relèvent les températures, manipulent l'eau et la glace objets de l'étude, doivent utiliser un calorimètre "correctement" (bien monté, couvercle fermé etc.). Ils sont donc en relation directe par leurs manipulations et leurs mesures avec le système physique.

Les compétences attendues

Les élèves ont déjà réalisé des mesures calorimétriques en travaux pratiques, avant cette séance, et l'enseignante a noté leur manque de soin :

E3-12 : alors déjà pour trouver le volume on a beaucoup réfléchi, après, c'est du pif, vraiment du pif, jamais ils se mettent en face, le ménisque dans le tube n'en parlons pas, c'était vraiment n'importe quoi, donc les résultats étaient loin d'être bons, / ça c'est parce qu'ils savent pas manipuler, mais ils apprennent

Dans cette séance, les élèves doivent montrer les compétences acquises :

E3-22 : expérimentalement j'ai remis utiliser le calorimètre, mesurer les températures bien qu'ils l'aient déjà fait pour voir s'ils ont amélioré leur façon de faire / s'ils ont compris que ce fameux calorimètre bien qu'il ne soit pas vraiment étanche il vaut mieux qu'il soit fermé quand même / que pour mesurer une température avec le thermomètre dans le calorimètre et pas au-dessus enfin bon, et tout comme ça tu vois / qu'on fait attention toujours pareil mais bon / faire attention au repérage de la température d'équilibre, etc. qu'on la surveille qu'on agite enfin bon, tu vois tout ce qui va avec [...] donc juste pour les mesures de masse, est-ce qu'il vaut mieux bien mesurer les masses d'eau à l'éprouvette graduée, se servir de la balance, [...]

E3-48 : Donc voilà dans les objectifs / donc ce que j'aimerais donc si je reprends, c'est // noter des progrès sur la manipulation (NA) la dernière fois, j'aimerais mieux [...]

4.4. Calorimétrie (enseignant P4)

Les activités planifiées par la fiche

Dans cette séance les élèves doivent fournir une argumentation à l'affirmation "plus on chauffe, plus c'est chaud n'est pas toujours vrai" (annexe 4).

Nous avons relevé de façon synthétique (annexe 23) les activités que l'enseignante demande aux élèves :

<ul style="list-style-type: none"> - choix de la substance pour l'expérience informatisée - Proposition de protocoles - Demande de deux protocoles - Réalisation des expériences 	<p>Décider des conditions expérimentales</p> <p>Proposer un montage nouveau, Choisir les grandeurs à mesurer</p> <p>Exploiter une source d'information Décider des valeurs des paramètres, des conditions expérimentales... Mettre en œuvre le montage informatisé</p>
<p>Attente d'un courrier comprenant le dossier</p>	<p>Proposer une description / interprétation qualitative en termes de corrélation</p>

Tableau C-5 : les activités des élèves liées au quantitatif - calorimétrie - enseignant P4

Nous avons déjà noté que les consignes sont peu nombreuses, ouvertes et que les élèves doivent décider du protocole et des mesures à réaliser et exploiter.

Le lien matériel / activités des élèves

Les élèves manipulent du matériel "de laboratoire" : thermomètres, plaques chauffantes, système informatisé pour l'acquisition des mesures de température etc., des produits "de laboratoire" : pentane. Ils doivent utiliser les renseignements techniques portés par la fiche pour adapter matériel et composé chimique (capteur de température et pentane), faire des essais pour évaluer la durée de l'expérience, réaliser le montage expérimental, mettre en œuvre l'acquisition automatique des mesures. Connaissant le résultat attendu pour l'évolution de la température du pentane au cours de l'ébullition, ils interprètent le graphe des points expérimentaux qu'ils ont obtenu.

L'interaction avec le matériel expérimental, les résultats des mesures est donc ici forte.

Les compétences attendues et savoir-faire à acquérir

Les élèves réalisent pour la première fois une acquisition automatique :

E4-8 : [...] et puis la troisième, d'un point de vue informatique, [...] ils ont utilisé, pas tous, enfin ils ont utilisé le tableur mais ils ont jamais fait en fait d'acquisition, donc c'était pour, pour qu'ils commencent une première fois à voir une acquisition

Les expériences quantitatives

E4-14 : Donc c'était une première approche quoi, sauf que celle-là elle est en fait plus difficile parce que là en terminale ils étudient souvent un fichier de réglage tout prêt qu'ils chargent donc ils ont pas à choisir des réglages

ils doivent donc acquérir des compétences :

E4-18 : [...] mais ce sur quoi ils ont à travailler sur place c'est ça : quelles sont les grandeurs que le logiciel vous demande de choisir (?) c'est à dire en fait la durée de l'expérience, et tous les combien on va faire une mesure / bon c'est sur ça en fait qu'il faut, que le problème va se poser en réalité [...]

Ils ont à leur disposition une fiche (annexe 4) "Utilisation d'Orphy" qui apporte des renseignements sur le système d'acquisition, la signification des commandes du logiciel mais ne donne aucune consigne technique.

4.5. Étude d'un récepteur (enseignant P2)

Les activités planifiées par la fiche

Nous reprenons ci-dessous un extrait du tableau des activités des élèves (annexe 24) :

<p>- Première partie : Montage - Mesures Faire le schéma du montage (potentiométrique) Repérer l'anode et la cathode Réaliser le montage (Remplir) deux tableaux de mesures</p> <p>- Deuxième partie : Exploitation - Résultats Tracer les graphes donnant U en fonction de I (t) Linéariser et déterminer les équations numériques Donner les valeurs de la f.c.e.m. et de r' Calculer des rendements Comme quel conducteur l'électrolyseur se comporte-t-il ? Écrire les équations des réactions En déduire une justification de la valeur de la f.c.e.m</p>	<p>Faire le schéma d'un montage (connu) Fournir une réponse connue Réaliser un montage Effectuer un relevé de mesures par simple lecture</p> <p>Obtenir une représentation graphique Déterminer la valeur de paramètres Mettre en œuvre une définition Mettre en œuvre une définition Reconnaître un résultat connu Proposer une interprétation qualitative Proposer une explication causale</p>
--	---

Tableau C-6 : les activités des élèves liées au quantitatif - électricité - enseignant P2

Les activités avec le matériel et les mesures paraissent dans le tableau ci-dessus nombreuses et variées.

Le lien matériel / activités des élèves

Les élèves manipulent du matériel électrique de « laboratoire » (contrôleurs, générateurs, etc.) et montent leur « électrolyseur » (bécher et électrodes). Ils repèrent anode et cathode et doivent les intervertir pour réaliser la deuxième expérience. Ils choisissent les valeurs de l'intensité en agissant sur le montage potentiométrique, choisissent le nombre de mesures, adaptent les calibres des ampèremètre et voltmètre, observent le dépôt métallique. Leur interaction avec le matériel pour réaliser le montage et les mesures est donc importante. Ils tracent ensuite le graphe des points

expérimentaux, délimitent le domaine de fonctionnement linéaire et déterminent les paramètres du récepteur (E' et r').

Les compétences attendues et savoir-faire à acquérir

L'enseignante indique les objectifs de la séance de travaux pratiques :

E5-12 : ben c'est concevoir le montage électrique, [...] on a déjà travaillé là-dessus, voilà ; le réaliser, bon ça va avec, et puis bon tracer la caractéristique et puis arriver à me trouver l'équation de la droite de modélisation, voilà, d'accord

Elle précise les savoirs et savoir-faire que les élèves doivent mettre en œuvre pour l'acquisition des mesures :

E5-26 : et d'eux-mêmes ils m'avaient dessiné un montage potentiométrique avec le rhéostat, [...], ce qui fait que là, j'ai proposé de faire un montage potentiométrique.

E5-60 : donc je voulais qu'ils réfléchissent un petit peu, qu'ils trouvent leurs points de mesure, hein, qu'ils les espacent aussi, critiquer un peu ça,

E5-190 : et qu'en plus ils apprennent à / comment dire, à gérer plusieurs points de mesure / éventuellement avec les difficultés rencontrées pendant les mesures, bon moi je l'ai fait

pour le traitement graphique :

E5-102 : ils ont fait déjà pas mal de graphes cette année, à chaque TP il y avait des graphes à faire, choix d'échelle, choix de, ils se débrouillent, [...]

E5- 192 : ça veut dire que s'ils ont des points qui sortent un petit peu il faut qu'ils apprennent à laisser de côté des points de mauvaises mesures éventuellement, qu'ils apprennent à faire un modèle qui passe par une valeur moyenne, etc. [...]

4.6. Caractéristiques intensité / tension d'un générateur, d'un récepteur (enseignant P4)

Les activités planifiées par la fiche

Nous reprenons ci-dessous un extrait du tableau des activités des élèves (annexe 25) :

<p>Caractéristique de la pile</p> <ul style="list-style-type: none"> - réalisation du montage - mesures - recherche du modèle mathématique - retour sur la loi physique <p>Caractéristique d'un électrolyseur</p> <ul style="list-style-type: none"> - réalisation du montage - mesures - recherche du modèle mathématique <p>Etude d'un moteur qui ne tourne pas</p> <ul style="list-style-type: none"> - mesures 	<p>Réaliser un montage</p> <p>Effectuer un relevé de mesures par simple lecture</p> <p>Obtenir une représentation graphique à partir d'une série de valeurs</p> <p>Déterminer la valeur d'un paramètre par un calcul</p> <p>Reconnaître un résultat</p> <p>(ces activités se retrouvent pour les trois dipôles étudiés sauf pour reconnaître un résultat pour l'électrolyseur)</p>
---	---

- recherche du modèle mathématique - recherche de la loi physique - analyse énergétique	
---	--

Tableau C-7 : les activités des élèves liées au quantitatif - électricité - enseignant P4

Le lien matériel / activités des élèves

Les élèves disposent de matériel de « laboratoire » pour les montages électriques (contrôleurs, générateurs, rhéostat, moteur, électrolyseur etc.), d'une « pile didactique » : "boite noire" comprenant une pile du commerce associée en série avec un conducteur ohmique,

E6-80 : C'est une résistance de 100 ohms ce qui fait que quand on fait, s'ils sont passés à la loi physique et qu'ils se souviennent que c'est la résistance interne de la pile ils doivent retrouver une résistance interne de 100 et quelques ohms

et d'une « plaquette » de résistances :

E6-54 :[...] quand on change les valeurs de R ils peuvent pas prendre n'importe quoi [...] mais c'est une plaquette sur laquelle il y a un certain nombre de conducteurs ohmiques préinstallés

Les élèves interagissent avec le matériel quand ils réalisent les montages en suivant un schéma, choisissent les mesures à réaliser, effectuent des réglages de tension, décident des calibres des appareils de mesure etc. observent le dégagement gazeux, font tourner le moteur etc.

Pour exploiter les mesures, ils tracent des graphes, limitent si nécessaire le domaine de fonctionnement linéaire, en déterminent la représentation mathématique et ouvrent la boîte de la « pile » pour comparer leurs résultats aux paramètres de ce dipôle.

Les compétences attendues et savoir-faire à acquérir

L'enseignante s'appuie sur les compétences des élèves acquises en seconde, mais elle prévoit d'intervenir :

E6-54 : Reprendre quand même contact avec ampèremètre et voltmètre

E6-56 : Oui, oui quand même, bon là j'ai nulle part, j'ai pas précisé les calibres, c'est volontaire

E-116 : oui, je pense que de toutes façons ils vont s'apercevoir assez vite que, là c'est pas forcément évident parce que le rhéostat je ne sais pas [...], il y a le problème du rhéostat, qui est au programme de seconde mais

elle prévoit également que les savoir-faire ne sont pas forcément acquis :

E6-136 : de toutes façons je vais pas les laisser commencer avec des mesures sur le calibre 10 A par exemple, quand je vais vérifier le montage, c'est à ce moment là quand je vais vérifier le montage que je vais leur demander "qu'est-ce que vous avez choisi comme calibre ?" ou enfin "y a-t-il un choix de calibre ?" parce que je suis pas sûre qu'ils choisissent quelque chose,

4.7. Bilan

Nous avons observé que les activités des élèves autour de l'acquisition des mesures et de leur traitement occupent une large part de la durée du TP, voire toute la durée. Si elles peuvent être très différentes dans une même séance, allant de "exécuter une série d'actions élémentaires planifiées" à "choisir, proposer, juger", elles peuvent parfois, du fait des guidages, se résumer à suivre à la lettre un protocole en exécutant des consignes. Nous avons également constaté, la finesse, la subtilité de certains guidages qui, tout en présentant aux élèves la possibilité de choisir (matériel, produits, appareils de mesure etc.), limitent, orientent en fait ces choix.

Nous avons également noté que les élèves utilisent un matériel très varié, que ce soit d'une séance à l'autre (de l'appareil avec acquisition automatique programmée au thermomètre à liquide...), ou dans la durée même d'une séance dans certains cas. Ceci est un élément supplémentaire pour augmenter le poids des activités relatives à l'acquisition des mesures.

Sans pouvoir ici approfondir plus, il nous paraît intéressant de souligner l'existence d'un paramètre au niveau de la nature des appareils. De façon générale en effet, les appareils utilisés dans l'enseignement sont, soit des appareils que l'on peut qualifier de scientifique, dans le sens où il s'agit d'appareils effectivement utilisés par des professionnels dans des laboratoires ou ateliers (cas de l'oscilloscope ou des multimètres), soit des appareils didactiques, dans le sens classique du terme, c'est-à-dire conçus spécifiquement avec un objectif d'enseignement : c'est le cas de la table à coussin d'air, de la machine d'Atwood, et ici de la machine de Lefèvre ou même du matériel et du logiciel pour l'étude de la chute libre. Si nous soulignons cette différence c'est qu'à l'évidence, les premiers peuvent faire l'objet d'un enseignement, comporter donc des objectifs d'apprentissage, alors que les seconds, que les élèves ne reverrons sans doute jamais, doivent pouvoir être utilisés sans apprentissage. On constate d'ailleurs aisément que l'utilisation de ces appareils dans le temps limité d'une séance conduit à un appauvrissement des activités de l'élève : ainsi, lorsque les élèves utilisent, pour l'étude de la chute, les deux dispositifs "Magnum" et "de Lefèvre", tous les paramètres du montage étant imposés par construction, leur contribution se limite alors à positionner l'objet et à déclencher sa chute. On peut noter également, qu'à cette distanciation dans la conduite de l'expérience, vient s'ajouter une distance supplémentaire : le dispositif étant complexe, la réalité sur laquelle travaille l'élève est alors la trace produite par l'instrument, le phénomène essentiel est alors l'allure de la trace, on a un glissement vers une phénoménographie (Beaufils et al., 1999, 1) qui n'est pas souhaité par l'enseignant.

Pour toutes les séances de travaux pratiques, nous avons déjà relevé que les aspects liés à la précision des mesures n'étaient pas abordés. Le graphe $x(t)$ n'est-il pas satisfaisant ? Alors le solide est mal tombé ! Y a-t-il des points aberrants ou une valeur de coefficient trop grande ? Alors il y a eu un problème et on peut utiliser des données préparées (nous retrouvons là des pratiques décrites par Nott et al., 1995).

Ces aspects nous conduisent directement à discuter de la contribution de ses activités à l'acquisition des démarches expérimentales. Bien évidemment, il n'est pas dans notre propos de vouloir conclure

sur le faible nombre de situations que nous avons ainsi observées, mais bien d'indiquer l'existence à notre avis d'une question majeure.

En effet, les activités des élèves mettent en jeu des savoir-faire d'habileté simple (fixer des électrodes ou des pinces crocodiles, déclencher une chute, essuyer ou peser des glaçons) qui ne sont pas spécifiquement relevées par l'enseignant. Parmi celles que le professeur prend en compte, nous avons noté :

- réaliser des montages électriques, utiliser des instruments de mesure : savoir-faire considéré comme acquis sur le matériel rencontré.
- mettre en œuvre et paramétrer une acquisition automatique : savoir-faire considéré comme un objectif d'apprentissage ;
- faire une représentation graphique (choisir une échelle, placer les points) : savoir-faire considéré comme acquis ;
- tracer une droite moyenne et déterminer les coefficients : savoir-faire considéré comme acquis.

Au regard de compétences attendues de plus en plus explicites, telles que celles « liées aux manipulations et aux mesures » présentées dans les programmes de seconde (B.O.E.N., 1999), il nous apparaît que celles mises en œuvre sont restées relativement limitées, les questions délicates sur les mesures n'étant pas abordées, et les guidages venant aplanir la conduite de protocoles un peu complexes ou nouveaux.

Ainsi, ces activités de manipulations et de mesures apparaissent comme isolées de l'ensemble des démarches expérimentales choisies par l'enseignant pour les travaux pratiques, elles sont mises en œuvre par les élèves pour elles-mêmes. De plus elles sont également partielles par rapport aux compétences liées aux manipulations et aux mesures données dans les programmes officiels.

C.5. DES EXPERIENCES QUANTITATIVES, POUR QUOI FAIRE ?

Dans les six séances de travaux pratiques, nous avons vu que la confrontation résultats expérimentaux - théorie représente une idée-force dans les activités proposées aux élèves.

Mais notre analyse a d'abord montré que la part de l'élève dans la globalité de la démarche restait très limitée, qu'il n'accédait pas à l'ensemble des étapes qui la constituent ni à leur articulation : le questionnement, le choix des dispositifs et des méthodes de mesure et d'analyse, la référence théorique restent à la charge de l'enseignant.

L'analyse que nous avons faite ensuite sur la validité scientifique des méthodes devant permettre une réelle confrontation, avec la rigueur et les enjeux que cela implique, a montré que l'exigence scientifique en était ignorée : en particulier, la prise en compte des incertitudes est absente des démarches de modélisation.

De plus, il est apparu que ces démarches autour de la modélisation, et en particulier la phase de "confrontation" se réduisaient chez les élèves à obtenir des valeurs numériques ou des représentations graphiques et, éventuellement, à constater que les écarts entre résultats expérimentaux et théorie restent "faibles" et acceptables, (c'est-à-dire qu'ils ne remettent pas en cause la conclusion attendue).

À l'écart entre les pratiques scientifiques et les expériences conçues par l'enseignant, s'ajoute donc un écart entre la construction par l'enseignant de la situation expérimentale parfois complexe et la simplicité, la limpidité de la situation dévolue aux élèves : les élèves ne connaissent pas les difficultés techniques qui ont été aplanies, ne discutent pas des conditions expérimentales ou des limites des appareils, etc. Leur contribution consiste essentiellement à réaliser le montage expérimental, obtenir les mesures, conduire leur exploitation mathématique pour établir une relation descriptive.

Cette part instrumentale de l'activité est donc elle-même réduite, et notre dernière analyse a montré que ceci était directement lié à l'utilisation des dispositifs, notamment lorsqu'il s'agit de dispositifs didactiques ad hoc.

Lors de l'entretien final (annexes 20 et 21) que nous avons conduit avec les enseignants à l'issue de ces séances de travaux pratiques, nous avons naturellement cherché à confirmer ces éléments, à savoir s'ils correspondent à des choix ou positions générales, et à savoir comment ces aspects apparemment contradictoires étaient perçus, analysés, ou contrôlés par les enseignants. Nous leur avons demandé de commenter et expliquer leur pratique à un niveau plus général, indépendamment des particularités et ce en nous appuyant sur des éléments généraux relatifs aux activités expérimentales bien connus des enseignants : la liste des objectifs assignés aux travaux pratiques (IGEN, 1996).

a) Les objectifs

En particulier, à la proposition « s'initier dans des situations concrètes à la démarche expérimentale : formuler une hypothèse, élaborer un protocole permettant de la tester, mettre en œuvre un protocole expérimental, analyser les résultats, tirer les conclusions », quels sont les commentaires ?

Les enseignantes sont plutôt favorables à ces objectifs mais notent qu'elles font peu pratiquer ce type de démarche à leurs élèves, essentiellement pour des raisons de temps. Par exemple :

F1-174 : Je suis pour, mais c'est pas facile à faire, je suis tout à fait pour. Quand on a le temps et puis quand ça tombe assez bien par rapport à ce que l'on souhaite faire parce que le cours avance et les contrôles et que ceci [...]

F2-124 : [...]" bon j'en ai fait un petit peu, j'ai essayé de faire, on va dire, quand tu es venue sur la vaporisation, la chaleur latente, j'avais fait un petit quelque chose là-dessus, c'était tout simple ! ils ont eu un mal fou, bon

Ces enseignantes indiquent également le caractère limité des situations qui restent "simples", et leurs difficultés à les concevoir, les construire :

F2-126 : [...] sur les forces, c'était tout bête "proposez et réalisez une expérience ou une série d'expériences permettant de retrouver la relation vue au collège $P = mg$ et précisez la valeur de g " [...]

F2-134 : (élaborer et mettre en œuvre un protocole) C'est quelque chose que j'aimerais bien faire plus souvent, c'est quelque chose que j'ai du mal à concrétiser, donc en terminale pour des raisons de temps parce que je crois que ça prend beaucoup plus de temps qu'un TP ordinaire, on va dire et autrement j'ai du mal à le rédiger quoi, à savoir comment amener les élèves à faire

Pourtant les deux reconnaissent bien l'intérêt pour les élèves de ces activités :

F2-138 : ben je dirais que en fait c'est la différence entre l'exécutant et l'intelligent entre guillemets parce qu'en fait les TP qu'on fait habituellement c'est des TP d'exécutants, je dis pas qu'il faut pas être scientifique pour les faire ça c'est pas vrai, il y a quand même des capacités scientifiques à utiliser mais ça va pas très très loin mais là c'est là qu'on va détecter quelqu'un qui est capable de pratiquer une démarche scientifique je pense [...] je pense que j'en fais pas assez

F1-174 : [...] parce que c'est là où je vois vraiment, j'arrive à voir leurs qualités en fait, tu vois, leur inventivité, [...] parce que quand tu leur dis, premièrement deuxièmement troisièmement faites ceci, bon ils le font, ils sont gentils, mais j'arrive à voir le soin qu'ils vont mettre dans l'élaboration du protocole et puis à réaliser après ensuite, l'organisation, l'entente aussi entre les élèves, il y a beaucoup de choses quoi, et j'aime bien mais je reconnais que je ne le fais pas très très souvent

Ces répliques montrent que l'intérêt des enseignants ne porte pas sur les articulations de la démarche, ses différentes étapes, mais sur les qualités que les élèves peuvent développer lors de la mise en œuvre des activités liées à la démarche expérimentale.

La question de la définition même d'une démarche scientifique est d'ailleurs soulevée : quand on étudie les exemples qu'en donne l'enseignante P2, c'est « choisir les grandeurs à mesurer » qui représente l'élaboration d'un protocole, utiliser un appareil "scientifique" nouveau, un support nouveau qui représentent la démarche :

F1-234 : Eh bien qu'ils apprennent quelque chose de nouveau, soit une démarche qu'on n'a pas faite, genre mettre un ordinateur de plus, tu vois, enfin apporter quelque chose de nouveau [...]

Nous retrouvons ainsi, en dehors du contexte de construction d'un TP particulier, l'écart avec la démarche scientifique que nous avons déjà relevé ; les enseignants ne sont pas, face aux élèves, dans une logique de scientifique mais bien dans une logique d'enseignement.

b) La raison des mesures

Mais alors la question du pourquoi fait-on faire des mesures, tant de mesures aux élèves dans l'enseignement de la physique se pose naturellement.

L'éventail des réponses apportées par les deux professeurs est très large et va de l'apprentissage de techniques manipulatoires, à l'apprentissage de concepts, à la prise en compte globale de l'élève etc. Nous reprenons quelques courts extraits des entretiens finals afin d'illustrer les potentialités que les enseignants accordent aux activités quantitatives.

- Des expériences quantitatives pour acquérir des techniques et maîtriser des outils :

F1-200 : Maîtrise technique d'un multimètre de base, d'un pHmètre en chimie, bon, c'est quand même important, on y passe du temps mine de rien, en seconde on y passe du temps, en terminale au début on y passe du temps, ça a rajouter

F1-290 : [...] sinon moi j'y vois souvent, pas toujours, l'occasion si tu veux de pratiquer l'expérimentation, la mesure n'étant pas forcément la finalité, tu vois d'arriver à Lf, c'était pas le plus important ; c'était tout ce qu'il y avait autour, comment on allait faire comment on allait, comment dire, utiliser le matériel dont on disposait pour le mieux, [...] c'est pas forcément le résultat numérique qui était le plus important [...]

- Des mesures qui s'inscrivent dans les démarches

F1-282 : Oui parce que je pense qu'il faut faire un peu, un peu des deux, c'est à dire pas seulement faire une mesure par-ci par-là et croire que cette mesure est universelle, tu vois qu'elle est reproductible, faut qu'ils aient un peu conscience justement de la difficulté de reproduire des mesures, de tirer, ce qu'on disait là, je sais plus, prendre conscience des difficultés des mesures et à partir d'une série de mesures essayer de vérifier une loi, de calquer un modèle etc. ce qui est quand même différent comme démarche. [...]

- Des mesures pour valoriser les élèves

F2-216 : [...]peut-être dire aux élèves "voyez avec des choses simples on peut retrouver les grandes valeurs de la physique" c'est à dire on n'a pas besoin d'être un grand scientifique pour trouver que $g = 9.81$

F2-220 : Mais bon c'est, non je crois que c'est, enfin, ils acceptent de trouver 10.5 ou 11 "oh ! oui bon c'est 10 ou 9.81 il y a pas de problème" oui c'est valorisant pour les élèves, je sais pas, oh je dis pas qu'ils sont fiers mais, "oui nous aussi on a trouvé ça", je pense que si on mesurait quelque chose dont ils n'ont jamais entendu parler, ils y attacheraient moins d'intérêt

- Des expériences quantitatives pour concrétiser, pour acquérir des connaissances :

F1-222 : Ah ! oui la notion de chaleur latente entre autres je pense que si on faisait pas les fameux TP de mesure de chaleur latente, ils nous les oublieraient systématiquement enfin bon, moi je pense

F1-224 : Oui mais ils ont pas fait attention jusque là, ils savent faire mais aux échanges d'énergie ils y ont pas fait attention, c'est un peu normal, donc ils se sont pas rendus compte que le fait que ça change d'état ça correspondait à un échange d'énergie, bon moi je pense que le fait de mesurer ça permet effectivement de mieux fixer [...]

F2-168 : [...] j'avais fait discuter les gens qui pensaient une chose et les gens qui pensaient le contraire, chacun avait essayé de donner ses arguments et puis je leur avais dit "bon maintenant puisque vous pensez ça, qu'est-ce que vous allez faire comme expériences pour convaincre les autres ?" donc ils avaient fait les expériences, puis "vous nous montrez les résultats et puis maintenant qu'est-ce qu'on obtient comme conclusion ?", (c'était assez intéressant mais bon, j'avais passé beaucoup de temps, beaucoup plus de temps que ce qu'il faudrait normalement passer sur la simple conservation de l'électricité dans un circuit série quoi,)

- Des mesures pour convaincre :

F1-288 : Bon pour certains c'est quand même important parce qu'ils ont quelques fois tendance à pas croire ce qu'on leur raconte quand même ! ils ont le droit hein !

F1-290 : Oui, une espèce de preuve entre guillemets [...]

F2-228 : Oui, oui parce qu'il y a des moments où je dis "mais vous gobez tout" et non je crois que, quand les élèves pour lesquels, souvent en terminale, quand ils ont une bobine sur laquelle R est noté, ceux qui ont pas R marqué sur leur bobine "eh ben oui mais nous comment on peut savoir si c'est vrai ?" [...]

F2-206 : (faire des mesures) ça donne une image de sérieux, je pense que ça donne aux élèves une image de sérieux, beaucoup plus que de leur dire "qu'est-ce qui va se passer si vous faites ça [...]

Dans le contexte de la classe, les activités quantitatives menées en classe n'ont pas pour les enseignants le statut du mesurage pour les scientifiques, et donc en cohérence les incertitudes sur les mesures n'ont pas de place :

F1-302 [...] c'est pour ça que, faut pas attacher, moi je pense une importance extrême à ce fameux résultat numérique de la fin du TP [...]

Si aucune des deux n'introduit les incertitudes sur les mesures, par contre les deux font calculer des écarts (relatifs) entre valeur obtenue et résultat attendu et discutent avec les élèves des chiffres significatifs :

f1-168 : pas en première (calcul d'incertitudes), non, non, non [...] c'est vrai que j'aime bien quand même quand on fait une vérification d'une valeur connue ou autres, de manière générale, j'aime bien quand même qu'ils aient une idée, au moins du pourcentage d'erreur par rapport à ce qui était attendu

F2-114 : Ça je fais très peu, très peu, je fais pas les incertitudes, j'en parle peut-être pour expliquer finalement le résultat qu'ils obtiennent, je parle un petit, je leur fais calculer un petit peu le pourcentage, [...] j'ai jamais, je collecte jamais l'ensemble des résultats pour faire un traitement statistique, [...]

Pour les deux enseignantes, les raisons qui justifient la mise en œuvre des expériences quantitatives en TP sont très variées (raisons pédagogiques, raisons d'enseignement de la physique, raisons liées

à la formation etc.), très imbriquées. Elles ont en commun, de ne pas prendre en référence explicite les activités du physicien, mais d'avoir un point de convergence : *l'élève*. Ce sont des références professionnelles, d'enseignant de physique, qu'elles ont dévoilées, détaillées. Toutes les activités menées concourent au "bon" déroulement d'ensemble, à la bonne organisation pour l'acquisition des connaissances du programme par les élèves.

c) Rôle des résultats obtenus par les élèves dans les TP

Dans ces constructions complexes où l'élève est central, les démarches mises en place par les enseignants apparaissent alors proches de la "monstration" (Johsua et al., 1993) : les appareils ou dispositifs sont adaptés de façon à laisser la part la plus grande aux manipulations et mesures en relation étroite avec le phénomène à étudier, les activités sont orientées de façon à faire obtenir les valeurs et les graphiques escomptés. Les élèves doivent voir ce qu'il y a à voir sans être perturbés par des aspects techniques et doivent obtenir la valeur numérique ou la courbe "institutionnelle". Ce qui est particulier et intéressant ici c'est que dans ces situations de travaux pratiques, cette monstration est en quelque sorte dévolue à l'élève !

Cette démarche est particulièrement claire lorsque l'enseignant attend que les élèves construisent un référent pour son enseignement, mais, même quand l'activité est présentée sous l'étiquette "vérification", le déroulement peut être analogue. On peut noter également que les graphes jouent bien un double rôle de "rendre visible, concret" un phénomène complexe, et de rendre compte de ses propriétés.

F1-214 : [...] ils vont dire "ah ben oui l'autre fois on l'a vu", vu, c'est bien, on a vu, on a vu faire, maintenant, oh si en quantitatif aussi parce que même quand ils font la loi d'Ohm en seconde tu vois, $U = RI$, de base $U = RI$, alors ils vont tracer leur graphe, bon normalement s'ils ont pas pigé que U est pas proportionnel à I ! c'est qu'ils ont fait exprès [...]

Nos résultats sont en concordance avec les conclusions de différentes recherches sur les pratiques des enseignants en science : les observations (ici au sens large qui comprend les graphes) occupent une place fondamentale dans l'apprentissage (Haslam et al. 1998). Dans cette perspective, les résultats ne doivent pas être éloignés des résultats théoriques et les options des enseignants peuvent alors différer : discuter du résultat, truquer l'expérience (Nott et al. 1995 ; Fairbrother et al. 1997), ne pas faire l'expérience :

F1-284 : [...] pourquoi je l'ai pas fait ? parce que c'était nul mes résultats, [...], je me suis dit je montre pas ça, je fais pas faire ça aux élèves ils vont pas, en seconde ils sont pas capables de, comment te dire, passer par dessus la difficulté de la mesure pour arriver à sortir un résultat, donc je l'ai pas fait

d) Choix entre expériences quantitatives et qualitatives

Une question qui se pose alors naturellement est pourquoi les enseignants, malgré toutes les difficultés qu'ils rencontrent pour élaborer une situation expérimentale, ne construisent-ils que peu de séances où les activités des élèves s'appuient sur des expériences qualitatives ? À cette question abordée dans l'entretien final, les réponses montrent qu'ils reconnaissent la supériorité de celles-ci sur les expériences quantitatives pour l'acquisition des concepts :

F1-250 : non mais c'est pas du tout le même rythme quoi, c'est à dire que, souvent quand c'est du qualitatif on va découvrir ou vérifier, peu importe, plus de choses, puisqu'on va y passer peut-être moins de temps sur chaque phénomène puisqu'il y a pas le côté mesure éventuellement graphe etc., donc il faut gérer le temps différemment[...]

Mais, la gestion de la classe devient alors différente :

F1-262 : voilà, on a globalisé nos résultats pour récupérer les lents, freiner un peu ceux qui font trop vite sans approfondir aussi, [...]

et l'élaboration des scénarios autour du qualitatif est difficile :

F2-206 : [...]peut-être que moi aussi, je pense que j'aurais sûrement envie d'en faire moins (de TP quantitatifs) mais je ne sais pas, mais je sais pas comment faire autrement, c'est pour ça que je parle de ma formation

F2-212 : d'évidence on va dire mathématique, voilà c'est à dire je veux dire que les mathématiques c'est plus facile à gérer que la physique, c'est, bon, c'est voilà, je sais pas ou mal faire autrement, mais c'est vrai que je pourrais faire plus de qualitatif et plus de prévisionnel sûrement, bon, plus de formulation d'hypothèse par exemple.

Au terme de cette étude, nous mesurons donc l'écart, voire la séparation, entre les activités scientifiques de référence et les activités expérimentales élaborées pour l'enseignement. Très clairement, les démarches conçues par les enseignants, qu'elles soient parfois déductives ou souvent inductives, sont des démarches pédagogiques et non des démarches scientifiques, les expériences et méthodes utilisées sont des "monstrations" et non des "démonstrations". Les enseignants ne s'y trompent pas.

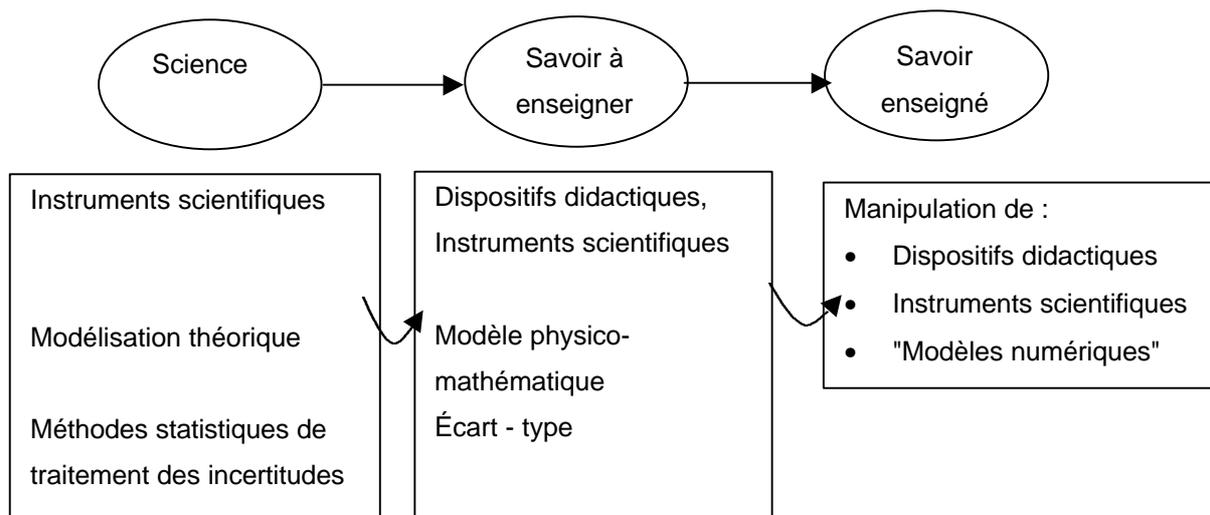
La question résiduelle essentielle qui reste alors est bien celle de la reconnaissance du caractère scientifique : quels sont les critères de scientificité qui sont implicitement partagés entre les enseignants, les élèves, la sphère savante ? Quels sont, pour reprendre les termes que nous avons utilisés dans la première partie, les éléments qui, invariants dans cette transposition de fait, permettent de reconnaître dans ces activités, quelque chose de scientifique ?

La réponse découle directement des différentes analyses et, in fine, des chapitres C3 et C4 où deux critères apparaissent clairement : la présence et la manipulation d'instruments et le caractère "chiffré" des résultats, c'est-à-dire une sorte de "quantitatif en soi" (peu importe la valeur, ce qui est important est de pouvoir quantifier).

Si nous reprenons le schéma des trois niveaux impliqués dans la transposition, nous pouvons ici faire un dernier commentaire.

Si l'on examine la transposition relative aux démarches et aux méthodes scientifiques, on constate facilement leur présence dans les textes ou discours officiels mais elles ne passent pas dans les pratiques enseignantes : notre analyse montre que, par exemple, le traitement statistique des

incertitudes (même réduit à l'utilisation de l'écart-type) n'a pas de rôle dans les pratiques pédagogiques et ne "passe pas" auprès des enseignants (Voir Séré et al., 1998). Les instruments et dispositifs mettent en jeu des technologies complexes mais apparaissent sous des formes spécifiques au laboratoire d'enseignement où les manipulations ne demandent que des gestes élémentaires ou quelques savoir-manipuler à acquérir ; la transposition opère à l'évidence sur le matériel (Calmettes, 1996) qui deviennent pour une bonne part des dispositifs "didactiques" (dans le sens classique "ancien" du terme) ad hoc. Enfin, le terme "modélisation" montre un glissement tout à fait significatif : du sens fort de l'élaboration-invention d'un modèle permettant d'interpréter des observations ou mesures (tel qu'il apparaît dans des disciplines scientifiques telles que l'astrophysique la physique atomique ou l'électronique), il passe dans le savoir à enseigner sous une forme réduite : le modèle n'est plus qu'une représentation physico-mathématique dans les programmes actuels (« modélisation des oscillateurs : un même formalisme », classe de Terminale S, B.O.E.N., 1995) - glissement renforcé d'ailleurs par l'apparition des moyens informatiques dits de modélisation déjà cités (Trigeassou, 1988) ; en dernière étape, ce sont les aspects numériques qui l'emportent dans la salle de travaux pratiques. L'aspect prédictif du modèle est absent, et l'on peut alors se demander quel sens les élèves peuvent construire du fonctionnement de la physique.



CONCLUSION

CONCLUSION

Constatant l'apparente contradiction entre l'affirmation régulièrement réitérée dans les textes officiels d'un enseignement de la physique proche de la science (en particulier dans sa dimension expérimentale) et les pratiques dans les classes (qu'elles soient classiques ou innovantes en matière d'introduction des instruments informatisés), nous avons élaboré notre projet de recherche en le centrant sur l'enseignant, notre objectif étant de comprendre quelle logique, quelle cohérence, est à la base de l'élaboration des activités quantitatives proposées aux élèves dans les travaux pratiques.

L'étude de l'écart indiscutable entre des pratiques scientifiques et les activités des élèves en travaux pratiques était clairement l'indicateur d'une transposition, opérée de fait, entre une référence implicite à la science et les savoirs et savoir-faire des programmes (à enseigner) et, in fine, ce avec quoi les élèves sont en contact. Dans le cadre des travaux pratiques où l'élève est actif et se trouve confronté à la résistance de l'expérience, ce dernier état du savoir - le savoir enseigné - apparaît donc directement lié à l'interaction entre l'élève et le milieu conçu par l'enseignant pour permettre les apprentissages souhaités.

Conformément à notre approche, nous avons donc essayé de caractériser la transposition (les écarts et ses "invariants") et de comprendre la logique d'élaboration des situations de travaux pratiques. Compte tenu de l'ampleur de la question et de l'absence de travaux antérieurs dans ce domaine, nous avons mis en place une méthodologie fondée sur des études de cas, à base d'entretiens semi-directifs avec les enseignants, d'analyse critique de documents et d'observations de classes. Nous avons choisi d'analyser ainsi des séances de travaux pratiques de classe de Première scientifique portant sur des sujets classiques et pérennes et dont certaines mettent en œuvre des instruments informatisés.

Bien évidemment, le faible nombre de situations, et en particulier la limitation du nombre d'enseignants sur lesquels l'étude a finalement porté, ne permettent pas d'affirmer la généralité de nos propos. Les démarches et outils mis au point dans ce travail doivent pouvoir maintenant être réutilisés pour une extension de l'étude. Cela dit, nos choix d'enseignants et de sujets de travaux pratiques conduisent à des situations classiques et reconnaissables, et "l'élimination" des jeunes enseignants initialement pressentis ne fait en réalité que renforcer nos observations. L'écart considérable entre les pratiques scientifiques et les activités des élèves que nous avons trouvé dans notre étude n'apparaît pas comme un "point aberrant" mais bien comme l'indiscutable indication d'un paramètre encore mal étudié : *enseigner la physique n'est pas faire de la physique au sens de l'activité scientifique de recherche, et un enseignant de physique n'est pas un physicien - chercheur*. Loin d'y trouver une formulation négative, nous y voyons l'affirmation d'une véritable profession, exigeant des

compétences spécifiques chez les enseignants "maîtres d'œuvre" et qu'il convient d'expliciter et de valoriser, en particulier au niveau des formations initiales. Sans doute convient-il ici de rappeler ce que nous disions en conclusion de la précédente partie : si la confusion des genres "scientifique" et "pédagogique" est entretenue par la sphère officielle (et ce depuis l'introduction des méthodes "positives" de la réforme de 1902), les enseignants ne s'y trompent pas !

Nous ne voulons pas ici reprendre de façon exhaustive les différents résultats que nous avons déjà détaillés dans les chapitres de synthèse des différentes parties. Nous voulons esquisser une mise en perspective de l'ensemble, éclairer certains aspects qui nous paraissent fondamentaux, porteurs de question de recherche à approfondir ou d'implications sur la formation des enseignants, notamment.

Partant de l'idée d'un écart entre pratique scientifique et activités des élèves, y compris dans le cas de situations a-didactiques en travaux pratiques qui seraient le lieu privilégié de conduite d'activités d'investigation scientifique propres à l'émergence de nouveaux savoirs ou savoir-faire, nous avons en fait trouvé une nette rupture. Les activités étudiées sont finalement très fortement didactiques et, pour ce qui concerne les démarches et les méthodes, l'absence de référence scientifique et d'exigence de rigueur scientifique apparaissent clairement dans la mise en relation du monde des phénomènes et celui des théories et modèles.

Dans notre première partie, la grille d'analyse que nous avons été amené à adopter contient bien cette information. Les éléments qui apparaissent sont centrés sur la planification et la gestion de contraintes institutionnelles et sur des raisons liées à un modèle d'enseignement.

L'analyse que nous avons faite montre la complexité du système que gèrent les enseignants. De la prise en compte des programmes à la planification de l'enseignement et à l'évaluation des apprentissages, ils sont amenés à organiser des activités des élèves pour chaque séance en gérant des contraintes particulières aux activités expérimentales (disponibilité, sécurité, fiabilité du matériel, nécessaire planification de la séance etc.). Les enseignantes que nous avons interrogées sont bien des enseignants constructeurs, enseignants ingénieurs, qui gèrent l'ensemble et prennent en compte tous ces aspects de la situation lorsqu'elles élaborent les séances de travaux pratiques. On peut rappeler que les contraintes sont telles que les raisons scientifiques sont en arrière-plan.

Dans cette grande cohérence et cette expertise professionnelle, l'élève n'est évidemment pas absent. Si, lors de la planification, ce dernier apparaît au niveau d'un modèle générique représentatif de la classe, il est évident aussi que cette planification inclut les possibilités d'ajustement "en temps réel" permettant de tenir compte de cas particuliers, soit individuels, soit plus globaux (élèves fatigués, agités, problème de manipulation imprévu, matériel défectueux pour tel binôme, etc.).

De ce point de vue, il nous semble à l'issue de ce travail que le concept de "milieu" tiré des travaux de la didactique des mathématiques est bien adapté et permet de rendre compte de ce qui se passe dans le cadre des travaux pratiques. En nous appuyant sur ce concept, nous avons pu définir un axe d'analyse qui suive la mise en place de situations expérimentales pour l'apprentissage. Plus qu'une simple étiquette, adopter cette terminologie, c'est adopter un certain regard sur les pratiques des enseignants, regard qui nous paraît fécond et riche d'implications lorsqu'il s'agit de penser les formations des futurs enseignants. Nous y reviendrons dans un prochain paragraphe.

Conclusion

Au niveau des démarches et de la manipulation des instruments, nous avons montré comment les activités de travaux pratiques sont construites par les enseignants dans l'objectif de transmettre des connaissances et de favoriser leur acquisition par les élèves. Le milieu expérimental élaboré est riche en instruments, mais l'activité est planifiée, et les guidages sont très forts, même s'ils sont subtils et n'apparaissent pas à l'élève.

S'il y a une transposition de fait, c'est-à-dire l'existence d'un ensemble de savoirs, savoir-faire, méthodes, démarches, etc. qui fonctionnent dans le cadre de l'enseignement de physique tout en étant différent de la science à laquelle il est censé initier, il nous semble qu'on ne peut parler de transposition pour les démarches elles-mêmes : rien des caractéristiques scientifiques ne se retrouvent dans celles qui sont mises en œuvre. L'affirmation d'une concordance ne serait à notre avis que le fruit d'une illusion "d'optique" : d'un point extérieur et distant, on peut en effet confondre l'activité des élèves dans les travaux pratiques à celle d'un scientifique dans son laboratoire du fait de la présence d'instruments, de mesures et de calculs. Vu des élèves, et vu des enseignants, il est clair que ce n'est pas cela. Notre affirmation semble peut-être n'être étayée ici que par quelques cas, mais c'est ainsi que nous interprétons les résistances des enseignants face aux innovations ou évolutions qui ont tenté de mettre en avant des critères scientifiques : l'ordinateur outil d'investigation scientifique avec les implications analysées notamment par D. Beaufils et A. Guillon, les différentes tentatives d'introduction de méthodes d'analyse des incertitudes expérimentales, la proposition de nouveaux enjeux et modalités pédagogiques pour les travaux pratiques.

Finalement, ce qui apparaît comme élément de reconnaissance "scientifique" est le recours à l'instrumentation et au quantitatif. Même si une large partie des instruments utilisés dans les salles de travaux pratiques sont conçus spécifiquement pour l'enseignement (ensemble soumis lui-même à une large transposition qu'il conviendrait d'étudier plus finement), le fait même de proposer des *activités instrumentées* est une marque de "science". Pour ce qui concerne le quantitatif, nous avons vu que le "numérique" apparaissait bien comme essentiel, et que le passage d'un statut purement calculatoire (souvent vécu par les élèves) à un statut "scientifique" (objectif de l'enseignant) est l'attribution, symbolique à double titre, d'un identificateur et d'une unité. Le rôle du quantitatif est donc ici très clair : s'il apparaît comme le moyen de "concrétiser" l'activité scientifique par des manipulations conséquentes d'objets et d'instruments, le quantitatif est, plus fondamentalement, un critère de reconnaissance scientifique ! En résumé, c'est le caractère instrumental, et non expérimental, qui apparaît au premier plan : les instruments comme "inscripteurs" (Latour et al., 1979), à la fois comme objets à manipuler (dans le "monde des objets") et comme fournisseur de valeurs numériques.

Au-delà de ces éléments particuliers, ce sont donc des questions de didactique théorique qui sont posées : le choix du cadre théorique de la transposition, pensé aussi comme une mise à l'épreuve, conduit donc à voir les objets ou système sur lesquels elle opère, ainsi que ses limites d'application : jusqu'où peut-on parler de transposition ?

Enfin, il nous semble que les enjeux sont ici importants. Nous avons glissé que ni les enseignants, ni les élèves, ne s'y trompaient dans la duplicité du recouvrement "science" et "enseignement de la science". Mais peut-être convient-il d'être plus prudent. Car entretenir la confusion peut conduire à démotiver certains élèves qui, croyant avoir à faire à des démarches scientifiques, les trouveront

Conclusion

incompréhensibles et donc inaccessibles, ou les jugeront incohérentes et préféreront la rigueur des mathématiques. Le cadre des "options" et des "travaux pratiques encadrés" (TPE), nous paraît être propice à l'initiation des élèves aux démarches scientifiques, ceci à la condition que l'objectif de développement d'attitudes scientifiques des élèves soit premier devant celui d'acquisition de contenus.

Pour ce qui concerne les enseignants et leur formation, qu'elle soit initiale ou continuée, la reconnaissance d'un caractère professionnel et des compétences de gestion-organisation-construction est un enjeu majeur ; à côté des travaux qui ont contribué à la réflexion sur la formation des maîtres - leurs représentations épistémologiques, les activités de résolution de TP-problème, etc - ce point nous paraît particulièrement important. Il est sans nul doute prématuré de penser à concrétiser notre position en termes de formation, mais il est indiscutable que, comme il est fait en mathématiques (Robert A., 1999), la didactique des sciences doit prendre en compte *l'étude des pratiques des enseignants* et articuler des problématiques avec des questions de formation.

BIBLIOGRAPHIE

1. ARSAC, G., L'évolution d'une théorie en didactique : l'exemple de la transposition didactique, *Recherches en didactique des mathématiques*, 1992, 12, n°1, p.7-32
2. BACHELARD, G., *Essai sur la connaissance approchée*, 1987, Paris : Vrin, 310p.
3. BARDIN, L., *L'analyse de contenu*, Paris : PUF, 1993, 291 p.
4. BEAUFILS, D., *L'ordinateur outil de laboratoire dans l'enseignement des sciences physiques - Propositions pour la construction d'activités - Première analyse des difficultés et des compétences requises chez les élèves du lycée*, Thèse : didactique de la physique, Paris VII, 1991, 402 p.
5. BEAUFILS, D., L'ordinateur outil d'investigation scientifique au lycée : propositions et implications didactiques, *Didaskalia*, 1993, n°1, 123-130.
6. BEAUFILS, D., RICHOUX, H., *Intégration de l'ordinateur outil d'investigation scientifique dans l'enseignement des sciences physiques au lycée*, Paris : INRP, 1996, 130 p., (Collection Documents et travaux de recherche en éducation, n°20).
7. BEAUFILS, D., et al., *Images et nouvelles technologies : des activités expérimentales dans l'enseignement de la physique*, Paris : INRP, 1997, 138 p., (Collection Documents et travaux de recherche en éducation, n°27).
8. BEAUFILS, D. et al., Quelques éléments de réflexion à propos des exercices à caractère expérimental. In : *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie : quels enjeux d'apprentissage*, Caen : CRDP, 1999, p. 101-116.
9. BEAUFILS, D., RICHOUX, H., CAMGUILHEM, C., Savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés dans des activités de travaux pratiques de physique, *Aster*, 1999, 28, p. 131-147.

10. BECU-ROBINAULT, K. et TIBERGHIE A., Un exemple d'articulation entre recherches d'après manuels et programmes et recherches menées dans le cadre d'un enseignement réel, *In* : *Actes du cinquième Séminaire de Recherche en Didactique des Sciences Physiques* / ed. G. Mary et W. Kaminsky , Reims : Université de Reims et IUFM, 1995, pp.71-85.
11. BECU-ROBINAULT, K., *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse : didactique de la physique, Lyon 1, Université Claude Bernard, 1997, 242 p.
12. BELHOSTE, B & al., *Les sciences au lycée - Un siècle de réformes des mathématiques et de la physique en France et à l'étranger*, Paris : INRP, Vuibert, 1996, 330 p.
13. BLANCHET, A., GOTMAN, A., *L'enquête et ses méthodes : l'entretien*. Paris : Nathan, 1996, 125 p. (collection Nathan Université).
14. BOEN, *Nouveaux Programmes des classes de Seconde, Première et Terminale de lycée*, Paris : CNDP, 1992, (BOEN, Hors série du 24/09/92, I et II)
15. BOEN, *Nouveaux Programmes des classes de Seconde*, Paris : CNDP, 1999, (BOEN, Hors série du 12/08/99)
16. BRENASIN, J., WEIL-BARAIS, A., *Étude de l'impact de l'utilisation d'outils informatiques par les élèves en sciences physiques*, Paris : MEN, LIREST, 1994.
17. BROUSSEAU, G., Fondements et méthodes de la didactique des mathématiques, *Recherches en didactique des mathématiques*, 1986, 7, n°2, p. 33-105.
18. BROUSSEAU, G., Le contrat didactique : le milieu, *Recherches en didactique des mathématiques*, 1988, 9, n°3, p.309-336.
19. CALMETTES, B., Transposition didactique, une étude de cas en physique appliquée, *In* *Ates du 6^e séminaire national de recherche en didactique de la physique, de la chimie et de la technologie*, Lyon : LIRDHST, 1998, p.43-57.
20. CHEVALLARD, Y., *La transposition didactique - du savoir savant au savoir enseigné.*, Grenoble : La pensée sauvage, 1991, 240 p
21. COMITI, C., GRENIER, D., L'observation, outil de recherche pour la modélisation de phénomènes didactiques, *In* *Séminaire Recherche/Réflexion/Interaction*, Grenoble : IUFM, 1994, pp.55-72

22. COMITI, C., GRENIER, D., MARGOLINAS, C., Niveaux de connaissances en jeu lors d'interactions en situation de classe et modélisation de phénomènes didactiques, *In Différents types de savoirs et leur articulation / G.Arsac & al.*, Grenoble : La pensée sauvage, 1995, p. 93-127.
23. COUCHOUROU, M., VIENNOT, L., COURDILLE, J.-M., Les habitudes des enseignants et les intentions didactiques des nouveaux programmes d'électricité en classe de quatrième, *Didaskalia*, 1996, n°8, p. 81-96.
24. De KETELE, J.-M., ROEGIERS, X., *Méthodologie du recueil d'informations*, Bruxelles : De Boeck Université, 1991.
25. DESAUTELS, J., LAROCHELLE, M., About the epistemological posture of science teachers, *In Connecting Research in Physics Education with Teachers Education / A. Tiberghien, L. Jossem, J. Barojas*, Ohio : ICPE commission, 1996.
26. DUREY, A., MARTINAND, J.-L., Un analyseur pour la transposition didactique entre pratiques de références et activités scolaires, *In La transposition didactique à l'épreuve / G. Arsac et al.*, Grenoble : La pensée sauvage, 1992, p. 73-104.
27. DUSSEAU, J.M., FRÉCHENGUES, P., Introduction de l'électron dans l'enseignement secondaire français, vue à travers quelques manuels, *Didaskalia*, (à paraître).
28. FAIRBROTHER, R., HACKLING, M., COWAN, E., Is this the right answer ? *Int. J. Sci. Educ.*, 1997, 19, n°8, p. 887-894.
29. GIL-PEREZ, D., PESSOA de CARVALHO, A.M., Physics teacher training : analysis and proposals, *In Connecting Research in Physics Education with Teachers Education / A. Tiberghien, L. Jossem, J. Barojas*, Ohio : I.CPE commission, 1996.
30. GIL-PEREZ, D., Qué hemos que saber y saber hacer los profesores de ciencias ? *Ensenanza de la ciencias*, 1991, 9, p. 69-77.
31. GIUSEPPIN, M., Place et rôle des activités expérimentales en sciences physiques, *Didaskalia*, 1996, 9, p.107-118.
32. GUILBERT, L., MELOCHE, D., L'idée de science chez des enseignants en formation : un lien entre l'histoire des sciences et l'hétérogénéité des visions ?, *Didaskalia*, 1993, 2, p. 8-30.

33. GUILLON, A., *Étude épistémologique et didactique de l'activité expérimentale en vue de l'enseignement et de l'apprentissage des démarches du physicien dans le cadre des travaux pratiques de première et deuxième années d'université*, 193 p., Thèse : didactique de la physique, Paris XI, 1996.
34. GUILLON A., Démarches scientifiques en travaux pratiques de physique de DEUG à l'université de Cergy-Pontoise, *Didaskalia*, 1995, n°7, p. 113-127.
35. HASLAM, F., GUNSTONE, R. The influence of teachers on student observation in science classes, *In Annual Meeting of the National Association for research in Science teaching*, San Diego, 1998.
36. HELLINGMAN, C., A trial list of Objectives of Experimental Work in Science Education, *European Journal of Science Education*, 1982, 4, n°1, p. 29-43.
37. HEWSON, P., OLSEN, T., Qualitative physics and student's ideas : a physics teacher's story, *International Journal of Science Education*, 1994, 16, n°5, p. 563-573.
38. HIRN, C., *Transformations d'intentions didactiques par les enseignants : le cas de l'optique élémentaire en classe de 4^e*, 149 p., thèse : didactique des sciences physiques, Paris VII., 1998.
39. IGEN, *La place de l'expérimental dans l'enseignement de la physique et de la chimie* / Inspection Générale de l'Éducation Nationale - Groupe de Physique et Chimie, 1996, (reprographie, diffusion MENRT, 11 p.).
40. IGEN, *Évaluation des capacités expérimentales* / Inspection Générale de l'Éducation Nationale - Groupe de Physique et Chimie, 1998, (reprographie, diffusion MENRT, 7 p.)
41. IGEN (collectif), *Activités expérimentales des élèves en physique-chimie : quels enjeux d'apprentissage*, Caen : CRDP, 1999, 140 p.
42. INRP-LIREST (collectif), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences* / ed. J.-L. Martinand, Paris : INRP, 1992, 262 p., (Collection Didactique des disciplines).
43. INRP-LIREST (collectif), *Nouveaux regards sur l'enseignement et l'apprentissage de la modélisation en sciences*, Paris : INRP, 1994, 134 p., (Collection Didactique des disciplines).
44. ISRAËL, G., *La mathématisation du réel*, Paris : Seuil, 1996, 366p.

45. JOHSUA, S., DUPIN, J.-J., *Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques*. Paris : PUF, 1993, 422 p. (Collection Premier cycle)
46. JOHSUA, M.-A., JOHSUA, S., Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique (première partie), *Recherche en didactique des mathématiques*, 1987, 8, n°3, p. 231-266.
47. JOHSUA, M.A., JOHSUA, S., Les fonctions didactiques de l'expérimental dans l'enseignement scientifique, *Recherches en didactique des Mathématiques*, 1988, 9, n°1, p. 5-30.
48. JOURNEAUX, R., SERE, M.-G., WINTHER, J., La mesure en terminale scientifique, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1995, 779, p.1925-1945.
49. LAKIN, S., WELLINGTON, J., Qui enseignera l'épistémologie des sciences ? Conceptions d'enseignants sur la science et conséquences pour l'enseignement des sciences, *Aster*, 1994, 19, p.175-193.
50. LARCHER, C., et al., Des TP différents pour des enjeux différents, *In Activités expérimentales des élèves en physique-chimie : quels enjeux d'apprentissage*, Caen : CRDP, 1999, p.7-26.
51. LATOUR, B., WOOLGAR, S., *La vie de laboratoire – la production de faits scientifiques*, Paris : La découverte, 1988, 300 p.
52. LUC, C., DUREY, A., Modèle et modélisation dans les séquences de travaux pratiques sur le haut-parleur en classe de seconde, *Didaskalia*, 1997, 11, p. 39-72.
53. MARTINAND, J.-L., *Contribution à la caractérisation des objectifs de l'initiation aux sciences et techniques*, Thèse d'état : sciences de l'éducation, Paris IX., 1982.
54. MERCIER, A., Le traitement public d'éléments privés du rapport des élèves aux objets de savoir mathématiques, *In Différents types de savoirs et leur articulation / G.Arsac & al.*, Grenoble : La pensée sauvage, 1996, p.129-144.
55. MILLAR, R., LE MARECHAL, J.F., BUTY, C., & TIBERGHIE, A. A 'map' of labwork: Developing a tool for exploring the nature and effectiveness of labwork in science education (submitted).
56. MILLAR, R., LE MARÉCHAL, J.F., BUTY, C., A MAP of the variety of labwork", *Labwork in Science Education - Working Paper 1*, 1998, ISBN 0-904-42191-0.

57. MILOT, M-C., BEAUFILS, D., Des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation d'instruments informatisés en physique-chimie, *In Activités expérimentales des élèves en physique-chimie : quels enjeux d'apprentissage*, Caen : CRDP, 1999, p. 117-140.
58. NOTT, M., SMITH, R., « Talking your way out of it », « rigging » and « conjuring » : what science teachers do when practicals go wrong, *Int. J. Sci. Educ.*, 1995, 17, n°3, p.399-410.
59. OLSEN, T., HEWSON, P., LYONS, L., Preordained science and student autonomy : the nature of laboratory tasks in physics classrooms, *Int. J. Sci. Educ.*, 1996, 18, n°7, p.775-790.
60. PERRIN-GLORIAN, M-J., Théorie des situations didactiques : naissance, développement, perspectives, *In Vingt ans de didactique des maths en France / Artigue, M, et al.*, Grenoble : La pensée sauvage, 1994, p. 97-147.
61. PLANTIN, C., Le trilogue argumentatif, *Langue française*, 1996, n°112, p.9-30.
62. POSTIC, M., DE KETELE, J.-M., *Observer les situations éducatives*, PUF Paris, 1988.
63. PSILLOS, D., NIEDDERER, H., SÉRÉ, M.-G., Les principaux résultats des études de cas : l'efficacité des travaux pratiques, *Labwork in Science Education - Working Paper*, document 8, ISBN : 2-912101-06-9, 1999.
64. RICHOUX, H., Quels sont les rôles des expériences quantitatives dans l'enseignement de la physique au lycée ?, *In Actes du 6^e séminaire national de recherche en didactique de la physique, de la chimie et de la technologie*, Lyon : LIRDHST, 1998, p. 243-249.
65. RICHOUX H., et al., Évaluation des savoirs et savoir-faire associés à l'utilisation de moyens informatisés dans les classes scientifiques du lycée, *In Actes des 8^e Journées nationales Informatique et Pédagogie des Sciences Physiques*, Paris : UdP-INRP, 1998, p.151-156.
66. ROBARDET, G, *Didactique des sciences physiques et formation des maîtres. Contribution à l'analyse d'un objet naissant*, 417p, Thèse : didactique des sciences, Grenoble, 1995.
67. ROBERT, A., Recherches didactiques sur la formation professionnelle des enseignants de mathématiques du second degré et leurs pratiques en classe, *Didaskalia*, 1999, 15, p.123-157.
68. SÉRÉ M.G., JOURNEAUX R., WINTHER J., Enquête sur la pratique des enseignants dans le domaine des incertitudes, *Bulletin de l'Union des Physiciens*, 1998, 801, p.241-254.

69. TIBERGHIE, A., Transposition didactique, cas de la physique, *In La transposition didactique en mathématique, physique et biologie*, Lyon : LIRDIS, 1989, p.37-57.
70. TIBERGHIE, A., Modeling as a basis for analyzing teaching - learning situations, *Learning and instructions*, 1994, 4, p.71-87.
71. TIBERGHIE, A., MEGALAKAKI, O., Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy, *European Journal of Psychology of Education*, 1995, n°4, p.369-383.
72. TIBERGHIE, A., LE MARÉCHAL, J.-F., BUTY, C., & MILLAR, R. An analysis of labwork tasks used in science teaching at upper secondary school and university levels in several European countries. (submitted)
73. TOCHON, F. À quoi pensent les enseignants quand ils planifient leurs cours ?, *Revue française de pédagogie*, 1989, n°86, p.23-33.
74. TRIGEASSOU, J.-Cl. *Recherche de modèles expérimentaux assistée par ordinateur*, Paris : Tec&Doc, Toulouse : L&I, 1988, 370 p.
75. TSOUMPELIS, L., GRÉA, J., Essai d'application de la théorie des situations en sciences physiques. Apprentissage de la concentration molaire en classe de Première S, *Recherche en didactique des mathématiques*, 1995, 15, vol.2, p.63-108.
76. UNESCO (collectif) *L'évaluation des travaux pratiques dans l'enseignement des sciences à l'école*, in *Innovations dans l'enseignement des sciences et de la technologies*, UNESCO, III, p.43-67, 1976.
77. WINTHER, J., *Étude didactique de l'utilisation de l'informatique pour la modélisation et la manipulation de modèles en sciences physiques*, Thèse : didactique de la physique, Paris XI. 1992.

RESUME

L'importance donnée aux expériences quantitatives - mesurage et analyse - dans l'enseignement de la physique au lycée soulève de nombreuses questions. Notre recherche a alors porté sur des pratiques d'enseignants pour repérer et caractériser les éléments intervenant dans l'élaboration des travaux pratiques.

La première partie est consacrée à la problématique et à la méthodologie. Notre cadre théorique est double puisque nos questions sur les critères de scientificité relèvent de la transposition tandis que celles sur la construction de la séquence relèvent de la théorie des situations et du milieu. Nous explicitons aussi notre choix d'études de cas ainsi que la méthodologie à base d'entretiens d'enseignants et d'observations de classe.

Dans la deuxième partie nous avons élaboré une grille d'analyse pour nos données qui nous a permis d'établir que les enseignants n'indiquent aucune pratique de référence scientifique et que, dans la construction du milieu, la planification est un souci premier. Une analyse détaillée de situations - essentiellement didactiques - montre une cohérence entre planification et "raisons" et nous proposons un modèle du "fonctionnement de l'enseignant-constructeur".

La troisième partie porte sur les expériences quantitatives où une analyse critique permet de préciser le décalage au niveau de la validité scientifique : c'est un glissement de "l'expérimental" vers "l'instrumental", ce dernier apparaissant alors comme un critère premier de reconnaissance scientifique. Au-delà de cet effet de transposition, notre étude montre qu'au plan du fonctionnement du milieu existent également des écarts entre les attentes de l'enseignant et les activités effectives des élèves.

Dans la conclusion, nos résultats sont mis en perspective et montrent l'importance de la prise en compte du fonctionnement de l'enseignant pour la formation des maîtres.

DISCIPLINE : Didactique des Sciences et Techniques Physiques et Chimiques

MOTS-CLES : Didactique, physique, enseignement secondaire, travaux pratiques, pratiques pédagogiques.

INRP - TECNE, 91 rue Gabriel Péri, 92120 Montrouge
