

Activités de modélisation des élèves en situation de travaux pratiques traditionnels : introduction expérimentale du concept de puissance

Karine BÉCU-ROBINAULT

UMR GRIC – équipe COAST – CNRS – Université Lyon 2
Université Lumière Lyon 2
Case 113
5 avenue Pierre Mendès-France
69676 Bron cedex 11, France.

Résumé

Cet article concerne la définition et la mise en oeuvre d'une grille d'analyse des activités de modélisation des élèves. Nous avons choisi d'étudier les activités des élèves lors de séances de travaux pratiques de physique conduits en classe. Pour cela, nous avons enregistré, transcrit puis analysé des dialogues d'élèves lors d'une séance de travaux pratiques (TP) visant à introduire le concept de puissance. Les résultats de cette étude montrent que la phase de manipulation (construction du montage et prise de mesures) permet de mettre en oeuvre des activités de modélisation variées en comparaison des phases liées à l'interprétation qui le sont moins. Nous avons aussi observé que l'utilisation des mesures par les élèves n'est pas spontanée mais dépend de la possibilité qui leur est offerte de manipuler des éléments matériels de l'expérience.

Mots clés : *expérience, modélisation, mesures, traitements numériques, puissance.*

Abstract

This article deals with the definition and application of an approach to analysing students' modelling activities. We have studied the students' activities during physics labwork sessions that were carried out in the classroom. For this we have recorded, transcribed then analysed students' dialogues during a labwork session whose aim was to introduce the concept of power. The results of this study show that the handling phase (construction of the experimental apparatus and taking of measurements) leads to the incidence of varied modelling activities, in comparison with phases linked to interpretation. We have also observed that the use of measurements is not spontaneous but rather dependent on the possibility of manipulating the concrete elements of the experiment.

Key words : *experiment, modelling, measurement, numerical calculation, power.*

Resumen

Este artículo concierne la definición y la ejecución de una grilla de análisis de las actividades de modelización de los alumnos. Nosotros hemos seleccionado de estudiar las actividades de los alumnos durante la realización de trabajos prácticos de física dentro de un contexto de situación de clase. Para ello hemos grabado, transcritos y analizado los diálogos de los alumnos durante la realización de un trabajo práctico el cual tenía como objetivo introducir el concepto de potencia. Los resultados de este estudio revelan que la fase de manipulación (construcción del montaje y realización de medidas) permite de ejecutar actividades de modelización variadas en comparación con las fases relacionadas con la interpretación. Se ha observado igualmente que la utilización de las medidas no es espontánea sino dependiente de la posibilidad de manipulación de los elementos materiales de la experiencia.

Palabras claves : *experiencia, modelización, medidas, tratamientos numéricos, potencia.*

INTRODUCTION

Depuis leur introduction officielle dans l'enseignement de la physique en France en 1902, les travaux pratiques (TP) ont fait l'objet de nombreuses controverses tant du point de vue de leur place dans l'enseignement que de leur fonction dans l'apprentissage. En fait, peu d'études ont porté sur les processus cognitifs de l'apprenant en jeu pendant la réalisation et l'interprétation d'une expérience. L'objectif de l'étude présentée ici est d'analyser ces processus du point de vue des activités de modélisation des élèves lorsqu'ils sont dans des conditions réelles d'enseignement. Nous avons conduit cette étude grâce à notre implication dans un projet ayant pour thème «l'enseignement de l'énergie» mené conjointement par

l'organisme en charge de la formation professionnelle des enseignants et notre équipe de recherche. Ce projet a pour origine la conjonction entre un nouveau programme officiel de première S (élèves âgés de 16 à 17 ans) en 1994 et les recherches entreprises depuis plusieurs années au sein de notre équipe. Nous avons récolté des données dans différentes classes dont les professeurs suivaient une progression d'enseignement commune et précédemment établie. Nous présenterons ici plus spécifiquement des résultats relatifs aux activités de modélisation des élèves lors d'un TP concernant l'introduction de la puissance.

1. CADRE THÉORIQUE

Notre cadre théorique vise à permettre d'une part la caractérisation des contenus d'enseignement fournis dans les programmes officiels, et d'autre part la description des activités de modélisation du physicien lorsque la situation expérimentale avec laquelle il interagit met en jeu des données quantitatives et leur traitement.

1.1. Innovations et enseignement de l'énergie

L'enseignement du concept d'énergie est un sujet qui a largement été débattu au sein de la communauté des chercheurs en didactique pendant les vingt dernières années (Solomon, 1985 ; Brook & Driver 1984 ; Duit, 1981, 1985 ; Brooks & Wells, 1988 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1992 ; Bental et al., 1995). Nous nous sommes rapportés aux critères d'analyse des propositions d'innovations sur l'enseignement de l'énergie (Koliopoulos & Tiberghien, 1986 ; Duit, 1985). Ces critères sont principalement relatifs aux aspects fondamentaux traités et aux formes d'introduction du concept d'énergie. Nous avons utilisé ces critères afin de caractériser les contenus d'enseignement figurant au programme officiel. Nous avons montré que l'enseignement de l'énergie au cours de ce siècle s'est orienté vers une simplification des contenus liée à une présentation partielle des principes et propriétés de l'énergie (Bécu-Robinault & Tiberghien, 1995). Nous avons également interprété les changements radicaux opérés dans la présentation de l'énergie dans les nouveaux programmes sur la base de ces critères d'analyse. Si de nombreuses modifications de contenus ont été proposées, peu de justifications ont été apportées au rôle de l'expérience dans la construction du sens de ce concept. Afin d'aborder ce rôle, nous avons choisi d'étudier les stratégies des élèves pendant la réalisation et l'interprétation d'une expérience en nous centrant plus particulièrement sur les activités de modélisation des élèves. Ce choix prend son origine dans

les recherches déjà entreprises sur la modélisation, tant du point de vue de la conception de situations d'enseignement que de celui de l'analyse du fonctionnement cognitif des élèves (Martinand, 1992 ; Lemeignan & Weil-Barais, 1987 ; Méheut et al., 1994 ; Tiberghien & Mégalakaki, 1995).

1.2. Description des activités de modélisation

La question du rôle de l'expérience dans la construction des connaissances rejoint celle de nombreux épistémologues sur les liens entre les théories de la physique et le champ expérimental. Deux éléments constitutifs forment l'originalité et la complexité de la physique : le recours à l'expérience et le formalisme théorique. Pour aller au-delà du simple domaine de la perception des phénomènes, le physicien doit nécessairement recourir à ces formalismes (Feynman, 1980 ; Hulin, 1992). La physique ne peut pas être considérée comme étant seulement formelle, elle nécessite la prise en compte d'objets, d'événements, qui appartiennent à un monde que nous qualifions de «monde des choses». Les rapports permanents à ce monde des choses sont au coeur de la démarche du physicien.

Pour interpréter le monde des choses, le physicien devra faire référence aux connaissances en vigueur dans sa communauté comme par exemple les paradigmes (Kuhn, 1972), les lois, les principes fondamentaux, etc. Ces connaissances constituent les instruments théoriques permettant de donner un sens physique aux choses et à leurs relations. Elles appartiennent au monde des théories et des modèles (figure 1). La construction, la création de nouvelles théories - modèles sont validées à travers la relation permanente entre ces deux mondes que le physicien doit conserver à l'esprit (Feynman, 1980).

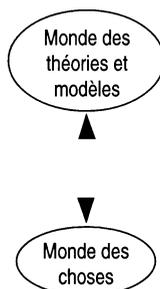


Figure 1 : Les deux mondes en relation dans la démarche du physicien

Selon cette approche, nous considérons les activités de modélisation du physicien relatives à une situation expérimentale. Dans son activité, la sélection et la transformation d'informations posent le problème de la définition de la frontière entre les différents éléments des deux mondes. Nous traçons cette frontière entre les éléments issus directement de l'expérience et ceux soumis à l'action directe du physicien. Ceci nous amène à définir des sous-niveaux à l'intérieur de chacun des mondes :

- les mesures relèvent du monde des choses (Tiberghien, 1994) ;
- les traitements numériques relèvent du monde des théories et modèles.

Pour les épistémologues (Bachelard, 1971 ; Gooding, 1989 ; Pickering, 1992) l'information obtenue à partir de la réalisation d'une expérience est toujours liée à l'interprétation et donc à la théorie-modèle choisie. Ceux-ci reconnaissent toutefois qu'il est possible d'opérer une dichotomie et de séparer ainsi ce qui ressort du domaine du champ expérimental et ce qui est issu des théories et modèles. Par exemple, Grandy (1992) place la mesure sur un plan proche des observations. « *Observation and measurement are both processes by which we wrest information about nature from the world and do some processing so that it can be used in theoretical reasoning* » (p. 187). Cette perspective est proche de celle de Gooding (1989) qui donne comme résultats d'une expérience les observations et les mesures. Il place ainsi sur le même plan toute information issue d'une expérience. Picavet (1995) effectue une bonne synthèse de cette réflexion en donnant du sens à la mesure par rapport à son référent objets/événements auquel elle ne fait qu'apporter une précision quantitative. Un autre argument pour placer la mesure au niveau du monde des choses est qu'il nous semble difficile de séparer la mesure de l'instrument qui l'a fournie. Lors de l'interprétation d'une expérience, le physicien ne reconstruit pas la théorie de la mesure, mais il prend celle-ci comme une information issue de la situation expérimentale qu'il faut traiter et interpréter.

Il est plus difficile de situer précisément le traitement numérique des grandeurs dans une représentation bipolaire du fonctionnement de la physique. Cette difficulté apparaît avec Galilée, lorsqu'il tente d'articuler deux formes de discours aux statuts jusqu'alors bien distincts : les mathématiques et la physique (Thuillier, 1988 ; Cantor, 1989). A travers ces problèmes, c'est la forte imbrication de l'outil mathématique dans les théories et modèles physiques qui surgit. C'est dans la double référence implicite des traitements de données à la mesure et à la théorie que réside l'ambiguïté de leur place dans cette classification (Giere, 1988). Les techniques de traitement des données apparaissent le plus souvent entre le niveau des mesures, objets et événements et celui du modèle

(Walliser, 1977 ; Paty, 1994). Ainsi, le traitement numérique nécessitant obligatoirement une action de sélection puis de transformation est, dans son essence même, une prémisse aux activités internes au modèle. Le modèle est considéré dans ce cas comme un «*opérateur sélectif*» (Bachelard, 1989). Cette approche nous incite à considérer qu'il existe non pas un niveau du modèle mais deux : le premier niveau, proche de la théorie est celui contenant l'ensemble des grandeurs physiques pertinentes à l'interprétation de la situation expérimentale. Il contient également toute forme de relations entre ces grandeurs physiques. Nous l'appellerons «*modèle physique*». Le deuxième contient, quant à lui, les variables pertinentes du point de vue du traitement des données, c'est-à-dire les nombres ou les expressions littérales, sans lien explicite avec la physique. Il comprend aussi les techniques de traitement, et toutes leurs formes de représentations (graphes, équations...) Ce niveau que nous appelons «*modèle numérique*» est celui qui permet un traitement purement numérique de l'information. Notons que le modèle physique peut faire intervenir des relations numériques entre les grandeurs physiques.

L'introduction des informations quantitatives dans une description des activités de modélisation nous amène à définir cinq niveaux qui peuvent tous être mis en relation (figure 2).

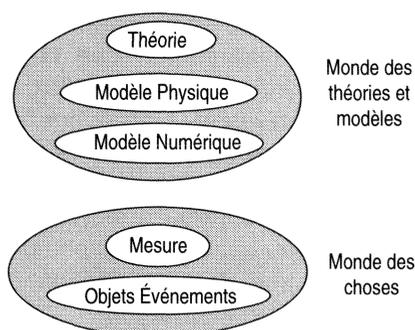


Figure 2 : **Place des aspects quantitatifs dans la description des deux mondes en relation**

Pour analyser les processus d'interprétation et de prédiction de l'élève réalisant une expérience, nous utilisons comme cadre de référence les activités de modélisation établies du point de vue du physicien (Tiberghien, 1994). Ainsi, les activités de l'élève pourront relever de ces cinq niveaux, dont les fonctionnements seront similaires ou non à ceux de la physique. Le modèle construit par l'élève aura la même fonction d'intermédiaire relationnel entre la théorie et le monde des choses, même si les théories de la physique et de l'élève ne sont pas compatibles du point de vue des contenus.

1.3. Question de recherche

Nous faisons l'hypothèse que la construction, par un apprenant, du sens d'un concept, et, dans notre cas, du concept de puissance, se fait en partie à travers les mises en relation que l'apprenant construit entre les différents niveaux de modélisation. Considérant cette hypothèse, notre objectif est double.

Nous visons tout d'abord à constituer une grille pertinente pour l'analyse des activités de modélisation et indépendante de la tâche à réaliser.

Nous chercherons ensuite à identifier, à partir de cette grille d'analyse, les niveaux utilisés et les mises en relation établies par les élèves en lien avec les caractéristiques de l'expérience et des consignes.

2. MÉTHODOLOGIE

Nous nous attacherons dans ce paragraphe à décrire la situation expérimentale étudiée ainsi que la grille d'analyse des activités de modélisation des élèves.

2.1. La situation analysée

Données récoltées

La situation expérimentale étudiée a été conduite dans des conditions réelles d'enseignement. Elle concerne l'introduction expérimentale du concept de puissance en classe de première S (élèves âgés de 16 à 17 ans). Tous les élèves d'une classe, travaillant par groupes de deux, réalisent simultanément une même expérience qui consiste essentiellement à chauffer une certaine quantité d'eau avec un thermoplongeur et à mesurer régulièrement l'énergie transférée au thermoplongeur. Le matériel utilisé est identique pour tous les groupes et seules les caractéristiques quantitatives des appareils diffèrent (constante du compteur d'énergie, puissance nominale du thermoplongeur, quantité d'eau à chauffer). Le déroulement du TP se fait sous le contrôle du professeur, le chercheur restant un observateur passif. Nous avons ainsi suivi la réalisation de ce TP dans quatre établissements d'enseignement secondaire de notre académie. Nous avons choisi de faire des enregistrements *audio* de groupes de deux élèves dans ces quatre établissements pendant la durée totale des expériences (1h 30). Nous avons ainsi enregistré vingt groupes et récolté

les productions écrites de l'ensemble des élèves des établissements concernés, ce qui représente au total 116 comptes rendus.

Les groupes d'élèves enregistrés ont été choisis par les professeurs comme des élèves ayant l'habitude de travailler ensemble et volontaires pour être enregistrés à différentes étapes de l'enseignement.

Classification des interventions

Six dialogues d'élèves pendant le TP (1h 30) ont été intégralement transcrits. Ils ont fait l'objet d'une première analyse visant à les diviser en cinq parties correspondant aux cinq activités traitées successivement. Ensuite, les interventions d'élèves ont été classées à partir de la grille d'analyse des activités de modélisation présentée au paragraphe suivant. Nous appelons proposition toute intervention ou groupe d'interventions mettant en oeuvre un ou plusieurs niveaux de modélisation. La répétition immédiate d'un même contenu n'est pas classée, lorsqu'elle n'est pas modifiée, contrairement à une répétition différée. Toute forme d'apport d'informations concernant l'un des niveaux est classée. Nous nous sommes intéressés aux productions du groupe et non aux apports spécifiques de chacun des deux élèves. Ce choix comporte des limitations pour notre analyse, mais il semble indispensable au stade de nos connaissances sur les activités de modélisation des élèves. En effet, les élèves coopérant pour résoudre les problèmes proposés, il est souvent difficile d'attribuer une activité de modélisation à un élève particulier. La majorité des activités est une résultante de l'interaction entre les élèves.

2.2. Constitution de la grille d'analyse des productions verbales

Dans cette présentation, nous nous attacherons à étayer, lorsque cela est possible, les catégories de notre grille d'analyse par des extraits de dialogues. Les définitions que nous donnons sont essentiellement reprises de Tiberghien (1994) en spécifiant plus particulièrement la place des aspects quantitatifs dans les activités de modélisation.

Théorie

Le niveau de la théorie contient le système explicatif.

Le critère d'appartenance à ce niveau est à la fois sémantique et contextuel. Le sens des termes utilisés, mais aussi le contexte donné par l'intégralité du dialogue des élèves sont utilisés pour justifier le classement d'une proposition à ce niveau. Une intervention relève de la théorie si elle est utilisée afin de fournir une explication à une relation entre des éléments du monde des objets/événements ou du modèle. Nous trouverons dans ce

niveau de la théorie : les paradigmes au sens de Kuhn, les principes, les lois, mais aussi la causalité, qui est un des principes explicatifs les plus utilisés chez les élèves (Viennot, 1993).

Modèles

- Le modèle physique est un intermédiaire entre la théorie et le champ expérimental nécessaire à l'interprétation d'une situation expérimentale en termes de la physique. Lors de l'interprétation ou la prédiction de faits expérimentaux, l'élève construit un modèle de la situation expérimentale (Tiberghien, 1994).

Le critère de classement est d'ordre lexical et sémantique. Les termes, ainsi que le sens qu'ils véhiculent, sont utilisés pour classer les propositions comme relevant de ce niveau. Les propositions doivent faire référence explicitement à des grandeurs physiques à travers leur nom ou leur représentation conventionnelle : symboles, unités...

Phil : *«tu mets que c'est la puissance la puissance c'est c'est euh... c'est l'énergie sur le temps.»*

Dans cet exemple, Phil tente de donner une signification à un nouveau concept, la puissance, en le définissant par rapport à d'autres concepts de la physique. Il utilise ainsi des éléments relatifs au modèle physique.

- Le modèle numérique contient des éléments numériques sélectionnés et traités dans l'expérience. Ce niveau permet, par l'utilisation des outils mathématiques, de mettre en relation des données numériques, de rechercher des invariants, d'extrapoler des résultats...

Le critère de classement d'une proposition dans cette catégorie est d'ordre lexical : les élèves ne prennent en compte explicitement ni les grandeurs physiques ni les valeurs mesurées. Notons qu'une approximation fait partie du niveau du modèle, alors que la lecture partielle d'une mesure fait partie du niveau de la mesure. Il est également possible de prendre en compte des relations entre lettres sans faire de lien avec les grandeurs physiques en jeu (exemple : $y = ax + b$).

Charles : *«74 divisé par 3,6 t'obtiens exactement 3,53 ça se rapproche de plus en plus de 3,6... et divise 25,7 par 7,2 et cetera... tu trouves environ une moyenne de 3,6».*

Ici, Charles utilise des éléments du modèle numérique, des nombres et des opérations entre nombres, pour rechercher une nouvelle valeur. Il n'établit aucun lien explicite entre ces nombres et leur signification du point de vue de la physique. En ce sens, le traitement des données est fait au sein du modèle numérique.

Mesures, objets et événements

• Le niveau de la mesure contient les informations quantitatives concernant les objets et événements.

Le critère d'appartenance à ce niveau est d'ordre lexical et sémantique. Il s'agit de grandeurs relevées sur les appareils de mesures ou fournies par le professeur, non modifiées (une modification peut correspondre à une conversion d'unités, une approximation, etc.). Les mesures peuvent correspondre à des lectures sur l'appareil, des lectures sur papier de mesures précédemment lues sur appareil, ou de mesures fournies par la consigne écrite. Une activité de calibrage, conduite en fonction des mesures prévues, fait partie des activités de mesure. À l'inverse, un calibrage imposé par une consigne est une activité relative aux objets et événements.

Paul : «*Top, 45 secondes !*»

Marine : «*et il est exactement, il fait 18 degrés / Combien le temps, 45 secondes ?*»

Paul et Marine effectuent le recueil de données à partir de leurs appareils de mesure. Les informations qui sont échangées, temps et température, sont relatives au niveau de la mesure.

• Le niveau des objets et événements contient tous les éléments matériels avec lesquels les élèves vont interagir. Il comprend les appareils, les objets et les événements sur lesquels l'expérience va porter.

Le critère de classement des propositions dans cette catégorie est lexical. Le langage associé à ce niveau est en lien avec la description des appareils, des branchements et des faits.

Marine : «*Attends, ton ampèremètre il va au thermoplongeur*».

Lors de son intervention, Marine désigne les appareils qu'il faut brancher. Par l'utilisation des termes désignant ces appareils, elle met en œuvre des éléments relatifs au niveau des objets et événements.

Les propositions peuvent mettre en œuvre chacun des niveaux :

- soit seul : lorsqu'une intervention relève d'un seul niveau ;
- soit mis en relation avec lui-même : relation interne ;
- soit mis en relation avec un autre niveau : relation externe.

2.3. La situation étudiée

Le TP que nous présentons (texte en annexe) concerne l'introduction expérimentale du concept de puissance. Il a pour objectif d'apprentissage de faire prendre conscience aux élèves de la nécessité d'introduire une nouvelle grandeur, la puissance, liée au débit d'énergie. Ce TP intervient après une séquence introduisant le «modèle énergétique». Ce modèle met en jeu les propriétés de transformation, transfert et stockage de l'énergie ainsi que le principe de conservation. Il vise à permettre l'interprétation des phénomènes énergétiques en termes de ces propriétés et principe qui peuvent être représentés par une chaîne énergétique (figure 3). Dans ce TP, il s'agira alors, pour les élèves, de différencier les concepts d'énergie et de puissance en prenant en compte la dimension temporelle des transferts d'énergie.

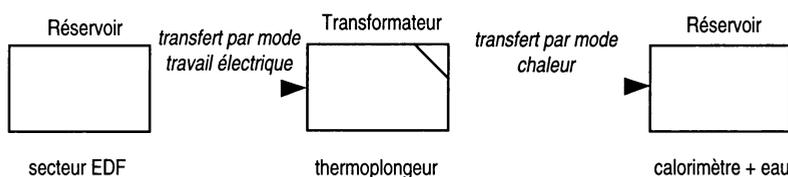


Figure 3 : Dessin de la chaîne énergétique pour l'expérience «introduction de la puissance»

L'énergie est présente dans l'interprétation de cette expérience en tant que grandeur première directement mesurable. La relation mathématique entre l'énergie et le temps est simple puisqu'il s'agit d'une relation de proportionnalité faisant intervenir la puissance. Ce concept est ainsi introduit dans le cadre d'une relation mathématique construite à partir des données expérimentales. Pour éviter que la puissance ne demeure qu'un simple coefficient mathématique, ses significations, autant du point de vue de l'interprétation physique de la situation que du point de vue de sa représentation sur la chaîne énergétique, seront demandées à l'élève.

La différenciation entre l'énergie et la puissance peut se faire selon différents points de vue :

- la puissance peut être assimilée à un débit : c'est la quantité d'énergie débitée par unité de temps à un endroit de la chaîne ;
- la nature des grandeurs étudiées peut être prise en compte. L'énergie est associée à l'état d'un système alors que la puissance correspond à une interaction entre systèmes ;

– la représentation symbolique de ces deux grandeurs est différente. Dans la chaîne énergétique, l'énergie est représentée au niveau des réservoirs alors que la puissance est représentée au niveau des transferts.

Nous allons analyser les cinq activités proposées en prenant en compte les niveaux exprimés à travers les questions. Nous préciserons dans cette analyse les niveaux que les élèves doivent utiliser et mettre en relation, au minimum, pour fournir une réponse à la question.

Activité 1

La consigne adressée aux élèves porte sur la construction du montage, la prise des mesures et leur report dans le tableau. Elle met en jeu les niveaux des objets/événements et de la mesure.

Afin de donner une réponse, les élèves devront donc manipuler les objets, prendre des mesures et les convertir dans les unités du système international. Ainsi, les élèves doivent être amenés à faire usage des niveaux des objets/événements, de la mesure et du modèle physique. Le modèle physique est ici le lieu de traitement des valeurs mesurées. À travers ces activités, les élèves devraient également établir des relations entre les niveaux des objets/événements et de la mesure lors du recueil des informations quantitatives, et entre les niveaux de la mesure et du modèle physique lors de la transformation des valeurs mesurées.

Activité 2

La consigne donnée aux élèves relève d'un problème typique en physique, c'est-à-dire la recherche d'une relation entre deux grandeurs. La première partie de la question est liée à une démarche prédictive sur la situation expérimentale et les mesures. La deuxième partie explicite la méthode mathématique de recherche de la relation entre les grandeurs physiques. La question met ainsi en jeu le modèle physique mais aussi les objets/événements et la mesure. Pour orienter les élèves vers une formule du type $E = k \times t$, (avec $E =$ énergie, $k =$ constante et $t =$ temps), en plus du choix des unités nous avons volontairement placé, dans la consigne, le mot énergie avant le mot temps.

La relation à établir est une relation de proportionnalité, et toute liberté est laissée concernant le choix de la procédure : analogique ou analytique (Sokona, 1989). La forme de la relation n'est pas imposée. Les élèves pourront ainsi fournir une réponse avec une relation entièrement littérale, ou une relation avec une valeur numérique de la puissance. Pour fournir une réponse, les élèves devront faire intervenir, non seulement le niveau du modèle numérique, mais aussi celui du modèle physique et établir des relations entre ces deux niveaux.

Activité 3

Il est demandé aux élèves de donner un nom ou une signification à la grandeur introduite. La consigne relève du modèle physique, avec une ouverture vers d'autres niveaux grâce au terme «signification».

Pour répondre, les élèves devront mettre en oeuvre le niveau du modèle physique, et la signification de la grandeur pourra être obtenue par des relations entre le niveau du modèle physique et de la mesure ou celui des objets/événements. Des informations relatives à chacun de ces niveaux peuvent être utilisées pour la recherche de la signification : les objets/événements pour attacher la grandeur à un ou des éléments matériels de la situation et la mesure à travers les valeurs de la tension et de l'intensité électriques.

Cette activité représente une rupture du contrat didactique. Jusqu'alors, les élèves pouvaient résoudre les tâches à partir de procédures enseignées dans le cadre de la physique ou des mathématiques. Ici, il s'agit réellement de définir le coefficient de proportionnalité dans des termes qu'il faut choisir. Il est possible d'obtenir des réponses d'élèves relatives à :

- la puissance (terme seul) ou à un débit d'énergie ;
- la puissance électrique ;
- l'énergie sans lien avec un débit (confusion des concepts de puissance et d'énergie) ;
- des termes de la physique autres que l'énergie. Les termes seront alors employés en dehors de leur contexte usuel, ce qui implique une torsion du sens originel ;
- un domaine autre que la physique.

Aucune de ces réponses ne peut être considérée comme inexacte, car elles peuvent toutes être porteuses d'une signification de la puissance.

Activité 4

La consigne porte en premier lieu sur la construction de la chaîne énergétique représentant la situation de chauffage. Ensuite, il est demandé aux élèves de représenter la grandeur introduite sur cette chaîne. La consigne relève ainsi du niveau du modèle physique et de celui des objets/événements.

Pour fournir une réponse, les élèves devront utiliser et mettre en relation les objets/événements et le modèle physique. Ces relations permettront de donner un sens à la puissance par rapport aux objets et

événements (en lien avec les transferts d'énergie). Le concept de puissance prend son sens de grandeur d'interaction lorsque sa représentation sur la chaîne énergétique est associée aux transferts d'énergie. Une représentation de cette grandeur au niveau d'un réservoir ou transformateur peut signifier que la puissance ne correspond pas à une caractéristique d'interaction, mais à une caractéristique d'un objet, indépendamment de ses interactions avec les autres objets. La convention d'écriture de la grandeur introduite sur la chaîne devra être représentative des caractéristiques quantitatives et/ou qualitatives de la puissance. Par une telle représentation, nous aurons un véritable enrichissement du modèle énergétique précédemment enseigné.

Activité 5

Il est demandé aux élèves de spécifier de quels éléments, composant le montage, dépend la grandeur, et ce qu'il faudrait faire pour modifier sa valeur. Les questions relatives à cette activité relèvent du niveau du modèle physique et des objets/événements.

Les élèves ne disposent pas forcément des connaissances nécessaires pour fournir une réponse en termes d'objets. La modification du réservoir initial EDF peut ne pas être considérée comme possible. De ce fait, les réponses porteront plus vraisemblablement sur des aspects quantitatifs (tension, intensité) caractérisant l'alimentation électrique, c'est à dire des réponses portant sur les mesures. Nous estimerons donc comme étant des propositions de modifications pertinentes : la tension, l'intensité, la résistance, ou le thermoplongeur, l'alimentation électrique. Seront estimées comme modifications non pertinentes : la quantité d'eau et le récipient. Les modifications sont qualifiées de non pertinentes lorsqu'elles ne permettent pas de modifier la valeur de la puissance. Les élèves peuvent aussi fournir des réponses mélangeant des aspects pertinents et non pertinents. Cette dernière activité vise à établir un lien entre l'enrichissement du modèle effectué dans l'activité précédente et sa signification par rapport aux objets/événements de la situation expérimentale. Pour répondre à cette activité, les élèves devront donc prendre en compte les niveaux du modèle physique, de la mesure et des objets/événements et établir des relations entre ces niveaux.

L'analyse *a priori* des différentes activités est résumée sur la figure 4 qui donne, pour chacune d'entre elles, les niveaux mis en jeu dans la consigne et les niveaux de modélisation qui doivent être utilisés *au minimum* pour fournir une réponse acceptable par rapport aux attentes de l'enseignant. Nous pensons que les difficultés des élèves ou leur besoin de compréhension devraient les conduire à dépasser ce minimum.

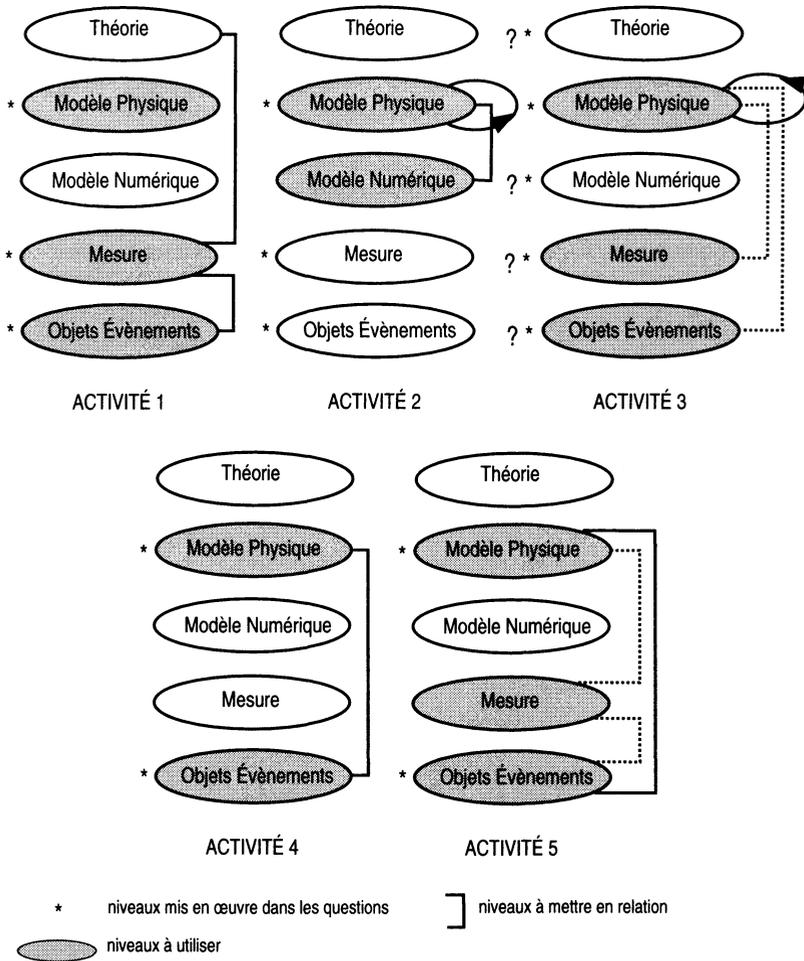


Figure 4 : Niveaux mis en jeu dans les questions, à utiliser et à mettre en relation, au minimum, pour fournir une réponse

3. RÉSULTATS

Dans cet article, nous nous limiterons à présenter des résultats communs aux différents groupes d'élèves.

3.1. Analyse des réponses écrites

Le tableau 1 ci-dessous situe les réponses écrites des six groupes d'élèves dont les dialogues ont été transcrits (initiales : PM, AM, CC, MJ, PA, JN) en relation aux réponses écrites de la totalité des 116 groupes. Pour cela, nous avons utilisé les catégories de réponses possibles énoncées dans l'analyse *a priori* des activités. Nous situons ainsi les groupes analysés dans l'ensemble des réponses.

Activités	Catégories des réponses écrites	Pourcentage des paires (n=116)	Paires enregistrées					
			PM	AM	CC	MJ	PA	JN
Activité 2 : relation	entièrement littérale avec une valeur numérique	49			x	x		
		78	x	x			x	x
Activité 3 : nom relatif à	un débit d'énergie	59	x	x	x	x	x	x
	la puissance électrique	26						
	l'énergie mais pas à un débit	8						
	la physique mais pas à l'énergie un domaine autre que physique	7 18						
Activité 4 : représentation	sur un transfert d'énergie	77	x	x	x	x		
	sur un réservoir ou un transformateur	8					x	x
	pas de représentation	15						
Activité 5 : modifications	pertinentes	69	x	x	x		x	x
	non pertinentes	7						
	mélange pertinentes / non pertinentes	13				x		

Tableau 1 : Répartition des réponses écrites des 116 groupes et des six groupes enregistrés selon les catégories de réponses aux cinq activités

Sur les 116 groupes, il apparaît que les élèves fournissent des réponses généralement correctes aux activités du point de vue du sens du concept de puissance.

Ce tableau montre que trois des six groupes transcrits ont fourni des réponses pertinentes pour les cinq activités. Deux des groupes (PA et JN) ont associé la puissance à un réservoir ou à un transformateur d'énergie,

et un des groupes (MJ) a proposé un mélange de modifications pertinentes et non pertinentes dans l'activité 5. Ce groupe a proposé de changer le thermoplongeur et le milieu à chauffer pour modifier la valeur de la puissance.

Nous remarquons que les réponses fournies par les six groupes transcrits correspondent à la majorité des réponses fournies par la totalité des 116 groupes, à l'exception des représentations de la grandeur sur la chaîne.

3.2. Analyse de la répartition des propositions

Le tableau 2 synthétise, pour chacun des six groupes transcrits, les propositions des élèves en fonction des activités du TP. Rappelons qu'une proposition peut être constituée d'une ou de plusieurs interventions. Les interventions non classées concernent le plus souvent des propos des élèves hors contexte de la tâche, des répétitions immédiates d'un même contenu, ou des interventions à caractère purement social.

Groupes	Nombre de propositions					total
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5	
PM	75	16	16	16	16	139
CC	69	32	51	10	8	170
PA	41	32	17	22	6	118
MJ	106	18	3	9	16	152
JN	98	29	1	10	27	165
AM	94	7	9	18	18	146
Total	483	134	97	85	91	890

Tableau 2 : Nombre des propositions en fonction des activités et des groupes d'élèves

Le nombre de propositions, pour chacun des groupes, est en moyenne de 150 avec un nombre très inférieur pour le groupe PA qui a réalisé l'expérience en très peu de temps à cause d'un dysfonctionnement du matériel. Le pourcentage de propositions est de 30% par rapport au nombre total d'interventions. La majorité des propositions et près de la moitié de la durée du TP concernent la première activité, c'est à dire la manipulation proprement dite (montage et prise de mesures).

Propositions mettant en jeu	Nombre de propositions et pourcentage (n = nombre total de propositions par activité)				
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5
un niveau seul	399 83 %	94 70 %	58 60 %	23 27 %	28 31 %
un niveau en relation interne	15 3 %	18 13 %	16 16 %	23 24 %	17 19 %
des niveaux en relation externe	65 13 %	22 17 %	22 23 %	29 34 %	43 47 %

Tableau 3 : Nombre et pourcentage de propositions en fonction des niveaux qu'elles mettent en jeu pour les cinq activités

Les propositions peuvent mettre en œuvre soit un seul niveau de modélisation, soit une relation interne soit une relation externe. La répartition indiquée dans le tableau 3 ci-dessus montre que la proportion des niveaux pris en compte seuls diminue avec les activités alors que celle des relations externes augmente. Les relations internes ont une importance qui tend à croître jusqu'à l'activité 4. Dans le cours des dialogues, nous constatons que les mises en relation sont faites ponctuellement parmi des propositions mettant en œuvre un seul niveau. Ceci indiquerait que les mises en relation passent par des prises en compte préalables des niveaux de modélisation pour eux-mêmes. En moyenne sur l'ensemble des activités, 70% des propositions des groupes mettent en jeu un seul niveau, 10% des relations internes, et 20% des relations externes. Ceci met en évidence le fait que, malgré les différentes mises en relation effectuées par les groupes, les proportions entre les différents types de prises en compte des niveaux sont les mêmes.

Après cet aperçu global de la répartition des propositions, nous analysons plus finement la réalisation des différentes activités par les six groupes.

3.3. Analyse des niveaux de modélisation

Le tableau 4 rassemble le nombre de mises en œuvre des niveaux de modélisation dans les cinq activités. Il indique, pour chacune d'entre elles, le nombre total de fois où les niveaux de modélisation ont été pris en compte dans les propositions de l'ensemble des groupes. Nous avons détaillé en parallèle les relations externes (RE) les relations internes (RI) et les expressions d'un niveau seul (S) pour chacun des niveaux et des activités.

Niveaux	Nombre de mises en œuvre des niveaux de modélisation									
	Activité 1		Activité 2		Activité 3		Activité 4		Activité 5	
	total	RE	total	RE	total	RE	total	RE	total	RE
		RI		RI		RI		RI		RI
		S		S		S		S		S
ModPhy	72	49 1 22	59	17 11 31	70	18 13 39	62	29 20 13	77	41 17 19
ModNum	92	19 2 71	75	15 7 53	32	14 1 17	3	1 0 2	11	9 0 2
Mes	201	46 12 143	10	6 0 4	5	4 1 0	0	0 0 0	11	10 0 1
ObEv	180	17 0 163	14	8 0 6	11	8 1 2	36	28 0 8	34	28 0 6

Tableau 4 : Nombre de mises en œuvre des niveaux de modélisation : dans les relations externes (RE), dans les relations internes (RI) et seuls (S)

Nous avons sélectionné les mises en relation qui ont été faites au moins par quatre des six groupes. Ces mises en relation représentent 80% de la totalité des mises en relation effectuées. Elles sont regroupées dans le tableau 5. Nous avons ajouté les mises en relation établies par trois des six groupes. Elles concernent les relations entre modèle physique et mesure dans l'activité 5.

Types des Mises en Relation	Nombre de mises en relation				
	Activité 1	Activité 2	Activité 3	Activité 4	Activité 5
Externe ModPhy – ModNum	7	9	10		
Externe ModPhy – Mes	30				(6)
Externe ModPhy – ObEv	11			28	28
Externe ModNum – Mes	10				
Externe Mes – ObEv	5				
Interne ModPhy		11	13	20	17
Interne ModNum		7			
Interne Mes	12				

Tableau 5 : Nombre et types de mises en relations établies par quatre des groupes sur six, ou trois sur six (entre parenthèses) pour les cinq activités

Les tableaux 4 et 5 sont illustrés par la figure 5 mettant en valeur :

– les niveaux les plus souvent pris en compte dans les propositions des groupes d'élèves (niveaux grisés). Ces niveaux représentent toujours plus de 80% des propositions. Ce sont ceux qui contribuent activement à la résolution de la tâche ;

– les mises en relation internes et externes faites par quatre des six groupes au moins (et par trois groupes pour l'activité 5).

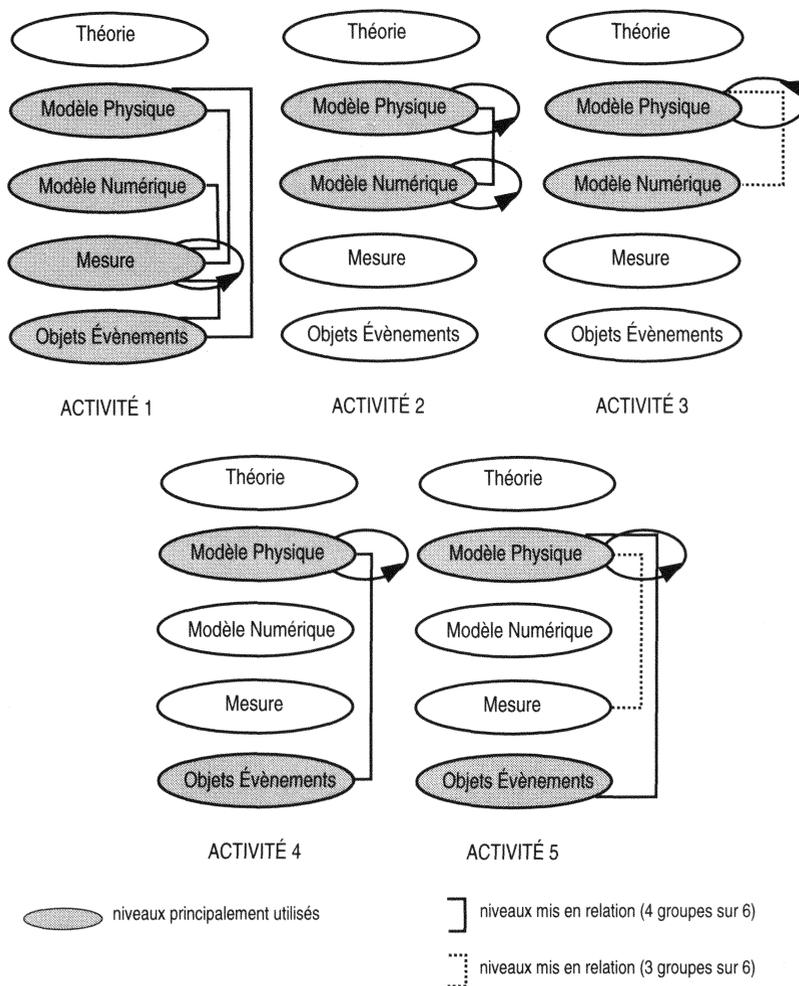


Figure 5 : Niveaux principalement utilisés par les élèves et mises en relations établies par quatre ou trois des groupes sur six

Pour chacune des cinq activités, nous détaillons celles des élèves, en comparant les résultats avec notre analyse *a priori*.

Activité 1

L'activité 1 est celle qui met en jeu le plus de niveaux et de mises en relation. En effet, c'est la seule activité où quatre niveaux sont pris en compte.

Le niveau de la mesure n'est mis en œuvre de manière sensible que dans cette activité. Les propositions relevant de ce niveau représentent alors le tiers des propositions. Même si ce niveau est surtout mis en œuvre seul, il est aussi mis en relation avec tous les autres niveaux, exception faite de la théorie. Ainsi, tous les groupes mettent en relation la mesure avec le modèle physique. Ceci leur permet d'effectuer la conversion des valeurs mesurées dans le système international, tout en leur conservant un sens physique.

Un faible nombre de relations a été obtenu entre les niveaux de la mesure et des objets/événements. À travers ces relations, les élèves associent les informations qualitatives aux données quantitatives.

Cédric : *«Parce qu'elle [la température] a augmenté, elle va commencer à diminuer... C'est le temps que ça [l'eau] refroidisse... /».*

Dans cet exemple, Cédric associe la variation de température au refroidissement progressif de l'eau.

Enfin, cette activité met aussi en jeu des relations internes à la mesure exprimant des événements ayant trait à l'évolution des informations quantitatives recueillies.

Maude : *«Attends deux secondes ça [la température] redescend / ouais ben là c'est à 28 à peu près hein.»*

Ainsi, **les activités de manipulation et de traitement de données quantitatives**, du fait qu'elles amènent à considérer les unités des quantités traitées, **favorisent les mises en relation entre la mesure et le modèle physique**. Elles permettent aussi de mettre en œuvre les autres activités de modélisation.

Un autre niveau ayant une importance aussi considérable dans cette activité est celui des objets et événements. Il est le plus souvent pris en compte seul. Lorsqu'il est mis en relation, c'est, soit avec le niveau de la mesure, soit avec celui du modèle physique. Nous pouvons nous demander si cette dernière relation ne serait pas favorisée lorsque les élèves ont accès à une vue globale de l'expérience, ce qui n'est pas le cas dans cette première activité.

Les autres niveaux les plus représentés sont ceux des modèles numérique et physique. Une telle importance du modèle numérique n'avait pas été prévue. Elle concerne le plus souvent ce niveau seul avec quelques mises en relation avec le niveau de la mesure. Il apparaît ainsi que **le modèle numérique est un outil construit par les élèves et utilisé comme intermédiaire facilitant le traitement des données.**

Noémie : «Attends c'est marqué là, la conversion. Un watt ah c'est... 1 est égale à 3600... faut multiplier par 3600, à chaque fois...»

Le niveau relatif à la théorie n'a jamais été pris en compte. Cette remarque est valable pour l'ensemble des cinq activités.

Nous avons remarqué que les niveaux du modèle numérique, de la mesure et surtout des objets/événements sont peu mis en relation. Les élèves prennent des mesures pour elles mêmes, observent des objets et événements, ou font des calculs sans forcément établir de liens avec un autre niveau de modélisation.

1 – Marine : «Bon alors, on part du truc, là du compteur...»

Paul : «Le compteur faut le brancher ...»

Marine : «Faut prendre ces fils là ! euh... borne moins celui-là allez hop !»

2 – Noémie : «J'ai regardé la température, c'est 20.»

3 – Marc : «18, ouais plus 3,6. ça fait 15 ouais 3 ouais si si ça fait ça 18 !»

À l'inverse, le niveau du modèle physique est plus facilement mis en relation avec un autre niveau. Toutefois, cette activité est la seule ne donnant pas lieu à des relations internes à ce modèle.

Phil : «c'est ça et ça ! [montre les appareils de mesure] ça c'est I et ça c'est V.»

Ainsi, **il semblerait qu'il soit plus facile pour les élèves de donner du sens au modèle physique par rapport à une situation expérimentale, que de donner un sens physique à une situation expérimentale lors d'une activité de manipulation.**

Activité 2

Lors de cette activité, les propositions des élèves concernent pratiquement les seuls niveaux des modèles physique et numérique. À partir de cette activité jusqu'à l'activité 5, les élèves effectuent constamment des mises en relation internes au modèle physique. Les activités en jeu ici

sont en adéquation avec notre analyse *a priori*, avec une importance plus marquée que nous ne l'avions prévue pour le modèle numérique. Ceci peut s'expliquer par un principe d'économie cognitive lors de la recherche de la relation. Les élèves peuvent ne prendre en compte que les valeurs qu'ils ont inscrites dans leur tableau, le rapport à la mesure effectuée ou aux objets/événements n'étant pas nécessaire. Comme dans les activités 3 et 4, le rapport à la mesure est très ponctuel, et n'est pas utilisé comme élément de réponse. Il s'agit principalement de lectures de la température ou d'échanges entre élèves concernant des valeurs manquantes dans le tableau. **Il ne s'agit plus de traiter les objets proprement dits de l'expérience, mais leur reconstruction sous une forme symbolique dans le tableau de valeurs numériques.**

Charles : «74, divisé par 3,6 t'obtiens exactement 3,53... ça se rapproche de plus en plus de 3,6... et divise 25,7 par 7,2 et cetera... tu trouves environ une moyenne de 3,6.»

Si les propositions mettent en oeuvre le modèle physique indifféremment seul ou mis en relation, cela n'est pas le cas pour le modèle numérique qui est le plus souvent utilisé seul. Cela nous conduit à penser que **la recherche d'une constante se fait principalement au sein du seul niveau du modèle numérique**, et que **la recherche de la relation entre grandeurs nécessite des relations internes ou externes au niveau du modèle physique.**

Maude : «Ah 23400 / 230400 euh ouais mais / ça serait $E1 \times t2 = E2 \times t1$?»

Nous avons analysé les types de procédures utilisées par les groupes pour obtenir la proportionnalité. La procédure utilisée par l'ensemble des groupes est la procédure analytique, même lorsque les intervalles de temps ont été notés comme égaux. Cette procédure consiste à reconnaître que l'opérateur permettant de passer d'une valeur de l'énergie à la valeur correspondante du temps est toujours le même.

Paul : «Oh ! c'est marrant regarde, je trouve plus quarante cinq secondes, plus cinquante, plus quarante cinq, plus cinquante plus quarante cinq... Chaque fois j'ai pris des valeurs approchées et puis...»

Marine : «Faut chercher une relation alors tu cherches, tu prends ta calculatrice et puis tu me la trouves !»

Paul : «Ça fait à peu près 320 je sais pas si il faut le faire... Tu regardes sur Laurent !»

De plus si deux groupes énoncent explicitement la proportionnalité comme hypothèse, tous les groupes recherchent une telle relation, sans forcément l'explicitier. Ceci peut être analysé comme un effet de contrat

didactique. Pour les élèves de ce niveau scolaire qui n'ont jusque là été confrontés en physique qu'à des relations de proportionnalité, les relations entre grandeurs physiques seraient toujours linéaires.

Charles : «*Voilà, donc on passe à la deuxième question.*»

Cédric : «*Ben c'est proportionnel.*»

Dans les dialogues nous trouvons quelques justifications aux mises en œuvre du niveau des objets/événements.

1 – Jane : «*On a t qui est égale à 300... alors, l'énergie en joules est égale à 320 fois t. 320, ça peut être quoi... Regarde, on a l'énergie et on a le temps... Je suis sûre que ça a un rapport avec le thermoplongeur. Ou alors avec ça peut-être.*»

2 – Charles : «*Ah, comment ça s'appelle, des watt par tours c'est la... [...] C'est comme pour une perceuse...*»

Ces exemples montrent que **la prise en compte des objets/événements permet la recherche de la signification des grandeurs ou des unités en jeu dans la relation entre l'énergie et le temps.**

Activité 3

Dans cette activité, les prises en compte du modèle physique concernent près du tiers des propositions.

Paul : «*Constante euh... de passage d'un courant mais euh... constante de passage de l'énergie en fonction du temps...*»

L'ensemble des groupes a surtout mis en œuvre les modèles physique et numérique afin de qualifier la grandeur introduite. **Les élèves marquent ainsi une préférence à l'utilisation des connaissances issues de la physique ou des procédures de calculs pour élaborer le modèle, et donner ainsi une légitimité à leurs productions.**

1 – Phil : «*Et ben tu mets que c'est la puissance la puissance c'est c'est euh... c'est l'énergie sur le temps.*»

2 – Cédric : «*Oui, d'accord, mais c'est pas C directement. Parce que toi tu as mis une puissance par tours. On peut pas mettre une puissance par tour.*»

3 – Marine : «*Travail de l'énergie...*»

Paul : «*T'en veux à ton transfert et ton travail, hein ! Laisse-les tranquilles ! Remarque c'est peut-être ça, je sais pas moi !*»

Les propositions relevant du niveau de la mesure ou des objets/événements sont peu importantes alors que nous les avons considérées *a priori* comme nécessaires. Les mesures de la tension et de l'intensité électriques (U, I) auraient pu être utilisées afin de vérifier que le terme «puissance» correspond à la puissance enseignée en électricité avec la relation $P = UI$. Alors que ce terme a été introduit par cinq des groupes, la mesure n'a jamais été utilisée à ce stade de la résolution. Les éléments de la situation matérielle ont été aussi peu utilisés lors de la recherche du nom de la grandeur introduite. Ces observations montrent une **difficulté des élèves à mobiliser des éléments des niveaux relatifs à la situation matérielle dans une perspective d'enrichissement d'un modèle physique.**

Activité 4

Lors de cette activité, les propositions des élèves prennent en compte deux niveaux fréquemment mis en relation : le modèle physique et les objets/événements.

1 – Annie : «*Y a un travail électrique / ouais, il y a un travail électrique avec les fils.*»

2 – Marc : «*Ouais, euh réservoir.../EDF allez ! donc thermoplongeur... Ouais il y a pas de frott [ements], il y a pas de déperditions ouais... frottements, bien sûr ! Piou !*»

Les stratégies de résolution des élèves correspondent exactement à notre analyse *a priori*. Ces résultats confirment ceux obtenus par Tiberghien et Mégalakaki (1995) concernant la tâche d'introduction du modèle énergétique. Les aspects quantitatifs, tant du point de vue de la mesure que de celui des traitements numériques, sont absents dans cette activité. Nous noterons que la prise en compte de ces aspects n'apporte pas nécessairement d'éléments supplémentaires pertinents pour la réussite de cette tâche. **La représentation symbolique des aspects qualitatifs d'une expérience est donc propice à la mise en oeuvre de relations entre le niveau des objets/événements et celui du modèle physique.**

Noémie : «*Non, mais c'est par rapport à... au thermoplongeur. Faut le mettre là... parce que s'il est puissant, ça va diminuer ; s'il est pas puissant, le temps, y va augmenter. Donc c'est tout par rapport à ça.*»

Ce dernier exemple nous montre que même les informations à contenu quantitatif sont considérées d'un point de vue qualitatif.

Un deuxième type de mise en relation domine cette activité : les relations internes au modèle physique. Ces mises en relation permettent

aux élèves de confirmer les réponses fournies à cette activité ainsi qu'aux précédentes, sur la base d'autres connaissances relatives au modèle physique.

Activité 5

Dans cette activité, comme dans la précédente, une majorité de propositions d'élèves met en œuvre le modèle physique et les objets/événements. Ces mises en relation sont généralement liées à l'utilisation de la chaîne énergétique pour la recherche des objets qu'il est possible de modifier.

Jane : *«Le voltage ouais. alors... La puissance... On peut modifier la tension d'alimentation avec un potentiomètre...»*

Noémie : *«Pas forcément.»*

Jane : *«...mètre par exemple...»*

Noémie : *«Donc elle dépend pas du transformateur la grandeur.»*

Outre ce premier type de mises en relation, nous avons relevé, pour trois des groupes, des relations entre le modèle physique et la mesure. À travers ces relations, les élèves reconnaissent un argument de poids pour justifier de la modification de la situation matérielle.

1 – Cédric : *«I et U sont constants, donc la puissance elle dépend pas de de la centrale... enfin du secteur non c'est a c'est U et I...»*

2 – Paul : *«Non, du secteur, du secteur et du thermoplongeur ! de la puissance du secteur parce que tu sais on a trouvé en intensité en ampère, U quand tu fais U fois I ça te donne 303,6. La valeur c'est ça [...]»*

3 – Annie : *«Ah laisse-le pour l'instant on en prendra un là-bas parce que tu sais encore $P=U*I$ donc ça dépend bien du volt et de l'intens[ité]... parce qu'aussi... ils composent le montage.»*

Ces prises en compte du niveau de la mesure interviennent après les propositions de modifications des objets de l'expérience. Elles correspondent ainsi, le plus souvent, à des procédures de vérification des assertions précédentes. Ces mises en relation avec la mesure ne sont pas spontanées dans une tâche autre que celle de la lecture des mesures sur les appareils lors de la manipulation. **Les mesures ne sont prises en compte que lorsque la situation matérielle est modifiée.** Le rapport à la mesure est donc intimement lié aux objets matériels à manipuler.

Nous avons souligné la présence marquée de relations internes au modèle physique à travers l'ensemble des activités. Ces relations peuvent être interprétées à partir de l'analyse des registres sémiotiques employés

(langue naturelle, écriture symbolique, graphe, représentation iconique) et de la nécessité, pour les élèves, de changer de registres afin de donner plus de sens à leurs propositions (Duval, 1995). Une analyse parallèle des transformations de registres (Bécu-Robinault, 1997) a montré la volonté permanente des élèves d'utiliser le registre de la langue naturelle lors des propositions relatives au niveau du modèle physique, mais aussi des autres niveaux de modélisation.

4. CONCLUSION

La grille d'analyse des activités de modélisation des élèves que nous avons définie a permis de mettre en lumière un certain nombre de résultats.

La phase de manipulation nous apparaît comme la phase la plus riche de l'expérience du point de vue des niveaux de modélisation qu'elle incite à mettre en œuvre, même si la proportion de relations établies n'est pas aussi importante que pour les activités suivantes. Ceci tend à renforcer l'intérêt que présente la manipulation (construction du montage et prise de mesures) pour aider les élèves à construire le sens d'un concept physique.

Nous avons constaté les réticences des élèves à utiliser le niveau de la mesure. Celui-ci n'est pris en compte que lorsque les objets et événements sont modifiés. Tout se passe comme si ce niveau ne pouvait être mis en œuvre (autorisé) que lorsqu'il est possible de manipuler les objets et événements. Ces deux niveaux semblent donc être fortement liés et la mise en œuvre du niveau de la mesure n'est pas spontanée mais contrainte par la manipulation.

Les relations entre le modèle physique et les objets/événements sont surtout faites lorsque les élèves ont à utiliser une représentation symbolique telle que la chaîne énergétique. Elles sont donc établies à la suite de consignes contraignant les élèves à mettre en relation ces deux niveaux.

La construction du modèle est basée principalement sur les éléments faisant déjà partie de ce niveau. Cela peut être révélateur de la volonté des élèves de justifier leur construction non pas d'après des éléments matériels (démarche inductiviste ou hypothético-déductive) mais d'après des éléments du modèle déjà établis. Il s'agit ainsi d'une démarche de construction interne au modèle. Il semblerait qu'il soit plus facile de construire des connaissances à partir des éléments d'un même niveau qu'en établissant des relations avec d'autres niveaux.

Ces résultats ont été confrontés à d'autres obtenus lors de TP dont les caractéristiques sont différentes, autant du point de vue de la situation expérimentale que des questions adressées aux élèves (Bécu-Robinault,

1997). Nous avons ainsi validé l'importance du modèle physique dans l'interprétation de l'expérience, mais aussi la difficulté des élèves à prendre en compte les informations issues des niveaux de la mesure et des objets et événements.

BIBLIOGRAPHIE

- BACHELARD G. (1971). *Épistémologie, textes choisis*. Paris, PUF.
- BACHELARD S. (1989). Quelques aspects historiques des notions de modèle et de justification des modèles. In P. Delattre & M. Thellier (Éds), *Élaboration et justification des modèles*. Paris, Maloine, vol. 1, pp. 3-18.
- BÉCU-ROBINAULT K. (1997). *Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques*. Thèse de doctorat, Université Lyon 1.
- BÉCU-ROBINAULT K. & TIBERGHIE A. (1995). Un exemple d'articulation entre recherches d'après manuels et recherches dans le cadre d'un enseignement réel : l'étude des expériences sur les phénomènes énergétiques. In G. Mary & W. Kaminsky (Éds), *Actes du Cinquième Séminaire National de Recherche en Didactique de la Physique*. Reims, Université de Reims et IUFM de Reims, pp. 71-95.
- BENTAL D., TIBERGHIE A., BAKER M. & MEGALAKAKI O. (1995). *Analyse et modélisation de l'apprentissage des notions de l'énergie dans l'environnement «chêne»*. Rapport de recherche interne COAST n° CR-8/95.
- BROOK A. & DRIVER R. (1984). *Aspects of secondary students' understanding of energy : full report, Children's Learning in Science Project*. Leeds, University of Leeds.
- BROOK A. & WELLS P. (1988). Conserving the circus, an alternative approach to teaching and learning about energy. *Physics Education*, n° 23, pp. 80-85.
- CANTOR G. (1989). The rhetoric of experiment. In G. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Éds), *the uses of experiment - Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, pp. 159-180.
- DUIT R. (1981). Understanding energy as a conserved quantity. *European Journal of Science Education*, vol. 3, n° 3, pp. 291-301.
- DUIT R. (1985). In search of an energy concept. Paper prepared for «conference on teaching about energy within the secondary school science curriculum». Leeds, March 1985.
- DUVAL R. (1995). *Sémiosis et pensée humaine*. Berne, Peter Lang.
- FEYNMAN R. (1980). *La nature de la physique*. Paris, Seuil.
- GIERE R. (1988). *Explaining science, a cognitive approach*. The University of Chicago Press.
- GOODING D. (1989). Introduction : some uses of experiment. In G. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Éds), *The uses of experiment - Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, pp. 1-27.
- GRANDY R. (1992). Information, observation, and measurement from the viewpoint of a cognitive philosophy of science. In N. Giere (Éd.), *Cognitive models of science*. Minneapolis, University of Minnesota Press, pp. 187-206.
- HULIN M. (1992). *Le mirage et la nécessité. Pour une redéfinition de la formation scientifique de base*. Paris, Presses de l'École Normale Supérieure et Palais de la Découverte.
- KOLIOPOULOS D. & TIBERGHIE A. (1986). Éléments d'une bibliographie concernant l'enseignement de l'énergie au niveau des collèves. *Aster*, n° 2, pp. 167-178.

- KUHN T.S. (1972). *La structure des révolutions scientifiques*. Paris, Flammarion.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1987). Apprentissage de la modélisation à propos de l'enseignement de la mécanique au lycée. In *Enseignement et apprentissage de la modélisation, quantité de mouvement, modèle particulière*, action concertée : recherche en éducation et en formation, rapport de fin de contrat. Paris, LIRESPT, pp. 77-155.
- LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A. (1992). L'apprentissage de la modélisation dans l'enseignement de l'énergie. In J.-L. Martinand (Dir.), *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP, pp. 171-231.
- MARTINAND J.-L. (1992). *Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences*. Paris, INRP.
- MÉHEUT M., CHOMAT A. & LARCHER C. (1994). Construction d'un modèle cinétique de gaz par des élèves de collège : jeux de questionnement et de simulation. In M. Caillot (Éd.), *Actes du Quatrième Séminaire National de la Recherche en Didactique des Sciences Physiques*. Amiens, IUFM de Picardie, pp. 53-71.
- PATY M. (1994). Mesure expérience et objet théorique en physique. In J.C. Beaune (Éd.), *La mesure, Instruments et philosophies*. Seyssel, Champ Vallon, pp. 159-174.
- PICAVET E. (1995). *Approches du concret, une introduction à l'épistémologie*. Paris, Marketing.
- PICKERING A. (1992). Living in the material world. In G. Gooding, T. Pinch, S. Schaffer (Éds), *The uses of experiment - Studies in the natural sciences*. Cambridge University Press, pp. 275-297.
- SOKONA S. (1989). Aspects analytiques et aspects analogiques de la proportionnalité dans une situation de formulation. *Petit x*, n° 19, pp 5-27.
- SOLOMON, J. (1985). Learning and evaluation : a study of school children's views on the social uses of energy. *Social Studies of Science*, vol. 15, pp. 343-371.
- THUILLIER P. (1988). Les Jésuites ont-ils été les pionniers de la science moderne ? *La Recherche*, n° 19, pp. 88-92.
- TIBERGHIE A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching - learning situations. *Learning and instructions*, vol. 4, pp. 71-87.
- TIBERGHIE A. & MEGALAKAKI O. (1995). Characterization of a modelling activity for a first qualitative approach to the concept of energy. *European Journal of Psychology of Education*, vol. X, n° 4, pp. 369-383.
- VIENNOT L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, n° 1, pp. 13-27.
- WALLISER B. (1977). *Systèmes et modèles, introduction critique à l'analyse des systèmes*. Paris, Seuil.

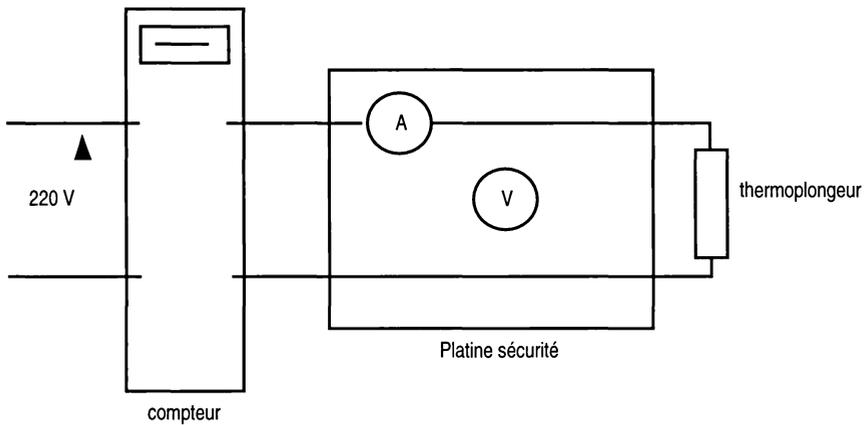
Ce travail a bénéficié du soutien du projet européen «Labwork in Science Education» (Contrat SOE₂ CT 95 2001) financé par la Direction Générale XII de la Commission Européenne.

ANNEXE

TP : Introduction de la puissance

Nous nous proposons de chauffer de l'eau à l'aide d'un thermoplongeur (ou d'un appareil analogue) et de faire une analyse énergétique de la situation.

Activité N° 1 : faire le montage avec tous les appareils de mesures selon le schéma ci-dessous :



Procéder aux mesures.

$U =$ V et $I =$ A .

n (tours)	E (Wh)	E (J)	t (min et s)	t (s)	q (°C)
0	0	0	0	0	q ₀ =
1					
...					
10					

Activité N° 2 : pour cette expérience, on souhaiterait pouvoir prévoir les résultats sans avoir besoin de faire toutes les mesures.

Pour cela, chercher une formule mathématique simple qui permettrait de relier la quantité d'énergie transférée E et la durée du chauffage t . Dans cette activité, aucune autre grandeur que E et t n'est à prendre en compte. Soit $E = f(t)$ cette formule. On utilisera les unités du système international.

Activité N° 3 : dans cette relation, vous avez dû introduire une grandeur qui n'a pas encore été évoquée dans ce TP. Trouvez un nom ou une expression qui traduise la signification de cette grandeur.

Activité N° 4 : construire une chaîne énergétique «pendant» représentant la situation de chauffage :

– écrire une phrase pour préciser où on pourrait y faire figurer la grandeur que vous venez de nommer,

– faire figurer cette grandeur.

Activité N° 5 : de quels éléments qui composent le montage et qui sont représentés sur la chaîne dépend cette grandeur ?

Que faudrait-il faire concrètement pour modifier sa valeur ?

Les indications des appareils de mesures apportent-elles une confirmation à votre réponse ? Justifier.