Analyse d'une séance de physique en seconde : quelle continuité dans les pratiques ?

Analysis of a physical second lesson: any continuity in practice?

Andrée Tiberghien

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/educationdidactique/1510>

DOI : 10.4000/educationdidactique.1510

ISSN : 2111-4838

Éditeur

Presses universitaires de Rennes

Édition imprimée

Date de publication : 30 novembre 2012

Pagination : 97-123

ISBN : 978-2-7535-2254-1

ISSN : 1956-3485

Référence électronique

Andrée Tiberghien, « Analyse d'une séance de physique en seconde : quelle continuité dans les pratiques ? », *Éducation et didactique* [En ligne], 6-3 | novembre 2012, mis en ligne le 30 novembre 2014, consulté le 16 août 2022. URL : <http://journals.openedition.org/educationdidactique/1510> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/educationdidactique.1510>

ANALYSE D'UNE SÉANCE DE PHYSIQUE EN SECONDE : QUELLE CONTINUITÉ DANS LES PRATIQUES ?

Andrée Tiberghien (ICAR, CNRS-Université de Lyon)

Résumé : Cet article présente une analyse d'une séance de classe de physique, la 8^e de l'année scolaire, réalisée en classe entière après une séance faite en ½ classe comportant plusieurs activités expérimentales. À partir de la théorie de l'action conjointe, cette analyse vise à rendre compte de la mise en œuvre des savoirs dans la classe comme objets de transaction entre les acteurs professeur et élèves. Pour cela nous étudions les données, essentiellement vidéo, à deux échelles, une échelle mésoscopique et une échelle microscopique pour rendre compte de la dynamique des transactions dans la classe. Cette dynamique est modélisée en termes de jeux didactiques, leur enjeu, leur règle et leur bilan, c'est-à-dire si le professeur et les élèves ont gagné à ce jeu ; cette modélisation est enrichie par l'analyse microscopique en termes d'éléments de savoir en jeu dans les actions du professeur et des élèves (facettes). Cette analyse nous a conduit à interpréter la séance comme un moment « de recalage » entre ce qui a été réalisé expérimentalement la séance précédente et l'interprétation physique des expériences. Le professeur et les élèves s'emploient à partager les mêmes supports (spectres, schéma, etc.) et une signification commune des activités réalisées la séance précédente.

Mots clés : pratiques de classe, action conjointe, échelles d'analyse, méthodologie, vidéos.

Andrée Tiberghien

Introduction

Deux perspectives ont guidé cette étude, celle de contribuer au travail commun d'analyse d'un enregistrement vidéo d'une séance de classe et celle de développer un travail concernant la compréhension des pratiques de classe qui jouent un rôle important dans l'apprentissage des élèves.

Cette deuxième perspective demande une analyse des pratiques d'enseignement sur une période de temps plus longue que celle d'une seule séance. En effet, l'apprentissage des élèves de ce qui est enseigné en physique nécessite un temps supérieur à celui d'une séance. La compréhension des contenus enseignés requiert l'appropriation d'un réseau d'éléments de connaissance qui ne peut se faire que dans la durée. Cependant, nous avons décidé de garder cette perspective en la coordonnant avec l'enjeu de l'explicitation du cadre théorique et de ses liens avec la méthodologie d'analyse.

Cadre théorique

Ce cadre théorique est composite ; si la théorie de l'action conjointe en est le socle, il comporte également deux positionnements nécessaires à notre étude ; l'un porte sur la classe considérée comme un système complexe, l'autre porte sur les condi-

tions qui favorisent l'apprentissage des sciences. Le premier positionnement nous permet d'affirmer d'emblée que l'étude d'une classe ne peut se faire à partir d'un petit nombre de variables et qu'il faut l'approcher dans sa complexité ce qui est, pour nous, une des hypothèses de base de la théorie de l'action conjointe en didactique. Celle-ci pose que le système didactique avec les trois sous-systèmes (professeur, élève et savoir) est indivisible car il est impossible de saisir la signification de l'action du professeur sans comprendre les relations entre cette action, celle de l'élève et la structure des éléments de connaissances en jeu (Sensevy, 2011). L'autre positionnement porte sur les conditions *a priori* favorisant la compréhension et l'apprentissage.

Théorie de l'action conjointe en didactique

Cette théorie pose que les pratiques d'enseignement et d'apprentissage sont nécessairement liées, elles sont conjointes. Elle prend également une perspective transactionnelle c'est-à-dire d'une action « à travers autrui et à travers l'environnement » comme le suggère l'étymologie du mot « transaction » qui est un moyen de coordination ou d'ajustement des actes (Sensevy, 2011, p. 53). Dans cette perspective, du fait que le but donné par la société est l'acquisition d'un savoir, celui-ci va orienter les transactions.

Dans l'ensemble des concepts de cette théorie, deux sont particulièrement essentiels, le contrat didactique et le milieu.

Le *contrat* constitue les attentes réciproques du professeur et de ses élèves (Brousseau, 1998) ; il inclut un système d'habitudes, dont certaines sont génériques et durables, et d'autres sont spécifiques des éléments de connaissance et ont besoin d'être redéfinies avec l'introduction de nouveaux éléments. Par exemple, après l'introduction du concept de force et de sa représentation vectorielle, les attentes du professeur vis-vis de l'utilisation de la force ne sont pas les mêmes qu'avant. Le contrat didactique peut être vu comme un système de normes sociales et socio-épistémiques relatives à l'institution didactique dans laquelle prend place le processus didactique (Cobb, Stephan, McClain & Gravemeijer, 2001).

Le *milieu didactique* réfère à l'environnement spécifique dans lequel se situent les actions d'enseignement et d'apprentissage (Sensevy, 2007). Cet environnement comprend les acteurs concernés ou les éléments matériels à la disposition de ces acteurs, ainsi que les relations qu'entretiennent ces éléments entre eux et avec les acteurs dans la situation (Brill, 2002). Le milieu offre des « affordances », c'est-à-dire des possibilités d'actions mais que les acteurs n'utilisent pas nécessairement dans leurs actions du moment (Greeno, 1994). Il est essentiel ici de considérer que le milieu n'est pas l'environnement vu par un observateur extérieur, mais les éléments de cet environnement en relation avec les acteurs. Ces relations vont dépendre des attentes respectives des acteurs et donc du contrat didactique. À l'école, le milieu est donc un porteur d'éléments permettant aux élèves et au professeur de construire et mettre en œuvre des connaissances dans leurs différentes actions. Nous considérons que l'apprentissage nécessite que le milieu permette au professeur et aux élèves d'ajuster leurs attentes réciproques. Par exemple, si l'activité proposée est trop compliquée, les questions non comprises, le matériel de mesure trop complexe pour les élèves alors l'attente du professeur concernant les actions des élèves ne pourra pas être réalisée et l'attente des élèves de comprendre ce qu'on leur demande de faire non plus. Il y a un déséquilibre.

Pour rendre compte de ces relations milieu-contrat, l'étude de la façon dont le savoir est en jeu dans la classe est nécessaire. Pour cela nous prenons

trois perspectives: (1) quel est le savoir en jeu? (2) Qui (enseignant / élève(s)) introduit les éléments de connaissance en jeu dans la situation de classe? (3) Dans quelles situations de classe se produisent les transactions?

Ces questions nous amènent à utiliser les concepts suivants caractérisant l'évolution des pratiques de classe: la *chronogenèse* correspond au développement des connaissances au cours de l'enseignement, elle implique une relation entre le savoir et de temps. La *topogenèse* signifie la place des acteurs (enseignants, étudiants) qui prennent la responsabilité de l'introduction / l'utilisation d'éléments de savoir et dans quelle mesure leur responsabilité est reconnue par la classe. La *mesogenèse* est liée au « milieu », ce sont les composantes sociales et matérielles de la situation que les acteurs utilisent dans leurs actions en vue de construire du sens à la situation et donc des connaissances.

Pour modéliser l'action conjointe en lien avec l'idée de transaction, Sensevy propose d'utiliser, le concept de « jeu didactique » comme « un modèle pertinent pour mettre en évidence certains aspects du monde social et de l'activité humaine » (Sensevy, 2007, p. 19). Le jeu didactique implique le professeur, l'élève et le savoir dont il est l'enjeu ; il permet une approche systémique. Un jeu n'est gagnant pour le professeur que si l'élève (ou les élèves) est (sont) gagnant(s) dans la mesure où la construction du sens du savoir en jeu ne peut être faite que par l'élève.

La classe, un système complexe

Considérer la classe comme un système complexe nous conduit à utiliser plusieurs échelles et à viser que les liens entre les échelles permettent de développer la compréhension de la situation. Nous suivons Lemke (2001) sur l'idée qu'une analyse détaillée à un niveau micro ne permet pas aux chercheurs de structurer l'analyse à un niveau d'échelle supérieur :

“Activities at higher levels of organization are emergent, their functions cannot be defined at lower scales, but only in relation to still higher ones. [...] Going “up” we know the units, but we know *neither the patterns of organization nor the properties of the emergent higher-level phenomena*” (p. 25).

Nous choisissons trois échelles – macro-, meso- et microscopique – relatives à la fois au temps et à la granularité du savoir.

Une hypothèse d'apprentissage

Une autre composante de notre cadre théorique concerne l'apprentissage des sciences. Tout d'abord, le terme de savoir a un sens très large : ce point de vue est proche de ce que Kelly (2011) se référant à Duschl (2008) propose :

“Duschl (2008) proposes a focus on three integrated domains for science education : conceptual structures and cognitive processes, epistemic frameworks, and social processes shaping communication in science. A shift toward these domains would move science instruction beyond a traditional focus on the proposition knowledge of final form science, i.e., the conclusions of scientific practices often articulated as concretized theories, laws, and facts.” (p. 61, Kelly, 2011)

En outre, nous considérons que les processus impliqués dans la construction de la compréhension scientifique d'une situation matérielle (au moins à l'école primaire et secondaire) devraient impliquer des relations entre les événements ou les propriétés de la situation matérielle et le modèle théorique, même si ce modèle est simple. Concernant les situations matérielles ou plus généralement ce que nous appelons le monde des objets et événements, nous mettons particulièrement l'accent sur l'importance d'apprendre à « voir » le monde matériel afin de l'interpréter en termes de physique ce qui implique de développer un langage qui est spécifique d'une communauté scientifique (Sensevy *et al.*, 2008 ; Remi-Giraud, 2008 ; Tiberghien, 2008). Cet apprentissage permet de relier la description du monde matériel (les faits) et un modèle physique pertinent pour répondre aux questions soulevées. Cette approche conduit également à la nécessité d'apprendre à distinguer les éléments théoriques, des faits, des mesures, afin d'établir des liens entre eux, de construire des hypothèses, arguments, etc.

L'importance des liens entre les différents éléments de la connaissance scientifique nous conduit à la notion de continuité de la connaissance. Mercer (2008) a proposé de distinguer la continuité

historique et les aspects dynamiques du discours de la classe dans la perspective de :

“providing some coherence to children's experience of classroom education” (p. 34).

Nous gardons cette perspective, mais nous nous centrons sur la dynamique du savoir au cours de l'enseignement et plus particulièrement sur :

- les liens entre le problème, les hypothèses, les expériences et les mesures, les interprétations et la conclusion ou en d'autres termes comment la cohérence d'un processus d'investigation est en jeu dans des pratiques d'enseignement (Tiberghien, 2011) ;
- les relations entre les questions ou propositions soulevées par les élèves et les réponses données par l'enseignant (ou par d'autres élèves) ; cet aspect est très similaire aux aspects dynamiques du discours présentés par Mercer (2008).

L'hypothèse de la continuité de l'enseignement et de la cohérence du savoir enseigné est renforcée par une étude de Roth *et al.* (2011) sur la formation des enseignants. À partir du projet de TIMSS vidéo en sciences (Roth *et al.*, 2006) ces chercheurs ont élaboré l'hypothèse de l'importance de la cohérence du savoir enseigné au sens où le professeur établit de multiples liens entre les différents éléments de savoir pour l'apprentissage des élèves. Ils ont montré que les élèves des professeurs formés à partir de cette hypothèse, traduite en action de l'enseignant, progressaient mieux qu'un échantillon équivalent.

Les liens établis par le professeur et les élèves autour de notions centrales (en nombre très limité) se font entre petits éléments de savoir. Par « petits éléments » nous considérons des éléments qui, *pour l'élève*, ont un champ d'application limité. Cette idée de « petits éléments » n'est pas absolue, elle dépend de la personne qui en construit un sens. Les relations construites par les élèves entre de petits éléments de connaissance peuvent être différentes de celles impliquées dans le discours du professeur. Ainsi les élèves peuvent acquérir des éléments du savoir enseigné sans une compréhension conceptuelle globale. Cette différence entre la compréhension du professeur et

celle de l'élève conduit à analyser les productions du professeur et des élèves à un niveau fin de granularité du savoir.

Questions de recherche

Comme cela a été présenté dans l'introduction, les questions de recherche, posées à partir de notre cadre théorique, ont dû être adaptées aux données. Ici les données sont l'enregistrement vidéo de la séance, les documents utilisés, les informations sur la classe et le professeur, ainsi que l'entretien avec le professeur, mené par Laurent Talbot (ce numéro). De fait, notre cadre théorique nous conduit à rajouter l'enregistrement de la séance précédente, car la séance étudiée est en lien étroit avec la séance faite en demi-classe où plusieurs expériences ont été réalisées par les élèves ou par le professeur¹. Du fait de notre centrage sur l'évolution du savoir dans la classe, une utilisation même sommaire de ce qui s'est passé lors de la séance précédente est nécessaire.

Le travail mené avec les quatre autres chercheurs sur cette séance m'a conduite à soulever une question orientée vers la méthodologie ; elle porte sur le modèle de la classe construit à partir de ce cadre théorique et de sa distance aux observables sur la vidéo et les autres données.

L'autre question se situe dans la perspective actuelle de mes travaux ; elle porte sur la mise en œuvre dans la classe des liens entre les différents éléments de savoir qui permettent d'établir une continuité et une cohérence du savoir enseigné.

L'approche méthodologique prise

Il était nécessaire de situer la séance dans l'enseignement de la physique, c'est l'objet du paragraphe suivant. Du fait des travaux antérieurs menés lors de la conception de la séquence utilisée par le professeur observé, cette analyse globale du savoir à enseigner avait déjà été menée ; elle relève du niveau macroscopique. En revanche, la compréhension de la séance elle-même n'avait pas commencé avant ce travail en commun réalisé dans ViSA.

Dans cet article, l'ordre de présentation des analyses reflète ma propre approche dans l'étude

de cette séance. Comprendre une séance quand il s'agit de la première étudiée pour un enseignement et un professeur donnés, ne peut se faire rapidement. Même si la séance est d'abord visionnée sans point de vue particulier, rapidement, j'ai choisi de l'analyser au niveau mésoscopique avec des faits observables que l'on peut voir aisément sur la vidéo comme cela est présenté ci-dessous, celui de l'organisation en classe entière ou en petits groupes ; puis toujours au niveau mésoscopique j'ai choisi de poursuivre en visant à comprendre « de quoi il s'agit » dans cette séance ; c'est l'analyse en thèmes que nous présentons ci-dessous. Ce n'est qu'à ce stade qu'une première analyse de la classe a été menée d'un point de vue résolument holistique en la modélisant en termes de jeux didactiques, comme cela a été présenté dans le cadre théorique. L'analyse microscopique réalisée s'est limitée à chercher à comprendre « de quoi il s'agit » à partir d'éléments microscopiques de l'ordre d'une phrase ou de courtes interactions. Cette analyse a été menée de manière systématique sur toute la séance. Enfin, nous avons repris l'analyse en termes de jeux didactiques en y intégrant l'analyse microscopique. Cette reprise de l'analyse en jeux a affiné plus que modifié celle déjà menée au seul niveau mesoscopique.

Situation de la séance et des savoirs en jeu dans l'enseignement de la physique en seconde

Compte tenu de nos données, on peut seulement situer cette séance dans l'enseignement de la physique de cette classe. Comme cela a été présenté dans l'introduction, l'année 2010-2011 est particulière dans la mesure où le programme est nouveau. La nouveauté essentielle est sa structure en trois thèmes : Univers, Santé et Sport, deux de ces thèmes n'étant pas liés à la physique ou la chimie mais à des questions sociales (voir des extraits de ce programme en annexe de l'introduction de ce numéro). Dans la présentation de nos analyses nous reviendrons sur cette situation particulière.

Le professeur a commencé l'année par le thème « Univers » du programme de physique. Nous présentons une analyse succincte du savoir en jeu dans la séance dans le cadre du thème « Univers » avant de situer cette séance dans l'ensemble de la séquence.

Analyse du savoir en jeu de la séance dans le cadre du thème « Univers »

L'analyse spectrale est au cœur du savoir de la séance analysée. Il s'agit d'un nouveau savoir pour les élèves qui a été introduit à la séance précédente. L'introduction du spectre dans le modèle donné aux élèves comporte la double signification de ce mot :

« L'image (recueillie sur un écran ou observée à l'aide d'un instrument) lors d'une expérience de décomposition de la lumière se nomme un **spectre**. Le même mot sert pour nommer cette image et pour définir l'ensemble des radiations monochromatiques du rayonnement. »

Ainsi, le spectre est le document qui comporte des raies mais aussi les radiations elles-mêmes. Il désigne à la fois une représentation et « l'objet représenté » (les radiations) qui est lui-même invisible. Ces spectres sont le résultat des interactions lumière-matière qui, dans l'enseignement, deviennent des énoncés qui mettent en relation des faits, par exemple pour la relation température source-couleur du spectre :

- Un solide ou un liquide émet de la lumière visible si sa température est suffisamment élevée.
- Le spectre de cette lumière est continu et comporte un domaine de longueurs d'onde qui dépend de la température du corps.
- Plus la température est élevée, plus le spectre de la lumière émise s'enrichit en ondes de faibles longueurs d'ondes (correspondant au bleu).

De tels énoncés ont un statut ambigu du point de vue de la modélisation, ils font intervenir des faits expérimentaux et des concepts mais ces derniers ont plutôt un statut matériel d'état d'un objet, par exemple la température peut être facilement associée à un objet plus ou moins chaud, de même les longueurs d'onde enrichissent la lumière. Nous pensons, en l'argumentant ci-après, que le statut de ces énoncés peut s'expliquer en partie par la distance importante avec le savoir de la physique.

En physique, les modélisations des interactions lumière matière sont complexes, elles introduisent le

comportement quantique de la matière (par exemple la loi de Planck (1900) qui relie l'énergie rayonnée avec la température de la source et qui est à la naissance de la mécanique quantique) et des modélisations mathématiques compliquées. Il y a donc une distance très grande entre le savoir de la physique et le savoir à enseigner. La transposition effectuée dans le programme ne consiste pas à construire des théories/modèles moins sophistiqués, elle *modifie le statut du savoir*. Dans le savoir à enseigner il ne s'agit plus de relations entre concepts mais des éléments de théorie sont associés aux événements prédits ou interprétés, ce qui conduit à avoir des concepts qui ne sont pas différenciés des faits observables. Les éléments théoriques en tant que tels ont disparu. Les élèves ne peuvent donc pas par eux-mêmes construire les relations concepts – événements (par exemple les liens entre température et l'action de chauffer un matériau, sont introduits comme la « base » du savoir). Le savoir à enseigner introduit alors d'autres types de relations comme par exemple des relations causales entre conditions expérimentales et un phénomène comme dans l'exemple donné ci-dessus : « Si un solide ou liquide est suffisamment chaud alors il émet de la lumière visible ». En revanche, le savoir à enseigner va garder la différence entre énoncé général du type schéma de principe de l'obtention d'un spectre par un dispositif dispersif et le montage effectif. Ou encore il présente des spectres typiques d'absorption ou d'émission qui pourront servir de référence pour interpréter des situations particulières.

La question qui se pose est celle de l'utilisation que les élèves peuvent être amenés à faire de la connaissance de ces énoncés autre que celle scolaire consistant à répondre aux questions posées par le professeur. Dans le cas de l'Univers, il ne s'agit pas de questions quotidiennes mais plutôt de l'intérêt que les élèves peuvent avoir pour le ciel par exemple. Les compétences données dans le programme officiel (voir introduction de ce numéro) ne permettent pas de répondre à cette question. Par exemple, la compétence « Utiliser un système dispersif pour visualiser des spectres d'émission et d'absorption et comparer ces spectres à celui de la lumière blanche » peut se limiter à un savoir faire de réalisation et d'utilisation d'un dispositif expérimental qui, pour la plupart des élèves, ne sera vu qu'à l'école. Ou encore dans la compétence : « Savoir que la longueur d'onde caracté-

rise dans l'air et dans le vide une radiation monochromatique. Interpréter le spectre de la lumière émise par une étoile : température de surface et entités chimiques présentes dans l'atmosphère de l'étoile », l'interprétation se limite à une application directe de l'énoncé appris que le spectre dépend de la longueur d'onde et que les raies peuvent indiquer les entités chimiques présentes dans les gaz traversés par la lumière analysée. Ce savoir permet de situer le travail des astrophysiciens par exemple, ou de comprendre des expériences ou tout au moins leur intérêt qui se font dans l'espace (par exemple Curiosity sur Mars). Cette utilisation nécessite un transfert qui alors doit être préparé par l'enseignement. C'est le cas par exemple de l'activité faite à la fin de la séance étudiée avec le diagramme HR (Hertzsprung-Russell) qui permet de relier la couleur d'une étoile ou encore sa luminosité avec sa température.

Ce savoir à enseigner introduit donc des notions inconnues de la grande majorité des élèves mais aussi des situations dans lesquelles ces notions sont étudiées. Ni l'instrument utilisé pour disperser la lumière, le spectroscopie, ni les représentations obtenues, les spectres, ne sont familiers des élèves. Alors qu'un physicien qui voit un spectre va remarquer d'emblée la présence de raies d'émission, d'absorption, un spectre continu (comme l'arc-en-ciel), etc., les élèves n'ont *a priori* aucune raison de remarquer particulièrement des lignes colorées ou noires au milieu d'autres couleurs et ne disposent pas du lexique nécessaire pour nommer ces éléments ni bien sûr des concepts qui permettent de les interpréter.

Situation de la séance étudiée dans la séquence d'enseignement

Les séances 7 et 8 traitent du chapitre 4 de la séquence utilisée par l'enseignant². Pour situer la séance étudiée (n° 8), il est important de la présenter en lien avec la séance précédente (n° 7). En effet lors de la séance 7 les élèves ont réalisé plusieurs activités expérimentales, conduisant pour l'essentiel à obtenir des spectres dans des conditions différentes ; ces activités sont reprises dans la séance 8. La séance 7 correspond à une séance de TP au sens où les élèves travaillent en demi-classe (le professeur fait deux fois cette séance) et sa durée est de 1 h 30. La séance 8 est en classe entière.

Dans la séquence conçue, le terme de modèle est souvent utilisé, comme on le verra ci-dessous. Ce terme recouvre à la fois des documents que le professeur donne aux élèves et un type de savoir. Ces documents présentent des éléments théoriques et des éléments permettant la modélisation de situations matérielles. Ces éléments constituent le savoir théorique que les élèves doivent apprendre. Il y a en général un modèle par chapitre. Dans cette séance, il est question du modèle des spectres qui est associé au chapitre 4 traité dans la séance analysée, mais d'autres modèles ont été donnés avant, en particulier celui du chapitre 3 qui est relatif à la lumière et sa dispersion³. Il faut noter, comme nous l'avons présenté ci-dessus, que ce qui tient lieu de modèle pour le chapitre 4 est très éloigné des éléments théoriques de la physique ; mais ce sont des éléments de savoir qui vont permettre de comprendre et d'interpréter d'autres situations jouant ainsi le rôle d'une « théorie » transposée.

Premières analyses à l'échelle mésoscopique : organisation de classe et thèmes

Nous avons choisi deux types d'analyse ; chacune correspond seulement à un aspect de l'action conjointe en didactique. La première correspond à l'organisation sociale de la classe La deuxième consiste en une *analyse en thèmes*. Ces deux analyses permettent d'approcher la classe progressivement. L'organisation sociale de la classe peut être repérée avec des événements directement observables. L'analyse en thèmes qui demande une interprétation plus approfondie fournit des données informant directement l'évolution du savoir dans la classe. C'est pour nous une base des analyses ultérieures que nous menons à un niveau plus fin de granularité du savoir. En effet, comprendre une séance d'enseignement demande un long travail d'appropriation, j'ai fait le choix de le commencer par ces deux analyses pour éviter des interprétations trop hâtives ; cette progression n'empêche pas des allers-retours au sein de chaque analyse et permet des recoupements entre elles.

Analyse de l'organisation de la classe

Cette organisation sociale correspond aux niveaux de partage du rythme de travail au sein de

la classe. Nous utilisons trois catégories selon que le rythme de travail est commun à (1) l'ensemble de la classe, (2) chaque groupe (petit groupe) ou chaque élève (individuelle), (3) mixte dans le sens où les élèves travaillent en petits groupes ou seul, mais les interventions de l'enseignant adressées à toute la classe modifient leur rythme de travail.

Comme le montre la partie de la figure 1 correspondant à l'organisation de la classe, toute la classe travaille ensemble pendant près de 10 minutes, puis le professeur demande à ses élèves de travailler en petits groupes pendant treize minutes. Durant cette

période, il ne fait pas d'intervention en classe entière, on n'a donc pas de situation « mixte » ; les élèves travaillent à leur rythme ; puis le professeur et les élèves travaillent tous ensemble. Le passage entre les deux organisations se fait rapidement. Il semble donc que, dès le début de l'année, le professeur ait établi ces deux types d'organisation de travail ; elles font partie de la composante générique du contrat.

Dans cette séance, il est d'autant plus aisé de repérer ces changements d'organisation sur la vidéo que le professeur ne s'adresse pas à la classe entière lors du travail en petits groupes.

Figure 1: Graphe à partir de Transana donnant trois structurations au niveau mesoscopique :

▲ Organisation de classe : classe entière ; petits groupes

▲ Thèmes (voir tableau 2)

▲ Jeux :

jeu 1 : Introduction, mise au travail (0:00:48 - 0:04:54 ; 0:04:6)

jeu 2 : Comprendre la différence entre spectres d'absorption et spectres d'émission (0:04:54-0:08:46 ; 0:03:52)

jeu 3 : Comprendre ce qui a été fait, récupérer les bons documents et répondre aux questions sur le spectre de raies du soleil (0:08:46 – 0:23:09;14:23)

jeu 4 : expliquer les spectres des étoiles et reprendre l'activité 1 de la séance précédente (0:23:09 – 0:31:44 ; 0:08:35)

jeu 5 : Expliquer les spectres des étoiles et reprendre l'activité 1 de la séance précédente (0:31:44.- 0:38:35 ; 0:06:51)

jeu 6 : Reprendre l'activité sur les liens entre couleurs des étoiles et leur température (0:38:35-0:41:47 ; 0:03:12)

jeu 7 : Relier l'activité précédente à un exercice fait dans le chapitre 3 en utilisant un diagramme HR issu de l'astrophysique, interpréter une « vraie » photo de galaxie (0:41:47-0:55:45 ; 0:13:58)

Analyse en thèmes

Ici, l'objectif est de reconstruire le contenu du « savoir enseigné » sans le limiter à l'étiquette qui, comme un titre, désigne le contenu (les enseignants utilisent ces étiquettes quand ils disent « aujourd'hui, j'ai fait le principe d'inertie »). Aller des productions orales et gestuelles des différents acteurs (enseignants et étudiants) au savoir enseigné suppose que le chercheur reconstruise une ou plusieurs significations de ces productions. En effet, plusieurs significations peuvent être construites dans la même situation. Par exemple, l'enseignant en parlant des raies d'un spectre dit « ça pouvait indiquer plein de choses sur la nature de l'étoile vous aviez fait toute une liste, la taille, la grosseur, l'activité, [...], la composition chimique bon ». Pour lui, les raies selon leur place dans le spectre sont associées à une longueur d'onde qui par exemple peut donner des informations sur la présence d'un élément chimique. À propos de cet énoncé du professeur, un élève propose d'ajouter la chaleur dans cette liste. Cette proposition montre que le sens que donne le professeur à ce qu'il a dit et celui qu'en donne l'élève ne sont pas les mêmes. Dans la suite nous indiquerons l'acteur dont nous avons pris le point de vue dans chaque cas.

Dans l'analyse thématique réalisée, nous avons choisi de prendre dans la mesure du possible le point de vue du locuteur. Ainsi quand il s'agit du professeur, notre référence est le savoir à enseigner de la physique, quand c'est l'élève, dans la mesure du possible, nous avons pris son point de vue. Dans les données disponibles nous disposons des prises de paroles des élèves en classe entière et, lors du travail en petits groupes, de leurs échanges avec le professeur.

Nous avons fait une analyse thématique des séances 7 et 8. Ce type d'analyse a déjà été réalisée sur divers corpus (Malkoun, 2007 ; Cross *et al.*, 2009 ; Tiberghien et Malkoun, 2010).

Nous donnons tout d'abord comment nous avons procédé en prenant pour exemple le cas du thème 2 de la séance 8.

Nous avons situé le début du thème (Différenciation entre spectres d'émission et d'absorption du soleil) au cours de l'intervention suivante

(P est le professeur et E un élève, le temps est donné entre parenthèses) :

P (0:04:45.8) alors vous commencez puisque vous avez fait ça chez vous on repasse au mode activité vous discutez avec votre voisin ou votre voisine pour confronter vos réponses à deux ça sera peut-être plus facile en échangeant que tout seul attention vous avez pour faire ce travail-là le droit voire le devoir d'utiliser le modèle des spectres et en particulier puisqu'on en est là vous avez été lire on l'a lu petit à petit ce modèle vous avez maintenant à votre disposition le paragraphe c qui s'appelle spectre d'absorption (0:05:34.6)

E c'est pas facile de les reconnaître (0:05:36.7)

Ce début du thème 2 est déterminé non seulement par ce que dit le professeur mais aussi par l'intervention de l'élève que le professeur interprète comme étant une difficulté de différencier les spectres d'émission et d'absorption dans l'intervention suivante :

P ... mais surtout ce qui vous paraît difficile Julia dans l'activité 5 à mon avis c'est que il faut prendre en compte à la fois le modèle sur les spectres d'émission et le modèle des spectres d'absorption (0:06:01.1)

Nous considérons que le professeur change le contenu thématique de son discours qui dans le thème 1 n'explicite pas de savoir mais y fait référence implicitement par le numéro des activités, alors que dans le thème 2 il explique une différence entre les deux types de spectre.

Nous avons ainsi coupé à un moment donné (en 0:05:36.) ; cette coupure instantanée est due au logiciel Transana qui nécessite de déterminer un instant alors qu'en fait il peut très bien y avoir un certain recouvrement entre la fin d'un thème et le début du suivant ; c'est le cas ici. L'intervention du professeur peut être considérée, au moins lors de la première partie, comme la conclusion du thème 1 et l'introduction du thème 2.

Le titre du thème est construit à partir *des mots utilisés dans la classe* et non à partir des termes du programme officiel ou des termes standard de la discipline.

Ainsi, nous avons intitulé le thème 2 : Prendre en compte les spectres d'émission et d'absorption⁴.

Début-Fin	Durée	Titre thème
0:00:00.0-0:29:06.6	0:29:06.6	1 Étude des spectres de la lumière émise par une ampoule à incandescence suivant son intensité
0:29:06.6-0:34:18.6	00:05:12	2 Couleur d'un métal / lumières émises par un métal que l'on chauffe
0:34:18.6-0:39:03.1	00:04:44	3 Définition d'un spectre et obtention d'un spectre d'émission
0:39:03.1-0:58:22.5	00:19:19	4 Spectres d'émission de différentes lampes
0:58:22.5-1:13:39.8	00:05:17	5 Spectres à travers des solutions liquides (spectres d'absorption)
1:13:39.8-1:18:17.1	00:04:37	Travail à faire

Tableau 1 : thèmes de la séance 7 (1/2 classe)

0:00:00.0-0:04:54.0	00:05:36	1 Préparation du travail : recherche et mise à disposition des documents manquant
0:04:54.0-0:08:46.8	00:03:10	2 Prendre en compte les spectres d'émission et d'absorption du soleil
0:08:46.8-0:23:09.9	00:14:23	3 Reconnaissance des spectres d'absorption
0:23:44.3-0:31:44.4	00:08:00	4 Spectres d'émission et lumière émise par une étoile
0:31:44.4-0:38:35.2	00:06:51	5 Spectres de la lumière émise par un solide, un liquide chaud, / à haute température et par une étoile (reprise activité 2 partie A, modèle Ch 4 et élargissement)
0:38:35.2-0:41:47.2	00:03:12	6 Interprétation de la couleur des étoiles en termes de température
0:41:47.2-0:55:45.5	00:13:58	7 Interprétation de la couleur des étoiles en termes de température avec le diagramme HR (Hertzsprung-Russell)

Tableau 2 : thèmes de la séance 8 (classe entière)

Nous donnons dans les tableaux 1 et 2 les découpages en thèmes faits pour les séances 7 et 8

Globalement les thèmes des deux séances relèvent des mêmes compétences du programme : il s'agit des spectres d'émission et d'absorption, de leur obtention et de leur interprétation du point de vue de la source, sa température, sa composition. Dans ces deux séances, les mêmes sources, soleil, lumière du jour, néon, lampe à incandescence, lampe à vapeur d'atomes sont en jeu ; cependant dans la séance 8 le cas du soleil, étendu aux étoiles, est beaucoup plus développé, en particulier dans les thèmes 5, 6 et 7.

L'ensemble de ces thèmes montre une cohérence autour des spectres d'émission et d'absorption, et pourrait faire penser que le réseau de connaissances en jeu est limité. En fait, comme le montre l'analyse au niveau microscopique et l'analyse en termes de jeux, ce n'est pas le cas. La notion de spectre incorpore un nombre important de connaissances variées et de plus est utilisée pour interpréter les étoiles dans l'univers, thème général donné dans le programme.

Analyse en facettes au niveau microscopique

L'analyse en facettes répond à la nécessité d'une analyse à un niveau fin de granularité du fait de notre hypothèse d'apprentissage. Pour cela nous

faisons appel aux travaux de Minstrell (1992) repris par Galili et Hazan (2000). Ces auteurs identifient et cataloguent des éléments de savoir ou de raisonnement que les élèves semblent appliquer dans différentes situations. Ces éléments ont la taille d'une phrase.

Dans notre étude, un énoncé effectif (qui peut correspondre à plusieurs interactions verbales) est associé à une facette dans la mesure où le chercheur considère qu'il a la même signification. La signification peut être celle du locuteur ou celle d'un autre interlocuteur. Les facettes d'un même ensemble de savoir forment un groupe notionnel (voir tableau 3).

Du fait que cette analyse est la première que nous faisons de cet enseignement, nous avons dû construire un catalogue de facettes. Pour cela un aller-retour entre la vidéo, sa transcription et les documents donnés aux élèves avec en arrière plan une analyse du savoir a été nécessaire. Ce catalogue sera affiné lors des analyses d'autres séances. Nous avons regroupé les facettes à partir de l'analyse du savoir à enseigner. Le tableau 3 donne ces regroupements et quelques formulations de facettes. L'essentiel des facettes permet l'analyse à partir du point de vue du professeur, ce qui dans cette séance se justifie car il est le principal locuteur. Cependant nous avons quelques facettes du point de vue de l'élève.

Voici un exemple d'analyse en facettes pris dans le cas d'une intervention du professeur en classe entière :

P (0:06:11.1) en particulier vous savez les traits noirs les raies noires dans le fond continu les raies noires c'est comme ça qu'on va le dire ces raies noires elles vont apparaître dans le spectre du soleil regardez hein spectre du soleil simplifié il est là je vous le montre (*P montre le spectre*) vous l'avez déjà vu...

Dans cet extrait, il y a deux éléments de savoir en jeu (en gras). Le premier est considéré comme ayant le même sens que la facette : « Le spectre du soleil a des zones noires, des raies noires » (numérotée 3.1.1 dans le tableau 3, 3.1 réfère au groupe et 1 réfère au sous-numéro de la facette dans le sous-groupe).

La deuxième partie de l'intervention est plus délicate à coder car le professeur montre le spectre

Groupes notionnels	Facettes
1. Lumière	
1.1 Lumière et son analyse	1. La lumière blanche n'est pas seulement naturelle (du soleil) 2. La lumière peut être analysée 3. Quand on analyse la lumière des étoiles on obtient des spectres...
1.2 Propriétés des sources de lumière	...
2. Vision, propriété de l'œil - lumière	...
3. Spectres	...
3.1 Descriptions des spectres en lien avec une source	1. Le spectre du soleil a des zones noires, des raies noires 2. Dans les spectres des étoiles il y a des raies 3. Le spectre de la lumière blanche est continu du rouge au bleu 4. Le spectre du soleil (simplifié) est le spectre de la lumière blanche 5. Le spectre du soleil donne un bel arc-en-ciel (a toutes les couleurs de)...
3.2. Lecture du spectre	...
3. 3. Lien couleur spectre longueur d'onde	...
3.4. Propriétés des spectres d'émission (éventuellement spécifiques d'une source	...
3.5 Propriétés des spectres d'absorption (éventuellement spécifiques d'une source	...
4. Spectroscope	1. Pour analyser la lumière émise par une source on la fait passer par un dispositif qui la disperse et on obtient un spectre d'émission...
5. Température - source - spectre	...
5.1 Température d'une source en lien avec la couleur	...
5.2. Température d'une source et les spectres obtenus	...
6. Liens entre source de lumière et spectre	1. Les raies du spectre des étoiles sont liées à la nature de l'étoile (taille, grosseur, composition chimique) 2. Suivant l'intensité de lumière de la source, le spectre est différent [faux]
7. Représentation – diagramme	...
8. Fonctionnement savoir	...
9. Étude des étoiles	...

Tableau 3 : Les catégories de facettes et quelques exemples de facettes

qui est un spectre continu (le professeur le dit) de la lumière blanche sur le document présenté ; il est donc nécessaire de prendre en compte la représentation spectrale qui n'est pas formulée mais montrée.

Ainsi, pour cette partie, les facettes suivantes ont été codées :

- ▲ Le spectre du soleil est le spectre de la lumière blanche (3.1.4)
- ▲ Le spectre de la lumière blanche est continu du rouge au bleu (3.1.3)

Figure 2 : les facettes avec des groupes mis ensembles pour rendre le graphe plus lisible (tout ce qui est relatif aux spectres, à la lumière, à la température, à la vision et aux étoiles)

Nous avons analysé toute la séquence en facettes en affectant à la facette un instant qui se situe dans l'intervalle correspondant à l'interaction dont elle est issue. Ainsi si deux facettes sont codées sur un même intervalle elles seront associées à un même temps.

La figure 2 donne les facettes selon le groupe auxquels elles appartiennent en fonction de l'évolution temporelle de la séance. Il apparaît une évolution, d'abord une centration sur les spectres, où la vision de ces spectres intervient ; la fin de la séance est centrée sur les étoiles. Cette évolution est en accord avec les thèmes (voir tableau 2).

Une narration de la séance étudiée

Nous introduisons ici la narration de cette séance que nous avons faite à la suite de la demande de Gérard Sensevy. Elle est située à cet endroit du texte pour trois raisons. Tout d'abord construire cette narration n'a été possible qu'à la suite des analyses, ensuite elle suppose que le lecteur ait une certaine connaissance de la séance et enfin elle devrait intro-

duire à l'analyse en jeu présentée ci-dessous. La perspective choisie est théorique ; elle porte sur l'ajustement entre les actions du professeur et des élèves.

Avant de commencer la narration, il faut avoir à l'esprit que cette séance en classe entière se situe après une séance en demi-classe au cours de laquelle les élèves ont réalisé des expériences. Cette narration pourrait s'intituler « vers un recalage entre le temps d'enseignement et le temps d'apprentissage ».

La séance démarre par un rappel du professeur qui mentionne aux élèves qu'ils auraient dû terminer une activité chez eux. Il est interrompu par une élève qui dit que c'était trop difficile. Le professeur accepte et dit que cela va être repris. Cet échange est un des signes de la reconnaissance mutuelle de l'écart entre la demande du professeur et l'état d'avancement des élèves. Après une courte explication du professeur sur ce qu'il considère comme difficile dans l'activité à terminer, en l'occurrence la différence entre les spectres d'émission et d'absorption, le professeur et les élèves s'emploient à combler cet écart essentiellement pendant le travail en petits

groupes qui débute vers la dixième minute et dure près d'un quart d'heure. Le professeur distribue les documents manquant, répond aux questions des élèves ; ces derniers peuvent manifester leur incompréhension, le professeur leur répond en termes d'explication. Ensuite, celui-ci, en classe entière, corrige la série d'activités (qui comportent des expériences) faites la séance précédente en partant, à la demande de certains élèves, de la première qui introduit aux spectres ; il aborde ensuite l'activité 2 qui porte sur les liens entre la couleur de l'objet qui émet la lumière ou la composition de son spectre et sa température. Cette reprise *n'est pas une simple correction*, le professeur présente d'abord le cadre général théorique donné dans le texte du modèle puis situe la situation étudiée dans ce cadre. Pendant cette reprise des premières activités, certains élèves posent des questions qui sont dans le sujet mais qui manifestent une compréhension superficielle. Le professeur y répond systématiquement. De même l'utilisation par le professeur de différents spectres, conduit quelques élèves à poser des questions qui montrent qu'ils ne « voient » pas les spectres comme le professeur ; ceci manifeste que, pour certains élèves, subsiste un décalage entre les activités réalisées et leur compréhension conceptuelle. Dans la dernière partie de la séance, vers la 40^e minute, il introduit un diagramme dit HR utilisé par les astrophysiciens (magnitude et température superficielle des étoiles) et une (vraie) photo de galaxie en faisant un lien avec un exercice fait dans le chapitre précédent. Plusieurs élèves manifestent qu'ils suivent de près ce qui est traité par le professeur, ils corrigent spontanément le professeur sur la couleur d'une étoile en lien avec sa température, ils anticipent la lecture que fait le professeur du diagramme HR. Le décalage n'apparaît pas dans cette partie. Cette séance a duré environ 55 minutes et on peut noter qu'après 5 minutes de pause la séance reprend ce qui peut expliquer qu'il n'y ait pas de conclusion.

Analyse en termes de jeux

Cette analyse permet d'étudier les rythmes des actions de la classe prise comme un système. Il s'agit de modéliser l'ensemble des actions de la classe relatives aux transactions entre le professeur et les élèves par des *jeux*. Nous ne prenons pas spécifiquement les actions entre les élèves, du fait de la façon dont

se déroule la séance même si cela n'est pas exclu *a priori*. Pour Sensevy (2007) :

« ... un nouveau jeu nécessitera un nouveau contrat, c'est-à-dire, en particulier, de nouvelles attentes de l'enseignant à des élèves et des élèves à l'enseignant [...] . Ce contrat nouveau, propre au nouveau jeu, est accompagné d'un nouveau milieu. » (p. 27)

Cette structuration est liée à l'évolution du contrat didactique, plus précisément, il y aura une modification d'un jeu quand il y aura un changement, soit dans l'enjeu du jeu, la règle du jeu, ou le milieu dans lequel le jeu est joué.

Dans cette analyse, nous avons construit les jeux en prenant en compte, l'enjeu, le milieu, et la règle. Ainsi, un changement de thème va conduire à un changement de jeu, puisque l'enjeu de savoir va changer, mais il peut y avoir plusieurs jeux dans un thème car la règle ou le milieu peuvent évoluer. En fait, comme nous le verrons ci-dessous, le découpage n'est pas aussi simple ; il peut y avoir des enjeux simultanés dans la classe, l'enjeu peut évoluer rapidement sans réel changement de règle, etc.

Avant d'aller plus loin dans l'analyse, du fait de l'importance dans le milieu didactique des spectres, une réflexion sur leur nature s'impose. Un spectre est à la fois une donnée observable recueillie directement à partir d'un instrument, le spectroscopie, mais *il est aussi en quelque sorte une réification d'un modèle théorique*. Il peut comporter un continuum de raies de couleurs, des raies de couleur séparées, des raies noires dans un continuum ou des raies de couleur sur fond noir. Ainsi, à chacune de ces caractéristiques sont attribués des termes spécifiques qui permettent de les décrire mais qui sont dictés par le modèle de la lumière. Au niveau de la classe de seconde on dit que chaque couleur correspond à une longueur d'onde et que le noir correspond à l'absence de lumière ; ainsi une raie noire dans un spectre quasi continu va indiquer la longueur d'onde de la lumière (plus précisément de l'onde) dans le spectre qui a été absorbée. Alors que la couleur d'un spectre correspond à une longueur d'onde, la couleur d'un objet dans notre environnement quotidien, ayant une couleur que l'on perçoit identique, peut correspondre à différentes longueurs d'onde. En effet, la couleur dépend de

la perception visuelle ; elle n'est pas une grandeur physique. Quand on analyse un spectre à l'œil nu, ce qui est le cas dans cette séance, la perception *devient un moyen d'accès direct à la longueur d'onde* mais pas forcément à la couleur vue sans spectroscopie.

Jeu 1 : Introduction, mise au travail, reconnaissance du manque de documents (de 0:00:00 à 0:04:54)

Ce jeu a lieu en classe entière (voir figure 1) ; il est court et a pour *enjeu* la mise au travail et non pas un savoir spécifique.

Quand les élèves sont entrés et avant qu'ils ne soient assis le professeur commence par dire :

P on est en classe ça y est c'est bon chuuuut (0:00:53.1)

Le professeur donne ensuite l'objet de la première partie de la séance : la fin du chapitre 4, et prépare l'environnement matériel des élèves, il leur demande d'avoir devant eux le texte des activités.

Quand une élève dit au professeur (0:02:37) « c'était trop compliqué », il l'accepte et répond : « on va y revenir ». Le professeur ne semble pas surpris. En fait il a prévu de revenir sur les activités expérimentales réalisées la séance précédente (communication personnelle). En ce sens quand le professeur annonce « on va y revenir », et demande de reprendre des documents déjà étudiés, cela suppose que cette séance ne va pas introduire des notions nouvelles. De plus, il apparaît que les élèves ne disposent pas de tous les documents nécessaires. Le professeur commence à en faire une distribution. Cependant, il faut noter que cette mise à disposition des documents se poursuit au-delà de ce jeu avec des interruptions jusqu'en 0:14:54.

Les *règles* de ce jeu, après l'entrée dans la classe, la mise en silence, consistent à chercher et trouver les « bons » documents. Ceci fait partie du contrat que le professeur a commencé à établir dans les séances précédentes : les documents donnés en classe doivent être classés dans un cahier ou un classeur et donc facilement repérables.

Dans ce jeu il n'y a quasiment pas de verbalisation du savoir, seul un rôle du modèle est évoqué il s'agit du fonctionnement du savoir ; en revanche la dynamique de ce jeu relève essentiellement de la mésogénèse : il y a une modification du milieu de la classe et de chaque élève.

À noter qu'en fin de jeu, le professeur annonce que le travail va se faire en « mode activité », ce qui suppose un travail en petits groupes et il précise que la feuille « modèle » doit être disponible et une fonction du modèle : justifier les réponses. Le professeur fait à nouveau allusion au fonctionnement du savoir. On peut noter que dans la figure 2 le jeu 1 n'apparaît pas ; cela est dû au fait que dans cette figure il n'y a pas les facettes sur le fonctionnement du savoir (groupe 8, tableau 3) et que ce sont les seules facettes en jeu.

À la fin de ce jeu on ne sait pas si les élèves ont trouvé les documents nécessaires mais la suite montre que ce n'est pas le cas pour un assez grand nombre d'élèves à ce moment-là. À ce stade-là, le jeu n'est pas gagnant. Comme on le verra, il semble que ce jeu soit gagné lors du jeu 3.

Nous aurions pu scinder ce jeu en deux dans la mesure où si l'enjeu de « mise au travail » reste le même, le milieu change puisque cette mise au travail nécessite des documents à disposition que certains élèves ont alors que d'autres les réclament⁵. Finalement nous avons choisi un seul jeu car la règle et l'enjeu restent les mêmes et l'évolution du milieu est l'enjeu de ce jeu.

Jeu 2 : Comprendre la différence entre spectres d'absorption et spectres d'émission (de 0:04:54 à 0:08:46 ; durée 0:03:52)

Ce jeu a lieu en classe entière. Son *enjeu* est donné par le professeur en réaction à une question d'élève. Le professeur suppose que, pour résoudre une activité, une difficulté des élèves porte sur la différence entre spectres d'absorption et d'émission :

P [...] ce qui vous paraît difficile Julia dans l'activité 5 à mon avis c'est que il faut prendre en compte à la fois le modèle sur les spectres d'émission et le modèle des spectres d'absorption (0:06:01.1)

La règle pour les élèves serait d'écouter et de comprendre non seulement ce que le professeur dit mais aussi les spectres qu'il montre.

Alors que nous avons intitulé le jeu, différence entre spectres d'émission et d'absorption, le terme « absorption » n'est prononcé qu'une seule fois dans l'annonce. Mais ce titre se justifie dans la mesure où, implicitement, les raies noires correspondent à de l'absorption

P : on va avoir à prendre en compte à la fois l'émission mais aussi les zones noires

mais le professeur ne l'explicite pas. Dans cette formulation un phénomène, l'émission, est mis au même niveau qu'un fait scientifique, des zones noires dans le spectre. Peut-on dire que dans ce jeu il y a une discontinuité du savoir ? Il y a en fait un problème de « *réticence didactique* » car, si le professeur avait précisé que les raies noires correspondent à de l'absorption, il aurait donné une grande partie de la réponse à la première question de l'activité 5 sur laquelle les élèves doivent travailler (voir le texte de l'activité 5 dans l'annexe 1). Il y a aussi la situation particulière du savoir en jeu ; comme nous l'avons présenté ci-dessus, ce savoir est essentiellement un ensemble d'énoncés qui relie des conditions expérimentales et des phénomènes tout en jouant le rôle d'explication d'autres faits expérimentaux. Ceci favorise un discours où les arguments théoriques qui jouent un rôle d'explication sont peu présents.

Du point de vue de l'avancée du savoir, on peut aussi noter que :

▲ le professeur met en attente le travail consistant à compléter le modèle en collant les « bons » spectres.

P [...] vous avez pour faire ce travail-là le droit voire le devoir d'utiliser le modèle des spectres (0:05:20.2) et en particulier puisqu'on en est là vous avez été lire on l'a lu petit à petit ce modèle vous avez maintenant à votre disposition le paragraphe c qui s'appelle spectre d'absorption (0:05:34.6)

E c'est pas facile de les reconnaître (0:05:36.7)

P alors c'est pas facile de les reconnaître on les collera tout à l'heure ne les collez ne les collez pas tout de suite (0:05:42.3)

▲ le professeur fait un rappel sur le spectre continu du soleil réalisé et le changement où on ne voit plus ce spectre comme uniquement continu mais avec des raies noires :

P (0:07:18.0) ce que vous demande le début de l'activité 5 et euh en utilisant le modèle et le document 2 c'est effectivement d'être capable d'interpréter pourquoi pour le soleil on a observation de ces raies noires vous voyez que on a ajouté quelque chose par rapport à ce qu'on a dit il y a quinze jours je sais pas si vous soyez la progression il y a quinze jours on disait oh la lumière du jour la lumière du soleil c'est ça (*P montre le spectre de la lumière blanche*) vous vous souvenez on disait c'est continu il y a un bel arc-en-ciel spectre de la lumière blanche

Ici le professeur établit explicitement des liens entre ce qui s'est fait avant, non seulement la séance précédente mais celle d'avant ; il demande aux élèves de « se souvenir ». De plus, on trouve là une situation typique des sciences expérimentales mais en général difficile pour les élèves, une donnée comme un spectre peut être « vue » différemment, soit comme un spectre continue de lumière blanche, soit comme un spectre continu mais avec des raies noires. Le professeur le justifie par la qualité du dispositif, les spectroscopes.

L'analyse en facettes montre d'une part que la plupart des facettes sont relatives aux spectres, à leur description et leur lecture (10 sur 13 facettes) et d'autre part que toutes les facettes (13) sont à l'initiative du professeur.

Le savoir met en jeu :

▲ des liens entre ce qui s'est fait il y a quinze jours (le spectre continue du soleil) et ce qui s'est fait à la séance précédente, le spectre de raies ;

▲ une reformulation par le professeur des descriptions des spectres et de leur lecture, obtenus pendant la séance précédente ; à ce stade, l'analyse en facettes montre que le discours du professeur est plus centré sur la description en termes proches de l'expérience et sur ce que l'on voit dans un spectre (couleur, caractéristique de la lumière) que sur des concepts ;

▲ un élément probablement nouveau porte sur la qualité d'un instrument de mesure : ici le spectroscope qui permet d'obtenir des spectres différents (avec ou sans raies d'absorption) pour une même source.

Ainsi dans ce jeu de courte durée, le contenu est initié par une remarque d'élève sur la difficulté d'une activité, mais est géré entièrement par le professeur qui prend la responsabilité d'établir des liens entre le passé et le présent pour présenter la question à travailler.

Dans ce jeu, il n'est pas possible de dire si des acteurs ont gagné, qu'il s'agisse du professeur ou des élèves, même si certains élèves ont pu avancer dans leur compréhension et d'autres pas du tout.

Jeu 3: Comprendre ce qui a été fait, récupérer les bons documents et répondre aux questions sur le spectre de raies du soleil (de 0:08:46 à 0:23:09; durée: 0:14:23)

Analyse chronologique

Ce jeu correspond à un travail en petits groupes. Le professeur donne les documents et répond aux questions des élèves. Le titre de ce jeu suppose plusieurs enjeux simultanés ; on peut considérer qu'il ne s'agit pas d'un seul jeu, mais de jeux imbriqués, qui, comme nous le proposons en fin d'analyse, peut correspondre à un seul enjeu, celui d'un ajustement du travail du professeur et des élèves afin de disposer en commun des réalisations et documents qui leur permettent de travailler ensemble.

Voici la façon dont nous avons construit les enjeux. Le jeu commence par l'expression d'un enjeu par le professeur (en gras) :

P (0:08:46.8) la question c'est maintenant comment à l'aide de l'ensemble du modèle que vous avez sous les yeux vous pouvez avec une phrase ou deux pas plus interpréter l'existence de ces raies noires c'était la première question de euh cette activité 5

Ici le professeur est dans la continuité de ce qu'il a entamé au jeu 2.

Mais cet enjeu est explicitement élargi moins d'une minute plus tard : il s'agit de comprendre et récupérer les bons documents :

P alors pendant que vous commencez à réfléchir à ça à deux ou à trois je donne ce qu'il manque (*le professeur commence à distribuer*) (0:09:25.3)

La partie du jeu correspondant à récupérer les bons documents semble gagnée par le professeur et les élèves en 0 :14:54 :

P [...] je vous redonne le document 1 (*P montre le document*) c'est un document sur lequel vous avez déjà travaillé (0:14:37.1)

E aaaaaah..... voilà (0:14:39.1)

P il y en a un pour deux mais c'est pareil (0:14:42.8)

E je l'ai cherché partout (inaud.) (0:14:45.1)

P non mais je pensais que vous vous en souviendrez souviendriez je vous en donne un pour deux vous le laissez bien ici hein (0:14:54.1)

Le professeur annonce un enjeu de compréhension qui pourrait être considéré à ce moment-là comme le seul enjeu de savoir :

P [...] (0:08:46.8) la question c'est maintenant comment à l'aide de l'ensemble du modèle que vous avez sous les yeux vous pouvez avec une phrase ou deux pas plus interpréter l'existence de ces raies noires c'était la première question de euh cette activité 5 donc c'est parti je vous laisse échanger sur la première et sur la deuxième question et puis sur le petit exercice à faire à la maison (0:09:09.3)

En fait, quand le professeur se déplace dans la classe, les questions des élèves ne relèvent pas toutes de l'activité 5, mais aussi d'autres points, vus dans la séance précédente. De plus il semble qu'implicitement les élèves doivent compléter leur modèle comme le montre l'intervention du professeur à la fin de ce jeu :

P allez vous êtes prêts (0:22:18.7) est-ce que vous commencez à avoir tous vos spectres collés sur le modèle (0:22:29.6)

Pour préciser ce décalage entre enjeux annoncés et ce qui se passe, nous présentons par ordre chronolo-

gique tous les sujets des questions posés au professeur par un élève ou un petit groupe pendant ce jeu. En effet le professeur se déplace pour distribuer et répond également aux questions des élèves. Nous analysons certains des échanges quand ils permettent de montrer les difficultés de compréhension des élèves.

Rappel du nom d'un dispositif, le disque de Newton :

E monsieur comment ça s'appelle euh le disque quand il y a plus de lumière et quand
P le disque de Newton (0:10:28.7)

Quel est l'objet de la question ?

E mais y quoi à dire (inaud.)
P ben ici on va te demander l'ensemble du spectre et pourquoi il est presque continu (0:11:42.0) d'accord
E parce qu'il y a des raies noires (0:11:44.2)
P oui mais maintenant tu peux en dire un peu plus normalement une fois que tu as répondu à ça (0:11:47.4)
E ah oui
P tu dois prendre en compte ces deux questions-là pour pouvoir répondre à ça

Ici on est bien dans l'enjeu de l'activité 5 l'interprétation du spectre de raies du soleil.

Interprétation d'un spectre (intervention initiée par le professeur)

1. P tu as compris t'as compris comment ça devrait être c'est juste moins beau je suis d'accord (0:12:13.7) [il s'agit d'un spectre]
2. E oui donc là c'est l'absence de couleur parce que le noir c'est l'absence de couleur
3. P oui
4. E et toutes les zones avancent là-bas plus la lumière est blanche (0:12:23.1)
5. P (inaud.)
6. E ben plus il y a de lumière
7. P ce spectre-là ça correspond à une lumière qui est de quelle couleur (0:12:29.8)
8. E ben éteinte
9. P l'ensemble du spectre
10. En noir
11. P les filles vous pouvez répondre (les filles sont juste à côté)

12. (E tourne la tête vers le prof)
13. P le dernier là (0:12:42.2) celui-là (P montre quelque chose sur le cahier de la fille à côté)
14. E (regarde sur le cahier de la fille à côté) aaah ah ben voilà (0:12:47.0)
15. P ça correspond à une lumière qu'on voit
16. E rouge bordeaux (0:12:49.0)
17. P qu'on voit comment (0:12:50.1)
18. E rouge bordeaux euh
19. P on la voit rouge (0:12:51.7)
20. E (inaud.)
21. P c'est ton filament c'est le filament de la lampe (0:12:55.2)
22. E donc là c'est
23. P quand elle était pas beaucoup éclairée (0:12:56.9)
24. E c'est mi-éteint mi-allumé mi éteint à peu près
25. P mais non
26. E (rire) (0:13:02.9)

Cet échange montre la difficulté d'interpréter un spectre en vue de l'associer à une caractéristique d'une source ; ici sa température. Cela nécessite de « voir » le spectre en donnant aux couleurs une interprétation en termes de longueur d'onde, puis d'associer les longueurs d'onde à la température de la source émettrice. Ici il s'agissait de spectres obtenus à partir d'une ampoule à filament plus ou moins éclairée (on fait varier l'intensité et donc la température du filament). La différence observable entre ces spectres porte sur les couleurs qui apparaissent rouge, jaune, vert, bleu. Ces couleurs sont caractéristiques d'une longueur d'onde, et donc sont à une position donnée dans le spectre ; elles n'avancent pas dans le spectre comme le dit l'élève au tour de parole (TdP) 4. L'élève essaie de relier directement l'intensité lumineuse de l'ampoule à la différence des spectres obtenus alors que l'intensité lumineuse de la lampe n'est pas essentielle dans l'interprétation physique, c'est la température du filament qui est déterminante (TdP 7-8, 23-24). Ainsi cet élève semble vouloir relier l'éclat de l'ampoule et le spectre obtenu, mais aussi bien pour le spectre que pour l'ampoule il ne prend pas les bons faits observables.

Dans sa réponse, le professeur ne donne pas d'explication, mais il semble que les réponses de cet élève⁶ ont initié ou confirmé la décision du professeur de refaire un exposé d'explication (il part chercher quelque chose vraisemblablement son ordinateur).

Cet extrait illustre bien la difficulté pour un élève de « voir » sur des données (ici un spectre) ce qu'il devrait voir du point de vue de la physique. Ainsi il y a un décalage entre ce que la séance précédente aurait pu permettre à l'élève de comprendre puisqu'il a fait l'expérience et ce qu'il a compris.

Problème d'unités dans les graduations

E(G20) (0:16:03.1) pourquoi il y a marqué 7000 ??
étoiles alors qu'avant c'était 500 euh

P parce que c'est c'est c'est pas des c'est attends ah
mais c'est juste que c'est pas en nanomètre

Ces questions de graduations apparaissent plusieurs fois au cours de la séance, car suivant les sources d'où proviennent les spectres, les graduations varient, l'orientation (du plus ou moins ou du moins au plus) peut changer; ceci ne perturbe pas l'enseignant, mais ne facilite pas l'interprétation de l'élève.

Différence entre spectres d'émission et d'absorption

1. E (fille au premier rang; F29) monsieur
il y a un truc qui me perturbe depuis beaucoup de séances (0:17:05.0)
2. P alors dis-moi
3. E c'est quoi la différence entre un spectre d'absorption et d'émission
4. P eh ben on va reprendre ça ensemble le spectre d'émission c'est un spectre qu'on obtient lorsque de la lumière est émise directement (0:17:16.4) par une source d'accord (0:17:19.4)
5. E (inaud.)
6. P et les spectres d'absorption regarde c'est le petit schéma qui est dans ton modèle (*P se déplace de son bureau vers l'élève qui est au premier rang*) le spectre d'absorption c'est le spectre que tu obtiens si tu envoies de la lumière blanche qui traverse un objet transparent d'accord (*montre sur la feuille du modèle*) (0:17:34.7) et ce que tu obtiendras derrière ce sera de la lumière plus ou moins colorée le spectre sera un spectre d'absorption pourquoi parce que ça sera plus le spectre de couleur comme ça d'accord (*montre un spectre*) ça sera un spectre qui aura été en partie absorbé alors il y a plusieurs façons d'être absorbé ça peut être absorbé par bandes comme ça ou il peut être absorbé par raies (0:17:55.7) une lumière peut être absorbée par raies ou par bandes d'accord (0:18:00.8)

7. E et en fait comme la lumière elle est blanche là
8. P oui (0:18:02.9)
9. E si c'est pas passé par...
10. P si y a pas de corps ici on obtient le spectre de la lumière blanche bien sûr (0:18:09.5)
11. E (inaud.) mais vous avez dit ? directement ? comment on obtient ça alors comment on obtient ça (0:18:22.9)
12. P ça c'est un spectre d'émission avec ce dispositif on a une source qui est pas de la lumière blanche des vapeurs par exemple et on regarde le spectre (0:18:34.6)
13. E et en fait là quand on dit lumière blanche c'est [...] (0:18:51.7) [le professeur demande à l'élève de derrière de ramasser des papiers qu'il a jeté par terre]
14. E mais ça c'est la lumière du soleil pas seulement les lumières naturelles ça
15. P pas forcément regarde le le on l'a fait avec le rétroprojecteur c'est pas de la lumière naturelle (0:19:02.9)

Ici le professeur explique la distinction des spectres d'émission et d'absorption en s'appuyant sur le dispositif expérimental (TdP 6 et 10) à la suite de la proposition de E au TdP9, mais il évoque aussi le type de spectres, spectres de bande et de raies (TdP6). La formulation du professeur montre combien les termes peuvent à la fois référer à ce que l'on observe et à des concepts. Alors que la première partie de l'intervention 6 réfère clairement à un dispositif expérimental générique, la fin de l'intervention met en jeu « un spectre qui aura été absorbé » et qu'« une lumière peut être absorbée par raies ou par bandes ». Dans cette partie de l'intervention, le terme de « spectre » est utilisé pour celui de « lumière », ce qui peut être un lapsus. Ce qui suit montre une *contraction*, ou encore une « fusion » entre un événement, l'absorption par un corps, et son résultat, le type de spectre obtenu (raies ou bandes). On peut noter que certains domaines de la physique enseignée sont plus délicats que d'autres, le domaine de la lumière nous semble particulièrement difficile, en particulier parce que la lumière ne se voit pas; seul son effet sur la matière est perceptible.

Cet exemple montre aussi un décalage entre ce que la séance précédente aurait pu permettre à cet élève de comprendre et ce qu'elle a compris. Ici, le savoir en jeu est pris avec un point de vue trans-

versal par rapport à l'ordre chronologique du savoir dans la séance précédente. Il ne s'agit plus d'étudier successivement les spectres mais d'aborder plusieurs spectres de différents types et de les caractériser. On peut considérer que le professeur introduit de la cohérence dans le savoir.

L'ensemble de ces interventions correspond à huit facettes, cinq sont réparties sur l'ensemble des groupes relatifs aux spectres, deux autres portent sur la lumière et les liens entre source de lumière et spectre. Ainsi, les spectres sont une préoccupation commune des élèves mais les questions posées à leur propos sont variées. De plus, certaines portent sur des confirmations, des suppléments d'information, d'autres relèvent d'une demande de compréhension profonde du savoir en jeu. *Les élèves de cette classe semblent avoir des niveaux de compréhension très différents.* Dans tous les cas sauf un, le professeur explique. Dans le cas où le professeur n'explique pas, l'élève manifeste une incompréhension profonde des spectres, il semble qu'il décide alors de donner son explication en classe entière.

Analyse globale du jeu

Les 3 enjeux simultanés de ce jeu manifestent que, dans la première partie de cette séance, il y a des décalages explicites : entre les documents nécessaires et les documents disponibles, entre la compréhension nécessaire pour répondre aux questions de l'activité 5 et la compréhension effective des élèves. Le premier décalage est du côté de l'enseignement, en revanche le deuxième consiste en un écart entre le temps d'enseignement et celui de l'apprentissage. Les différents enjeux pourraient être interprétés par un enjeu global, un méta-enjeu, qui serait le « *recalage* » de ces écarts ou encore un *ajustement* entre les actions du professeur et des élèves.

Dans ce jeu, comme le montre les différents échanges avec le professeur, la responsabilité du savoir est très majoritairement du côté des élèves. Le *contrat* qui apparaît est que les élèves peuvent poser des questions et s'attendent à ce que le professeur réponde dans un registre explicatif. En effet les questions posées sont plus du côté de l'explication que de la recherche d'une bonne réponse. Il apparaît que les élèves *peuvent montrer au professeur leur « igno-*

rance ». Ainsi les élèves peuvent poser toutes sortes de question sur le savoir, s'attendre à des réponses du professeur. Cependant dans le cas de l'échange n° 3, le professeur commence à donner une explication, mais après la réponse de l'élève manifestant une incompréhension que nous avons analysée ci-dessus, le professeur s'en va et son attitude semble montrer que l'explication sera donnée mais à toute la classe. On peut noter que le professeur reprend instantanément un élève qui a jeté quelque chose par terre (0:18:41).

Dans ce jeu, il n'y a pas d'avancée du savoir sur l'ensemble de la classe ; chaque élève ou chaque groupe d'élèves va à son rythme. En revanche le *milieu* évolue pour l'ensemble de la classe et pour chaque élève au fur et à mesure que le professeur distribue des documents. Il faut noter que les élèves réagissent très positivement à la distribution des documents et en particulier à celle du document 1 en 0:14:37.

On peut dire que ce jeu de « recalage » ou « d'ajustement » a permis aux élèves de récupérer les documents, de mettre à jour leurs documents, éventuellement de réaliser l'activité non faite et qu'il a également permis de comprendre certains aspects de la séance précédente au moins de les re-situer. Il est difficile de déterminer si ce jeu est gagnant, même si au moins pour la mise à jour des documents il semble que ce soit le cas. En revanche, *ce jeu est crucial pour la suite de la vie de la classe ; sans cet ajustement du milieu, les attentes respectives du professeur et des élèves pourraient ne plus se situer sur la compréhension du savoir, ce qui n'est pas le cas.* Le professeur respecte les demandes de compréhension de la part des élèves même si elles peuvent ne pas être satisfaites. La question à laquelle on ne peut répondre ici est ce qui a amené la classe à ce décalage.

Jeu 4 : expliquer les spectres des étoiles et reprendre l'activité 1 de la séance précédente (0:23:09 à 0:31:44, durée : 0:08:35)

Le jeu, qui se situe en classe entière, a pour enjeu de comprendre ce que dit le professeur à propos des spectres. Mais cet enjeu de savoir évolue au cours du jeu ; il commence par une introduction assez floue au sens où le savoir visé n'est pas explicitement ciblé :

P (0:23:44.3) alors tout à l'heure il y avait une question sur la différence et ça il faut que ce soit très clair dans votre esprit parce que c'est ce qui va permettre de comprendre ce qui se passe pour les étoiles (0:23:54.7) (*P a en main la série de spectres du document 1 du chapitre 3*) je vous rappelle que c'est le premier document dans le sous thème analyser la lumière qui provient des étoiles début du chapitre trois chapitre précédent on était parti de là ce sont des vrais des vrais entre guillemets des vrais spectres de différentes étoiles on avait déjà dit à ce moment-là...

Ici le professeur affirme que pour comprendre ce qui se passe pour les étoiles *il faut comprendre ce qui a été fait avant* sur les spectres et implicitement annonce qu'il va le reprendre ; c'est l'enjeu. La règle est d'écouter et éventuellement de poser des questions.

La fonction de ce jeu est d'aider les élèves à comprendre mais aussi il sert à institutionnaliser le savoir avec l'appui des documents qui jouent ici plusieurs rôles : support à ce que dit le professeur, donner l'objet du savoir à comprendre et le contenu « officiel » du savoir enseigné.

Ce jeu se termine car l'objet de l'explication change, mais la règle de comprendre ce que dit le professeur reste identique.

À noter que ce jeu commence par l'interpellation par le professeur d'un élève.

P Tarik il me semble que tu as des trucs à rattraper que tu as rien compris (0:23:18.9)

Cela montre que le professeur a conscience de ce qu'ont fait les élèves pendant le travail de groupe. C'est aussi un signe pour les élèves de ce qu'attend le professeur.

De quoi parle le professeur ? Le professeur commence en projetant au tableau le schéma donné dans le texte du modèle présentant le dispositif pour un spectre d'émission. Il fait d'abord un exposé sur les spectres des étoiles (en utilisant des documents sur les spectres qu'il prend en main) puis aborde les activités en introduisant explicitement un point de vue « méta », avec du recul : il demande aux élèves de donner les activités qui ont mis en œuvre l'étude

des spectres d'émission. En fait, il propose l'activité 2, mais il accepte la proposition de l'activité 1, au TdP2 ci-dessous :

1. P (0:28:29.5) alors j'aimerais aussi que vous repérez et ça serait quand même pas mal maintenant quand vous avez un peu de recul dans quelles activités on a étudié des spectres d'émission (0:28:41.0) dans l'activité
2. E 1
3. P 2 alors dans l'activité 1 oui

Puis pour traiter l'activité 1, le professeur utilise le schéma qu'il a projeté au tableau et le complète en ajoutant les noms des objets : néon, œil spectroscopie en dessous des éléments de la figure projetée

P (0:28:45.0) alors dans l'activité 1 oui parce que on a observé bien sûr les néons ah les néons ils observent de la lumière voilà vous mettez le néon ici (*le professeur va au tableau et désigne des éléments de la figure des spectres d'émission toujours projetée au tableau*) hop le spectroscopie ici et là il y a votre œil d'accord l'activité 1 c'est exactement ça c'est le néon ou la lumière du jour le ciel (*P écrit au tableau les noms néon œil, spectroscopie en dessous des éléments de la figure projetée*) ça émet de la lumière là vous mettez le spectroscopie et là vous mettez votre œil j'ai mis un écran mais c'est votre œil voit la dispersion alors voyez votre œil peut pas voir de quoi est composée la lumière par contre votre œil il peut voir les couleurs une fois que vous l'avez décomposée il faut le mettre derrière le truc qui a dispersé c'est normal bon donc l'activité 1 c'est ça (0:29:37.7)

Ainsi, le professeur passe d'un montage de principe d'un spectre d'émission qui est dans le texte du modèle à un cas particulier (spectre d'émission d'un tube néon). Il fait ainsi le chemin inverse réalisé à la séance précédente, au lieu d'aller du cas particulier au cas général il part du cas général.

On peut dire que le professeur essaie d'introduire une continuité du savoir en proposant de nouveaux liens entre les activités et les phénomènes étudiés, ici l'émission.

Une question d'élève est posée à la fin de l'exposé sur les spectres : l'élève propose que la chaleur soit une indication de la nature de l'étoile donnée par les raies du spectre. Cette question est dans le sujet mais elle manifeste une incompréhension car la température est donnée par les couleurs du spectre d'émission.

sion, ce qui a été l'objet de l'enseignement précédent et qui est celui du discours qui a juste précédé.

Cette question montre bien que les élèves peuvent intervenir et que le professeur répond. Elle montre également le décalage, du moins pour cet élève, des temps d'enseignement et d'apprentissage.

À la fin de l'exposé sur l'activité 1, un élève pose également une question à propos des couleurs que l'on voit après avoir regardé le soleil (ou une lampe) pendant longtemps. Cette question montre à nouveau que les élèves peuvent intervenir, mais elle montre aussi que les connaissances de cet élève sont distantes de celles que le professeur met en jeu. Cet élève ignore un fonctionnement de la vision qui est implicitement nécessaire.

Ces deux questions confirment que les élèves jouent un jeu « d'explication », il s'agit de comprendre.

On note également que le professeur fait plusieurs fois des références à ce qui a été fait avant en s'appuyant sur des documents :

P (0:23:54.7) (*P a en main la série de spectres du document 1 du chapitre 3*) je vous rappelle que c'est le premier document dans le sous thème analyser la lumière qui provient des étoiles début du chapitre trois chapitre précédent

Il re-situe les concepts et expérience également à partir des documents qui servent ici de repères pour le savoir.

P vous voyez le lien qui pouvait y avoir entre la température de l'étoile et la nature du spectre qu'elle émet (0:27:26.0) et puis il y avait quelque chose qu'on avait complètement laissé de côté au début du chapitre trois certains avaient dit oui mais on voit aussi qu'il y a des petites rayures dans ces spectres c'est pas un problème d'imprimante hein y a vraiment des rayures fines et on avait fait l'hypothèse à ce moment-là que ça pouvait indiquer plein de choses sur la nature de l'étoile vous aviez fait toute une liste la taille la grosseur l'activité le la composition chimique bon (0:27:53.6)

Cet extrait montre que le professeur explicite à nouveau le lien entre température de la source et le spectre ; il rappelle aussi une activité réalisée.

L'analyse en facettes donne un total de 32 facettes dont la majorité (29) correspondent à des énoncés du professeur. Les thèmes des facettes sont essentiellement les spectres, leurs descriptions et le spectroscopie ou d'autres dispositifs dispersifs. Ainsi, dans ce jeu, contrairement au jeu précédent, la responsabilité du savoir est complètement du côté du professeur ; les élèves posent peu de questions, le professeur y répond mais cela ne modifie pas l'orientation de son exposé.

Il n'est pas possible de se positionner sur ce jeu ; est-il gagnant ? Cela est possible pour certains élèves, mais vraisemblablement pas pour toute la classe.

Nous n'analysons pas en détail les jeux 5 et 6 qui sont la suite des reprises des activités faites la séance précédente. Les enjeux et les règles sont similaires à ceux du jeu 4. La durée de ces jeux est assez courte, respectivement près de 7 minutes et 3 minutes. Signalons seulement que dans le jeu 5 (0:31:44 - 0:38:35), les vingt-huit facettes sont essentiellement centrées sur les spectres et les liens entre source et spectre ; les facettes en jeu dans les interactions sont un peu plus nombreuses (7). Dans le jeu 6 (0:38:35 - 0:41:47), les cinq facettes sont relatives au lien entre température d'une source et sa couleur et les spectres obtenus et que trois d'entre elles correspondent à une interaction professeur-élève. Ces interactions confirment l'enjeu d'explication / compréhension et les règles associées. Il n'est pas possible de savoir si ces jeux sont gagnants pour l'ensemble de la classe d'autant plus que les niveaux de compréhension des élèves sont différents.

Jeu 7 : relier l'activité précédente à un exercice fait dans le chapitre 3 (deux ou trois séances avant) en utilisant un diagramme issu de l'astrophysique et interprétation d'une « vraie » photo de galaxie (De 0:41:47 à 0:55:45 ; durée : 0:13:58)

Comme les jeux précédents, l'enjeu est celui de la compréhension. Nous ne détaillerons pas ce point. En revanche, dans ce jeu, le thème du programme officiel « L'univers » est traité. Ceci est conforme à la volonté du professeur de jouer le jeu de ce thème du programme. Le choix de l'exercice lui permet d'introduire des représentations qui sont proches

ou identiques à celles utilisées dans le monde des chercheurs (diagramme HR, photo de Hubble). Dans ce jeu, l'analyse en facettes montre que les interventions des élèves sont plus importantes que dans les jeux similaires précédents (14 facettes sur les 22, soit plus de la moitié) ; la quasi-totalité des questions des élèves *sont au cœur du sujet traité*, il n'y a pas de décalage entre le discours du professeur et les interventions des élèves. Un autre indice est que lorsque le professeur fait un lapsus en disant que les étoiles les plus froides sont les bleues, il est instantanément repris par plusieurs élèves⁷ ; de plus les élèves précèdent le professeur dans certains moments de lecture du diagramme HR projeté au tableau. Dans ce jeu il n'y a pas de manifestation de décalage, au contraire les interventions semblent montrer un ajustement entre les actions du professeur et celle des élèves. Cela ne permet pas pour autant d'affirmer que ce jeu est gagnant du point de vue de la compréhension ; les données ne permettent pas de se prononcer.

L'avancée du savoir

La comparaison entre la structuration en thèmes et celle des jeux montre qu'ils se recouvrent largement. Cependant les critères de découpage ne sont pas identiques et dans d'autres cas il n'y a pas superposition. Notre interprétation est que les attentes respectives du professeur et des élèves sont centrées principalement sur le savoir. Comme cela a été noté, les questions posées par les élèves sont souvent relatives au savoir et attendent des réponses en termes d'explication. *Dans cette séance, le savoir est l'élément prépondérant de la structuration.*

Les intitulés des thèmes (tableau 2) et des jeux (figure 1) ne sont pas identiques puisqu'ils rendent compte l'un du savoir en jeu et l'autre des transactions. On peut noter que les intitulés des thèmes reflètent le statut du savoir à enseigner présenté ci-dessus, il n'y a ni relations entre grandeurs physiques ni principe, mais des phénomènes ou des données, spectres d'émission, d'absorption, couleur des étoiles, mis en relation avec la température. Comme le montre la figure 2, les facettes en jeu relèvent de notions différentes. Par exemple, dans le jeu/thème 5 centré sur les spectres obtenus selon la température de la source, la température n'est

pas traitée uniquement en relation avec le spectre, d'autres notions sont mises en jeu, la vision, le spectroscope (ou plus généralement le dispositif technique d'obtention du spectre), l'analyse de la lumière, ainsi que le fonctionnement du savoir. Cette variété est un indice important de la mise en relation entre les éléments de savoir. De plus, les facettes sur le fonctionnement du savoir correspondent à des relations entre un cas général et une situation spécifique qui sont explicitement distingués ; par exemple, le professeur ne part pas systématiquement de l'expérience faite, mais d'un schéma de principe et l'applique dans des cas particuliers. Il y a ainsi un *développement de la cohérence du savoir*. En revanche les étoiles sont peu présentes dans les jeux 4 à 6 et majoritaires dans le jeu 7, ainsi contrairement aux jeux 4 à 6, le jeu 7 est quasi exclusivement sur les étoiles. Il y a donc un temps important dans cette séance où les liens entre les différents éléments relevant de notions différentes mais aussi de niveaux de généralité différents sont mis en relation. La différence entre la variété des éléments de savoirs des jeux 4 à 6 et le centrage sur les étoiles au jeu 7 montre une double visée de la séance très contrainte par le programme officiel, *la construction de connaissances des spectres, et en même temps l'utilisation de ces connaissances pour interpréter les étoiles.*

Il faut aussi noter que dans cette séance les relations temporelles entre ce qui a été fait avant et ce qui va se faire sont aussi largement présentes (voir l'article de Marie-Pierre Chopin, ce numéro).

Ce savoir, institutionnalisé par le professeur, porte essentiellement sur ceux introduits dans la séance précédente (n° 7). Dans la classe, professeur et élèves, peuvent dire que ces savoirs ont été enseignés. Ils sont formulés essentiellement dans les documents des modèles, et nécessitent la représentation de spectres, ils sont aussi en jeu dans les corrections des activités (activités 1 et 2 pour cette séance). Ainsi, les documents jouent un rôle très important ; comme cela a déjà été dit, ces documents servent non seulement de support à ce que dit le professeur et plus largement de support pour la communication dans la classe mais ils donnent l'objet du savoir à comprendre et le contenu « officiel » du savoir enseigné.

Cette séance a permis de reconnaître l'écart entre d'une part le savoir enseigné et ses supports et d'autre

part les connaissances des élèves et leurs supports. Elle a de plus contribué à combler cet écart. *On pourrait dire que cette reconnaissance de l'écart est une action conjointe qui se déroule dans les premiers jeux (1, 2, début 3) et qui est suivie d'une action d'ajustement qui a lieu essentiellement lors du jeu 4 pendant un travail en petits groupes. Ce n'est pas une coïncidence si cet ajustement, ce « recalage » se réalise pour une bonne part pendant un travail en petits groupes, car le travail des élèves se fait en autonomie à partir de l'état où chacun en est. L'analyse réalisée par Marie-Pierre Chopin avec une approche différente et celle-ci se confortent, elles mettent en évidence un décalage puis un ajustement.*

Plus généralement on peut dire que cet écart est un exemple de ce qui peut se passer avec certains travaux pratiques au cours desquels les élèves font des expériences, récoltent des données, les interprètent dans le contexte mais ont de la peine à leur donner du sens dans le cadre d'ensemble de la construction théorique. On peut imaginer l'écart grandissant qui se serait produit sans cette séance 8 de reprise des savoirs en jeu dans la séance 7. Reste aussi à comprendre pourquoi la séance 7 a conduit à un tel écart.

Cette analyse montre aussi que le professeur accepte « l'ignorance » des élèves et essaye d'y répondre quand elle se manifeste par des questions, il peut même suggérer les questions. En revanche, il n'apparaît pas de moment où les élèves « construisent » du nouveau savoir (même incorrect au moins partiellement) et se posent de nouvelles questions qui seront ensuite rendues publiques au sein de la classe. Il n'y a pas de situation d'incertitude épistémique. Cela est peut-être dû à la fonction de cette séance.

Discussion : distance entre observables et interprétation

En ce qui concerne la distance entre les événements observables sur la vidéo et l'analyse de la vidéo, il y a une différence pour les trois types d'analyse.

▲ L'organisation sociale de la classe peut se faire directement à partir d'observables sur la vidéo. Ainsi le travail en classe entière ou en petits groupes peut être observé sur la vidéo, le cas mixte demande un peu plus d'interprétation car il se base sur une

interprétation des interventions de l'enseignant. Il faut alors décider dans quelle mesure elles modifient le rythme du travail des petits groupes ou des élèves seuls. Le codage de la vidéo se fait à partir de quelques catégories *a priori*. Lors de la séance étudiée, il n'y a pas de cas « mixte », le découpage est donc très proche des événements observables, nous n'avons utilisé que deux catégories (figure 1).

▲ La structuration en thèmes demande beaucoup plus d'interprétation car elle est basée sur l'analyse de la signification du discours en classe et vise à reconstruire le savoir enseigné à une échelle mésoscopique. Les thèmes rendent compte de l'évolution du savoir en jeu. Il y a une différence principale avec la structuration précédente, car un thème ne se construit pas à partir de catégories *a priori*, il s'agit d'une structuration des productions de la classe et les titres de chacun des thèmes dépendent des termes effectivement utilisés. Dans l'analyse thématique menée ici, la signification choisie est essentiellement celle de l'enseignant ; cela n'exclut pas qu'un thème puisse être reconstruit à partir du point de vue de l'élève si la dynamique du savoir en jeu est sous la responsabilité de l'élève. Avec ce choix, la série de thèmes peut être utilisée pour comparer le savoir introduit dans une salle de classe et les programmes officiels ou les savoirs en jeu dans d'autres classes. Cette décomposition en thèmes peut être confirmée par une autre approche ; le travail de Laurent Lima le montre (voir annexe commune à la suite de cet article).

La structuration en jeu est plus interprétative que celle en thème. Comme les thèmes, elle ne met pas en jeu des catégories *a priori*. Le jeu est construit à partir de la relation entre l'enseignant et les élèves dans les transactions dont l'objet est le savoir. Toutes les dimensions proposées dans la théorie de l'action conjointe (l'évolution des connaissances, la responsabilité de la connaissance, le milieu) sont impliquées. La distance entre les données vidéo et la construction du chercheur est plus importante que dans le cas de thèmes, car l'interprétation est basée sur plusieurs dimensions et nécessite une compréhension profonde de ce qui se passe, à la fois du point de vue de l'enseignant et des élèves. Comme nous l'avons noté, les structurations en thèmes et en jeu se recouvrent. Ceci est une caractéristique de cette séance où les transactions sont essentiellement centrées sur le savoir.

Ce type d'analyse est coûteux en temps, et bien sûr a ses limites. Une des questions porte sur la granularité des connaissances, en particulier celle des thèmes, et celle des facettes. Le choix du chercheur rend compte de la séance à deux emports temporels l'un d'ordre mésoscopique de la séance (de l'ordre de 10 minutes) et l'autre d'ordre microscopique (quelques dizaines de secondes). La formulation des thèmes et facettes est aussi en partie un choix, même si elle est fortement contrainte par ce que disent les acteurs. Pour les facettes la question du niveau de généralité de la formulation reste ouverte, par exemple une des facettes est relative « au fer qui passe du rouge au blanc quand sa température augmente », alors qu'une autre est formulée à un niveau plu général, « lorsqu'un corps change de couleur sa température varie ». Ces deux niveaux de généralité visent à mieux rendre compte ce qui est en jeu dans la classe. Cependant il ne faut pas toutefois multiplier le nombre de facettes, pour que l'analyse reste opérationnelle. Pour les thèmes et les jeux, la formulation de leur titre doit permettre de rendre compte de ce qui se passe des points de vue du savoir pour les thèmes et des transactions pour les jeux, et de plus doit rendre compte de la dynamique de la séance. Un travail visant à se donner les moyens de vérification systématique autre que la méthode des juges serait à entreprendre. Des pistes ouvertes par ce travail sur un même corpus pourraient être prolongées; notre analyse par exemple est confortée (et conforte) d'autres analyses comme de Lima sur les thèmes (voir annexe commune) et celle de Chopin sur le temps.

Conclusion

Nous avons construit un modèle de la classe centré sur la dynamique du savoir, à partir des analyses mésoscopiques, en organisation de classe et en thèmes, complétées par l'analyse au niveau microscopique en termes de facettes. L'analyse en jeu, globale, car prenant en compte les transactions

autour du savoir, nous a permis de caractériser les situations de classe par une série de jeux déterminés par leur enjeu et leurs règles. Il ressort que ce modèle permet de rendre compte de particularités de cette séance : le décalage entre ce que les élèves sont supposés avoir géré (les documents), et réalisé (les activités) et la situation effective; ce décalage est associé à un autre, celui de la faible compréhension du savoir déjà enseigné dans le cadre d'activités expérimentales. Cette analyse montre combien le « faire » des travaux pratiques, s'il est utile, ne conduit pas nécessairement à une compréhension conceptuelle. L'analyse de la séance montre la possible reconnaissance par le professeur et les élèves d'un décalage entre ce qui a été enseigné et ce qui a été compris et donc de la nécessité d'un temps d'enseignement dédié à l'ajustement entre-temps d'enseignement et d'apprentissage.

La question de la validation de ce modèle est ouverte à plusieurs niveaux, dans son élaboration à partir de données et dans l'analyse. Comme nous l'avons discuté, alors que le codage de l'organisation de classe peut être fait avec des événements directement observables sur la vidéo, la construction en thèmes ou le codage en facettes nécessitent une interprétation du chercheur. Le découpage en thèmes peut être validé par une étude du discours comme celle de Laurent Lima. Nous présentons une courte comparaison des deux analyses dans l'annexe commune à nos deux articles. Pour les facettes, une analyse de plusieurs personnes pourrait être menée (par exemple, méthode des juges avec une analyse statistique), mais vu l'investissement en temps, cela pourra difficilement être systématisé. Une analyse de la cohérence entre les facettes et le thème où elles se situent peut fournir un élément de validation. Pour l'analyse en jeu, la validation à nouveau peut être menée avec la méthode des juges; mais là aussi elle sera très lourde pour de gros corpus. Comme le dit Lemke (2010) l'analyse de gros corpus vidéo nécessite des approches renouvelées nourries par le travail déjà mené.

NOTES

1. Rappelons que notre équipe est à l'origine de la récolte des données
2. Activité 1 : Premières utilisations d'un spectroscope ; Activité 2 : Lumière émise par un corps chauffé, Partie A Étude du spectre de la lumière émise par une ampoule à incandescence et Partie B Une interprétation de la couleur des étoiles ; Activité 3 : Spectres d'émission de différentes lampes. ; Activité 4 : Des spectres qui semblent incomplets. ; Activité 5 : Détermination de la composition d'une étoile à l'aide de son spectre
3. Les documents utilisés lors de cet enseignement ont été modifiés par le groupe SESAMES pour l'année suivante, 2011-2012, en particulier le savoir proposé a été plus nettement ciblé (voir site PEGASE : http://pegase.inrp.fr/theme.php?rubrique=1&id_theme=55)
4. À noter qu'initialement nous avions intitulé Différenciation entre les spectres d'émission et d'absorption alors que le terme de différenciation n'est pas prononcé, nous avons donc modifié le titre.
5. À noter que la séance précédente est en demi-classe et donc que le professeur a répété son enseignement aux deux sous groupes ce qui a pu créer des différences entre les groupes.
6. Notons qu'il s'agit d'un élève qui double et qui est considéré comme faible en début d'année et moyen en fin d'année.
7. À noter que dans ce diagramme HR il y a un fond qui va du bleu très clair (près de l'axe des ordonnées) à l'orangé, le bleu clair étant sur la gauche car les températures sont dans l'ordre décroissant, contrairement à ce que l'on fait d'habitude.

RÉFÉRENCES

- Bril, B. (2002). Apprentissage et contexte. *Intellectica*, 2(35), p. 251-268.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Cobb, P., Stephan, M., McClain, K., & Gravemeijer, K. (2001). Participating in Classroom Mathematical Practices. *Journal of the Learning Sciences*, 10, p. 113-163.
- Cross, D., Khanfour-Armalé, R., Badreddine, Z., Malkoun, L., & Seck, M. (Eds.). (2009). *Méthodologie de mise au point d'un consensus entre chercheurs : le cas du thème*. Université de Genève : Cédérom de l'Association pour des Recherches en Didactiques Comparées (ARCD).
- Duschl, R. A. (2008). Science education in three part harmony : balancing conceptual, epistemic, and social learning goals. *Review of research in education*, 32, p. 268-291.
- Galili, I., & Hazan, A. (2000). The influence of an historically oriented course on students' content knowledge in optics evaluated by means of facets-schemes analysis. *American Journal of Physics*, 68 (Supplement)(7), S3-S15.
- Greeno, J. G. (1994). Gibson's Affordances. *Psychological Review*, 101(2), p. 336-342.

- Kelly, G. J. (2011). Scientific literacy, discourse, and epistemic practices. In C. Linder, L. Ostman, D. A. Roberts, P.-O. Wickman, G. Erickson & A. MacKinnon (Eds.), *Exploring the landscape of scientific literacy*. New York: Routledge.
- Malkoun, L. (2007). *De la caractérisation des pratiques de classes de physique à leur relation aux performances des élèves : étude de cas en France et au Liban*. Doctorat, Université Lyon 2 / Université libanaise, Lyon/Beyrouth.
- Lemke, J. L. (2001). The long and the short of it: comments on multiple timescale studies of human activities. *The Journal of the Learning Sciences*, 10(1&2), p. 17-26.
- Lemke, J. (2010). *All that Video! Analysis across Time, Place, and Activities*. Paper presented at the Learning Lives Workshop, San Diego, April 2010.
- Mercer, N. (2008). The seeds of time: why classroom dialogue needs a temporal analysis. *Journal of the Learning Sciences*, 17(1), p. 33-59.
- Minstrell, J. (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (p. 110-128). Kiel: IPN.
- Roth, K. J., Druker, S. L., Garnier, H. E., Lemmens, M., Chen, C., Kawanaka, T., et al. (2006). *Teaching Science in Five Countries: Results From the TIMSS 1999 Video Study Statistical Analysis Report* (NCES 2006-011). Washington: U.S. Department of Education, National Center for Education Statistics. Washington, DC: U.S. Government Printing Office.o. Document Number)
- Roth, K. J., Garnier, H. E., Chen, C., Lemmens, M., Schwille, K., & Wickler, N. I. Z. (2011). Videobased lesson analysis: Effective science PD for teacher and student learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 48(2), p. 117-148.
- Rémi-Giraud, S. (2008). Mots courants et connaissances scientifiques. In J. Lautrey, S. Rémi-Giraud, E. Sander & A. Tiberghien (Eds.), *Les connaissances naïves*. Paris: Armand-Colin.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble: Éléments de théorisation de l'action conjointe du professeur et des élèves* (p. 13-49). Rennes: Presses Universitaires de Rennes (PUR).
- Sensevy, G., Tiberghien, A., Santini, J., Laube, S., & Griggs, P. (2008). An epistemological approach to modeling: Cases studies and implications for science teaching. *Science Education*, 92(3), p. 424-446.
- Sensevy, G. (2011). *Le sens du savoir. Éléments pour une théorie de l'action conjointe en didactique*. Bruxelles: de Boeck.
- Tiberghien, A. (2008). Connaissances naïves et didactique de la physique. In J. Lautrey, S. Rémi-Giraud, E. Sander & A. Tiberghien (Eds.), *Les connaissances naïves* (p. 103-153). Paris: Armand-Colin.
- Tiberghien, A., & Malkoun, L. (2010). Analysis of classroom practices from the knowledge point of view: how to characterize them and relate them to students' performances. *Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências*, 10(1).

Tiberghien, A. (2011). Conception et analyse de ressources d'enseignement : le cas des démarches d'investigation.
In M. Grangeat (Ed.), *Les démarches d'investigation dans l'enseignement scientifique Pratiques de classe, travail collectif enseignant, acquisitions des élèves* (p. 185-212). Lyon : INRP.

ANNEXE 1

Activité 5 : Détermination de la composition d'une étoile à l'aide de son spectre

Partie A – Interprétation du spectre de la lumière des étoiles

Lire le document 2. On a vu dans le chapitre 3 que les raies noires sur le spectre d'une étoile permettent de connaître sa composition chimique. Cette affirmation mérite d'être précisée :

Pour le soleil, quelle est la couche responsable de ces raies noires ?

Pourquoi peut-on en tirer une information sur la composition chimique de la couche ? Indiquer quel paragraphe du modèle des spectres vous utilisez.

✂ ----- ✂

Activité 5 - Partie B - Détermination de la composition chimique de l'étoile Deneb :

On va utiliser le simulateur « Analyse-spectrale ». Lancer ce simulateur. L'écran de droite représente une zone du ciel visible en été (appelée « le triangle d'été »).

Rechercher l'étoile Deneb et cliquer dessus. Son spectre apparaît. Utiliser ensuite les fonctionnalités du logiciel pour déterminer quels éléments chimiques, parmi ceux proposés, composent les couches externes de Deneb. Faire la liste de ces éléments.

S'il reste du temps : déterminer la composition des couches externes des autres étoiles visibles à l'écran.

Document 2 : Structure de notre étoile, le Soleil

Dans une description simplifiée, le Soleil, comme la plupart des étoiles, peut être décomposé en 4 « couches » :

Le noyau : C'est la partie centrale du Soleil. La température y vaut en moyenne 15,5 millions de degrés. Des réactions de fusion nucléaire s'y produisent, qui sont à l'origine de l'énergie produite par l'étoile.

La zone de radiation et de convection : C'est une couche de gaz à l'intérieur de laquelle la chaleur produite par le noyau se propage vers l'extérieur de l'étoile.

La photosphère : Il y règne une température de quelques milliers de degrés. C'est une couche de matière qui émet de la lumière blanche dont le spectre est continu.

La chromosphère : Il s'agit d'une couche gazeuse qui est constituée d'ions et d'atomes.