
Andrée Tiberghien et Loyal Malkoun

Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir

Avertissement

Le contenu de ce site relève de la législation française sur la propriété intellectuelle et est la propriété exclusive de l'éditeur.

Les œuvres figurant sur ce site peuvent être consultées et reproduites sur un support papier ou numérique sous réserve qu'elles soient strictement réservées à un usage soit personnel, soit scientifique ou pédagogique excluant toute exploitation commerciale. La reproduction devra obligatoirement mentionner l'éditeur, le nom de la revue, l'auteur et la référence du document.

Toute autre reproduction est interdite sauf accord préalable de l'éditeur, en dehors des cas prévus par la législation en vigueur en France.

revues.org

Revues.org est un portail de revues en sciences humaines et sociales développé par le Cléo, Centre pour l'édition électronique ouverte (CNRS, EHESS, UP, UAPV).

Référence électronique

Andrée Tiberghien et Loyal Malkoun, « Différenciation des pratiques d'enseignement et acquisitions des élèves du point de vue du savoir », *Éducation et didactique* [En ligne], vol 1 - n°1 | avril 2007, mis en ligne le 01 avril 2009, consulté le 14 mars 2013. URL : <http://educationdidactique.revues.org/69>

Éditeur : Presses universitaires de Rennes

<http://educationdidactique.revues.org>

<http://www.revues.org>

Document accessible en ligne sur : <http://educationdidactique.revues.org/69>

Ce document est le fac-similé de l'édition papier.

Tous droits réservés

DIFFÉRENCIATION DES PRATIQUES D'ENSEIGNEMENT ET ACQUISITIONS DES ÉLÈVES DU POINT DE VUE DU SAVOIR

Andrée Tiberghien & Layal Malkoun, UMR ICAR, Université Lyon 2

Résumé : Cet article présente une étude sur les relations entre l'enseignement d'une séquence et l'évolution des performances des élèves. L'analyse est centrée sur les savoirs comme production conjointe du professeur et des élèves dans une classe. La méthodologie proposée se fonde sur une analyse des savoirs à des échelles de temps et de granularité différentes. Le savoir enseigné dans la classe est reconstruit à partir des enregistrements vidéographiques réalisés tout au long d'une séquence d'enseignement de la physique dans deux classes différentes de seconde. Cette reconstruction est faite essentiellement à deux échelles, l'une mésoscopique de l'ordre de la dizaine de minutes fondée sur une approche thématique, l'autre microscopique de l'ordre de la seconde fondée sur une décomposition du savoir en facettes (Minstrell, 1992) qui sont des énoncés de l'ordre d'une phrase. Deux notions, la continuité et la densité du savoir, définies à partir des facettes, contribuent à caractériser la dynamique du savoir enseigné. L'articulation entre les analyses aux deux échelles est remise en perspective grâce à un point de vue macroscopique. Elle permet de comparer les classes entre elles et de relier, au moins partiellement, l'enseignement aux performances des élèves. L'établissement de cette relation dépend du type d'éléments de connaissance, en particulier de leur plus ou moins grande difficulté à être appris, ce que nous appelons « leur apprenabilité ».

Mots clés : savoir enseigné, apprentissage, échelle de temps, granularité du savoir, pratiques de classe

Andrée Tiberghien & Layal Malkoun

Introduction

L'étude des relations entre pratiques d'enseignement et performances des élèves se situe à la croisée de deux orientations de recherche, les études *in situ* de la classe et l'évaluation. Chacune de ces orientations comporte une très grande variété de travaux, tant du point de vue théorique que méthodologique.

Des études relatives à la classe nous retiendront celles liées aux pratiques enseignantes qui, en France, sont parmi les plus proches de la recherche présentée dans cet article. Aussi bien au niveau français qu'international, depuis une dizaine d'années, les travaux de recherche sur les enseignants se développent, souvent en relation avec la formation des maîtres. Ainsi, en France, un réseau de laboratoires s'est créé autour des pratiques enseignantes (OPEN¹). Au sein de ce réseau, dans le cadre de l'approche comparatiste en didactique, plusieurs chercheurs se centrent sur l'action conjointe du professeur et des élèves avec des cadres théoriques reprenant la tradition française issue de la didactique des mathématiques, en particulier la théorie des situations de Brousseau

(1998) et/ou les gestes professionnels de Chevallard (1999) (voir Sensevy et Mercier 2007 ; Sensevy, 2007 ; Amade-Escot 2006). La plupart de ces travaux partent de données prises en classe, essentiellement des enregistrements vidéo, complétés, selon la méthodologie, d'entretiens, de productions écrites des acteurs, etc.

D'autres travaux, souvent menés à grande échelle, partent de l'évaluation. Ainsi l'étude TIMSS Vidéo (Stigler et Hiebert 1999, Hiebert *et al.* 2003) [TIMSS : Trends (or Third) International Mathematics and Science Studies] se base sur les résultats de l'évaluation TIMSS au niveau de la classe de 4^e en mathématiques. TIMSS video 1999 a été réalisée sur un nombre de situations de classes de mathématique jamais atteint jusque-là (638 séances de mathématiques au niveau de la 4^e, une séance par professeur dans 7 pays). Les résultats les plus intéressants portent sur les caractéristiques des leçons dans chacun des pays. Il apparaît que la différence selon les pays est clairement supérieure à celle interne à un pays. Ainsi deux pays ayant de très bons résultats à TIMSS tels que Hong-Kong SAR (Hong Kong Special Administrative Region) et les Pays-Bas ont des structures de leçons

différentes. Les différences apparaissent aussi bien pour les types de problèmes que pour les interactions professeur élèves ou l'organisation de la classe, le travail en petit groupe étant bien plus favorisé aux Pays-Bas. Dans le cas des chercheurs allemands (Fisher *et al.* 2005) l'approche processus-produit est fondée sur un cadre théorique proposant « des modèles de base » de l'apprentissage consistant à déterminer différents apprentissages (autour de 10) tels que la construction de la signification de mots/concepts, le développement de routines ou de stratégies, la résolution de problèmes, etc. (Oser et Baeriswyl 2002; Paquay et Dayez 2006). À chacun de ces modèles sont associées des procédures d'enseignement observables. Des procédures très différentes peuvent être associées à une même opération d'apprentissage. Ce modèle a été adapté par les équipes allemandes pour permettre de caractériser l'enseignement de physique pendant une séance en termes de structures profonde et de surface. Les résultats actuellement disponibles caractérisent le type d'enseignement effectif d'une majorité de professeurs en Allemagne. Ils ne donnent pas de caractéristiques spécifiques des classes « performantes ».

Les travaux coordonnés par Sensevy (2007) visant à relier pratiques de classe et performances des élèves se situent également dans des classes « ordinaires » sans aucune orientation prescriptive. Ils vont dans le sens de l'hypothèse du rôle prépondérant du savoir dans la classe, en particulier du rapport au savoir du professeur. Nous partageons cette orientation que nous précisons par la suite.

Cadre théorique

Notre problématique est de relier les pratiques d'enseignement et l'évolution des performances des élèves entre le début et la fin de l'enseignement d'une séquence. Précisons dès maintenant que nous travaillons sur l'enseignement de la physique en seconde pour la partie du programme de physique relative à la mécanique.

Parmi les multiples critiques possibles d'une telle problématique, nous en présentons deux. L'une porte sur la question des échelles de temps. Comme le dit Lemke (2001) :

« Why should we think we can account for the here and now only in terms of the here and now [...] ? » (p. 20) et il précise que « 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, c'est nous qui soulignons). Dans notre étude, l'échelle la plus grande est de fait celle de l'enseignement de la séquence (de l'ordre du mois pour la période sur laquelle s'étale cet enseignement et de l'ordre de quelques dizaines d'heures pour sa durée effective). Ainsi les phénomènes que nous mettons en évidence ne permettront pas de construire des phénomènes à une échelle de temps supérieure mais seulement de les approfondir. De même nous nous limitons essentiellement à l'échelle de la classe sans aller au niveau de l'école ou à d'autres supérieurs. C'est une limitation de notre travail dont nous sommes conscientes et qui ouvre un débat.

Une autre porte sur notre choix de centrer notre analyse sur le savoir sans prendre en compte les composantes affectives. Or la motivation des élèves et en particulier l'intérêt joue un rôle essentiel sur l'apprentissage (Hidi 2006, Venturini 2004, Viau 1994).

Dans la présentation ci-dessous de notre cadre théorique, nous explicitons les raisons de notre choix de centration sur les savoirs.

Le savoir enseigné, une construction du chercheur

Notre perspective est reprise de celle de l'approche comparatiste en didactique développée en France depuis quelques années par des didacticiens de diverses disciplines (Sensevy et Mercier 2007). Un premier choix commun est d'étudier l'« action didactique », c'est-à-dire : « ce que les individus font dans des lieux (des institutions) où l'on enseigne et où l'on apprend ² », en considérant que cette action est réalisée conjointement par le professeur et ses élèves (Sensevy 2007, p. 12-42). L'action conjointe ne suppose pas une « symétrie des positions tenues par les acteurs » ; le professeur enseigne et les élèves sont à l'école pour apprendre. Ceci nous conduit à considérer les pratiques d'enseignement et d'apprentissage sous le point de vue de ce qui est enseigné et appris, que nous appelons savoirs. « Nous persuadant en effet que *les savoirs donnent leurs formes* aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage, nous voulons plus généralement considérer que ce sont les contenus des pratiques qui déterminent leur structure. [...] comprendre l'action, c'est d'abord comprendre comment le *contenu* propre à cette action la spécifie » (Sensevy, 2007, p. 12-42). Ce choix est compatible avec la perspective fournie par les théories de l'activité héritées de Vygotski, Luria et Leontiev

(Cole et Engeström 1993) ; la classe peut être considérée comme une communauté avec des artefacts par lesquels l'activité est médiée.

Dire que les savoirs donnent leur forme aux pratiques d'enseignement et d'apprentissage nécessite d'explicitier comment on va aborder ce savoir en jeu dans les actions didactiques. Ces actions prennent place au sein d'un processus de communication. La compréhension par le professeur et les élèves d'un énoncé peut être bien différente ; il y a alors plusieurs savoirs. Ces savoirs ne sont pas des données, ils sont seulement en jeu dans les productions verbales (orales et écrites) et gestuelles des acteurs en contexte (Tiberghien et al sous presse, p. 70-92). Chaque acteur construit une signification et le chercheur va « re-construire » ces significations. Notons que les données à partir desquelles le chercheur travaille sont essentiellement des enregistrements vidéo réalisés pendant l'enseignement. Cette reconstruction vise à expliciter le savoir en jeu, il ne s'agit pas de se limiter aux étiquettes désignant le contenu. « Ces étiquettes renvoient aux énoncés des professeurs lorsqu'ils disent « aujourd'hui j'ai fait le principe d'inertie ». Pour cette « reconstruction », nous suivons Bange (1992, 1995) dans son interprétation de Grice qui distingue la signification conventionnelle de la signification en situation » (Tiberghien *et al.* sous presse, p. 70-92). Ces deux significations sont construites à partir d'une même situation observée. La signification en situation est celle re-construite avec le point de vue d'un acteur (ou un groupe d'acteurs) de la situation contrairement à la signification conventionnelle qui est associée à une référence autre que la situation elle-même. Nous considérons qu'une signification conventionnelle correspond au savoir enseigné quand elle est construite en prenant pour références les savoirs de la discipline, le programme officiel et les pratiques de classe. On pourrait dire que ce savoir correspond à la signification « officielle » du point de vue de l'institution école (Chevallard (1991)). Le lien établi ici entre une approche communicative (signification conventionnelle) et une approche institutionnelle (savoir enseigné) reste à approfondir.

Pour caractériser le savoir enseigné à l'échelle du temps didactique (Mercier *et al.* 2005), trois concepts, chronogénèse, topogénèse et mésogénèse, sont proposés par Sensevy et Mercier (2007) à la suite des travaux de la communauté de didactique française des mathématiques. La chronogénèse recouvre le phénomène d'évolution dans le temps du savoir enseigné dans la classe. La topogénèse recouvre la part de chacun des acteurs dans l'action conjointe. Cette

part évolue et ne peut se comprendre sans la prise en compte de l'environnement dans lequel l'action se réalise. Cette évolution peut se situer à une échelle de temps de la minute. Par exemple, lors de la correction d'un exercice, deux élèves donnent des réponses différentes à une question relevant d'un enjeu conceptuel, le professeur reprend ces réponses en ouvrant un débat dans la classe puis le régule. Il clôt ensuite le débat en prenant les arguments théoriques qui permettent de trancher. Dans cet exemple, la position du professeur et des élèves vis-à-vis du savoir évolue ; lors du débat, les élèves ont la responsabilité de faire avancer la construction du savoir dans la classe alors que, pendant la conclusion, le professeur reprend la responsabilité et peut se situer comme représentant de la communauté des physiciens. Cette part de chacun ne peut être comprise que si l'on resitue la classe dans un environnement plus large, l'école mais aussi si c'est une classe de physique, l'institution représentant la discipline et ses pratiques.

Le concept de mésogénèse est pour nous plus difficile à manier dans cette étude. Nous en repreneons l'idée fondamentale de l'évolution des milieux ; ce terme correspond d'une part à l'environnement cognitif commun des acteurs, et d'autre part aux ressources et contraintes qui orientent la communication entre les acteurs. Ces deux composantes évoluent avec le temps. Dans notre étude, nous abordons l'environnement cognitif seulement par le savoir enseigné, il s'agit donc d'un environnement a priori, nous n'étudions pas l'environnement cognitif effectif de chaque acteur (ce travail a été mené dans deux thèses : Küçüközer 2005 et Givry 2003). Nous faisons de même pour les ressources et contraintes qui ne sont pas étudiées de manière systématique à ce stade de nos travaux.

Le tableau 1 reprend les concepts que nous utilisons pour la re-construction du savoir enseigné. Celle-ci se situe à plusieurs échelles temporelles, et à plusieurs niveaux de granularité comme nous le discutons dans notre partie méthodologie. De plus le savoir enseigné est dynamique, dans le temps (chronogénèse), dans ses rapports aux acteurs (topogénèse) et de sa mise en jeu en situation (mésogénèse). Dans ce tableau nous avons rajouté deux notions, la densité et la continuité du savoir que nous précisons ultérieurement.

Le lien entre enseignement en classe et apprentissage des élèves est basé sur des hypothèses relatives aux cheminements possibles des élèves au cours de l'enseignement les conduisant à certaines acquisitions.

Difficultés conceptuelles et hypothèses reliant savoir enseigné et apprentissage

Nous partageons l'hypothèse que les acquisitions des élèves ont une relation complexe avec le savoir enseigné (Niedderer *et al.* 2005). Le cheminement temporel de l'élève au cours de l'enseignement est différent de la chronologie de présentation des notions par le professeur ; l'élève passe par des conceptions intermédiaires qui restent incorrectes du point de vue du savoir enseigné mais constituent un cheminement vers ce savoir.

Par la suite nous traitons du cas de l'enseignement et l'apprentissage de la mécanique en seconde. Ceci nous conduit à donner une analyse succincte du contenu d'enseignement et des difficultés conceptuelles essentielles avant de présenter les hypothèses d'apprentissage.

Analyse des difficultés conceptuelles en mécanique

Les difficultés conceptuelles en mécanique ont été l'objet de nombreux travaux de didacticiens (Viennot

1996 ; McDermott 1998) ainsi que d'épistémologues (Koyré 1990 ; Dugas 1954). Avant d'analyser ces difficultés, nous donnons l'énoncé du principe d'inertie tel qu'il est formulé dans le programme officiel : « Pour un observateur terrestre tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne et uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent ». Cet énoncé conduit à quatre implications logiques utilisées dans l'enseignement réalisé dans une des classes étudiées par la suite. Elles se présentent sous forme de deux implications et leur inverse :

« Lorsqu'un système est immobile ou en mouvement rectiligne uniforme (c'est-à-dire lorsque la valeur *et* la direction de sa vitesse ne varient pas), on peut affirmer que les forces qui s'exercent sur lui se compensent » (L'énoncé inverse est aussi formulé).

« Lorsqu'un système n'est ni immobile ni en mouvement rectiligne uniforme (c'est-à-dire lorsque que la valeur *et/ou* la direction de sa vitesse varient), on peut affirmer que les forces qui s'exercent sur lui ne se compensent pas. » (L'énoncé inverse est aussi formulé).

Echelle temporelle	Echelle : granularité du savoir	Concepts
Temps scolaire (année mois)	Document, partie	Chronogénèse : • densité • continuité
Temps didactique (mois semaines)	Chapitre	Mésogénèse
Temps des actes (minutes, secondes)	Paragraphe	Topogénèse
	Phrase	

Tableau 1 : Caractérisation du savoir enseigné ; les trois éléments de cette caractérisation sont indépendants

Tous les travaux des didacticiens montrent que l'apprentissage du principe d'inertie est en fait très difficile pour les élèves. Tout d'abord une analyse épistémologique permet de mieux comprendre cette difficulté. Ainsi Koyré (1955/1990) montre que le principe d'inertie ne peut se comprendre que dans certains cadres de pensée du monde et que « pour les Grecs, ainsi que pour le Moyen Âge, ces conceptions auraient semblé (ou ont semblé) être manifestement fausses; et même être absurdes »; de plus il s'agit d'une vision d'un monde idéal qui n'existe pas : « Le concept Galiléen du mouvement (de même que celui de l'espace) nous paraît tellement naturel que nous croyons même que la loi d'inertie dérive de l'expérience et de l'observation, bien que, de toute évidence, personne n'ait jamais pu observer un mouvement d'inertie, pour cette simple raison qu'un tel mouvement est entièrement et absolument impossible (p. 383) ».

La vision que nous avons du monde matériel joue un grand rôle dans notre compréhension de la physique. Comme le propose Koyré, nous considérons qu'entre la vie de tous les jours et la physique Newtonienne, les cadres de pensée peuvent être différents et de ce fait même constituer une difficulté à la compréhension de la physique.

Une des différences entre la vie de tous les jours et la physique concerne la nature du mouvement. Dans la vie de tous les jours, l'équivalence entre l'immobilité et le mouvement rectiligne uniforme n'a rien d'évident; les catégories de base sont « bouge » ou « ne bouge pas ». Alors que pour le physicien elles sont d'une part immobile ou mouvement rectiligne et d'autre part mouvement avec changement de vitesse.

Une autre différence concerne la relation force-mouvement. Dans la vie quotidienne on explique souvent le monde matériel en considérant qu'un changement a une cause et donc un mouvement, quel qu'il soit, a une cause. Ainsi, pour une grande majorité de personnes, lorsqu'on lance une balle verticalement vers le haut, son mouvement de montée, après qu'elle soit lâchée, est dû à une force qui va vers le haut. Ainsi pour ces personnes il y a toujours une force dans la direction du mouvement due à l'action des mains sur la balle. En effet, dans la vie quotidienne, le mouvement de la balle, lancer et montée, est pris comme un tout; l'action des mains qui s'exerce vers le haut lors du lancer continue donc à s'exercer lors de la montée. Pour le physicien il y

a force seulement s'il y a contact entre deux objets ou action à distance (seuls trois types d'interactions à distance sont reconnus : électrique, magnétique et gravitationnelle due à la masse : le poids est la force exercée par la Terre sur un objet). En effet, c'est seulement au moment du lancer que les mains exercent une action sur la balle. Lors du contact le physicien considère qu'il y a une force exercée vers le haut, par les mains qui n'a plus de raison d'être une fois que les mains ne touchent plus la balle. Ainsi, les seules forces qui s'exercent sur la balle sont celle due à la Terre et celle due à l'air qui est en contact avec la balle, toutes les deux sont orientées vers le bas alors que la balle monte. Ces forces modifient le mouvement (2^e énoncé ci-dessus) dans la mesure où la vitesse diminue. La causalité est alors entre la modification de la vitesse et la force et non entre le mouvement et sa cause initiale, le lancer avec les mains.

Le principe d'inertie met en jeu les concepts de mouvement et de force, mais la relation force-mouvement présente des difficultés spécifiques qui peuvent être interprétées par les écarts déjà présentés entre le point de vue de la vie de tous les jours et celui de la physique; passer d'un point de vue à l'autre en changeant d'interprétation est difficile.

Dans son étude de l'enseignement et l'apprentissage des lois de la mécanique, Dykstra (1992) propose une évolution, avec l'enseignement, des relations entre force et vitesse avec comme point de départ de l'élève l'idée qu'il y a force s'il y a mouvement. L'élève relierait ensuite explicitement force et vitesse : la force augmente si v augmente et la force reste constante si v est constant puis relie force et variation de la vitesse avec trois cas : force si variation de vitesse, force nulle si v est constant et force nulle si v est nul, puis enfin relie les deux cas : force nulle si v ne varie pas (ou l'accélération est nulle) et force non nulle si accélération. Il apparaît que cette relation, fondamentale pour la physique, entre force et accélération, est construite à partir de connaissances reliant force (au sens d'action) et mouvement. Ces connaissances sont construites, hors de l'école, par tout individu très tôt dans sa vie peut-être même avant l'apparition du langage. Cette évolution met en jeu des connaissances intermédiaires, incorrectes du point de vue de la physique, mais qui peuvent permettre à l'élève d'acquérir la compréhension du principe d'inertie.

Hypothèses d'apprentissage liées au savoir

L'analyse conceptuelle et l'exemple précédent sur le cheminement possible des élèves nous conduisent aux deux hypothèses suivantes.

Développement de la compréhension à partir de « petits éléments » de connaissance

La compréhension se développe grâce à de nouvelles relations construites par l'apprenant qui relie des éléments de connaissance à un ensemble déjà constitué. Nous supposons que ces nouvelles relations ou intégrations se construisent le plus souvent à partir d'éléments de connaissance assez petits. Küçüközer (2005) montre que l'élève peut acquérir des éléments, comme par exemple une des caractéristiques de la vitesse dans le cas d'un mouvement circulaire (la modification de sa direction alors que sa valeur est constante), et ultérieurement la signification d'un mouvement circulaire uniforme, ou encore il peut apprendre que, pour le physicien, la Terre est un objet au même titre qu'un crayon ou un ballon et ultérieurement comprendre le principe des interactions entre objets (ou au moins certains aspects). Ces « petits » éléments et bien d'autres vont contribuer à la compréhension du principe d'inertie. Ce choix de « petits éléments » doit permettre de rendre compte de la signification et ne pas utiliser des étiquettes au sens où nous l'avons déjà précisé ; par exemple le terme de force peut avoir des sens différents dont il faut rendre compte. Ainsi, la construction de la compréhension conceptuelle de la physique se ferait par « petits éléments ». Cette position peut ne pas être contradictoire avec celle d'obstacle. En effet, si on se place à un niveau de granularité fin, le chercheur peut approcher l'évolution de l'élève « à petits éléments », alors que si on étudie l'évolution de l'élève sur un temps suffisamment long on peut considérer qu'il a franchi un obstacle épistémologique. En revanche notre hypothèse peut être en contradiction avec l'idée qu'on apprendrait d'un coup de nouveaux concepts à la suite d'une mise en contradiction. Nous n'excluons pas cette possibilité, mais nous la considérons comme étant plutôt rare.

Ce choix du découpage du savoir en petits éléments vise à analyser l'apprentissage conceptuel en supposant que l'apprenant va acquérir des éléments petits par rapport au savoir enseigné en jeu dans les situations d'enseignement. Comme nous supposons que l'apprenant ne s'approprie pas d'un coup l'en-

semble conceptuel du savoir présenté, il est nécessaire de décomposer le savoir enseigné d'un côté et les connaissances de l'apprenant de l'autre de telle façon que l'on puisse étudier le cheminement de l'apprenant en relation avec le savoir enseigné. La question du sens de ces éléments est alors essentielle car il va dépendre de l'ensemble dans lequel l'apprenant l'intègre. Ainsi un même élément de savoir peut avoir des sens bien différents selon que l'on prenne le point de vue de l'apprenant ou celui du savoir enseigné.

Notre choix de « petits éléments » nous conduit à prendre l'unité minimale de discours qui a un sens de manière autonome. Nous prenons donc l'équivalent d'une phrase qui, pour une majorité de linguistes, est considérée comme étant une unité minimale de sens. Par exemple pour le concept de poids nous avons quatre petits éléments : (1) la force exercée par la Terre sur un objet est le poids de l'objet, (2) la Terre exerce toujours une force sur les autres objets, (3) la force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur vertical toujours dirigé vers le bas, (4) la force (l'action) exercée par la Terre et la force (l'action) exercée par le sol ne sont pas les mêmes forces. Chacun de ces éléments est une des composantes de ce concept. L'acquisition de l'un n'implique pas l'acquisition d'un autre, par exemple le premier pourrait se limiter à une connaissance langagière sans lien avec les trois autres. Ainsi le sens de chacune va dépendre de la façon dont un apprenant relie cet élément à d'autres.

Un élément de connaissance s'apprend différemment d'un autre : différence « d'apprenabilité »

Un élément de connaissance ne s'apprend pas de la même façon qu'un autre, le coût cognitif de l'apprentissage peut être bien différent selon l'élément ou selon le groupe dans lequel il s'insère. Cette condition sur le groupe d'insertion est essentielle car le sens d'un élément ne s'apprend pas de manière isolée, les liens établis pour construire le sens sont donc liés au coût cognitif. Ceci nous conduit à poser la question de ce que nous appelons « l'apprenabilité » des éléments (ou de groupe d'éléments). Il s'agit de trouver des caractéristiques qui vont différencier les éléments selon les conditions de leur apprentissage et donc selon l'enseignement. Certains éléments (ou groupe d'éléments) pourront être appris mieux que d'autres simplement parce que le temps d'enseignement correspondant est plus important ; l'apprentissage d'autres éléments en revanche, comme par exemple la relation entre force et variation de la

vitesse ne pourra pas être associé à une durée d'enseignement, bien d'autres facteurs risquent de jouer. À notre connaissance, il y a encore un long chemin à faire pour les chercheurs pour mieux connaître les apprentissages possibles des différentes composantes du savoir.

Dans cette étude, nous visons à mieux connaître la diversité des acquisitions d'éléments de connaissance. Dans cette perspective, nous essayons de préciser la dynamique du savoir enseigné, en particulier la reprise d'éléments du savoir déjà introduits, avec la notion de **continuité** du savoir. Cette reprise peut correspondre soit à un temps d'enseignement supérieur mais aussi à une plus grande variété des mises en relation d'un élément de connaissance. Une autre notion, la **densité**, vise à connaître dans quelle mesure le savoir nouveau est introduit de manière régulière ou par à-coups.

Avant de présenter la méthodologie, nous précisons succinctement les données récoltées dans la mesure où le dispositif de recueil, dépendant en partie de considérations externes à la recherche, n'est pas directement déduit de la méthodologie, il s'agit plutôt d'aller-retour.

Dispositif de l'étude et données recueillies

Comme nous l'avons déjà signalé, cette recherche se situe à la croisée de deux études : l'une concerne l'évaluation des performances des élèves et l'autre porte sur l'étude du fonctionnement d'une classe de physique.

L'étude de l'évolution des performances a été réalisée avec une double perspective, comparer des pratiques de classes en lien avec les performances mais aussi évaluer une séquence d'enseignement en mécanique construite par un groupe de recherche-développement (Sesames 2004). Ainsi des questionnaires ont été passés avant et après l'enseignement de la partie « mécanique » dans des classes de seconde. Deux groupes de classes ont été constitués : 11 classes ayant suivi la « séquence-sesames » et 9 classes ayant suivi une séquence *a priori* construite par leur professeur, appelée « séquence-professeur ». Dans tous les cas ces séquences sont en accord avec le programme officiel. Le questionnaire après enseignement comportait toutes les questions posées avant ainsi que quelques questions supplémentaires. Ce questionnaire a été élaboré à partir d'un travail

sur l'évaluation en classe concernant la mécanique en seconde (Coulaud 2005).

Une classe dans chacun des groupes a été observée ; toutes les séances d'enseignement correspondant à la partie « dynamique » de l'enseignement ont été filmées et analysées. Il est important de noter que ces deux classes appartiennent à des établissements situés dans la très proche périphérie d'une grande ville et que leur public majoritaire est issu de milieux socio-économiques moyens sans difficulté particulière. Les deux classes de seconde ont également un niveau scolaire moyen selon leur professeur ; en revanche les deux enseignants sont très expérimentés. On peut rajouter que l'observation « superficielle » de ces classes conduit à les considérer comme ayant une « bonne » ambiance avec une participation des élèves, même si les personnalités du professeur et des élèves conduisent à des organisations de la classe différentes, par exemple sur les rythmes de travail en classe entière et en petits groupes et des interactions différentes.

Méthodologie

Notre méthodologie comporte un premier temps d'analyses indépendantes d'une part de l'enseignement dans la classe pendant une séquence et d'autre part de l'évolution des performances des élèves entre le début et la fin de cet enseignement (figure 1). Nous présentons ces deux composantes de la méthodologie avant de discuter de leur comparaison.

Reconstruction du savoir enseigné dans la classe

Rappelons que la référence essentielle pour cette reconstruction est le programme officiel et le savoir de niveau universitaire en physique ou en épistémologie. Nous présentons directement dans cette partie méthodologie notre analyse du programme officiel ainsi que celle de la séquence sesames (figure 2) dans la mesure où elles se situent à l'échelle macroscopique pour le savoir enseigné, et constituent une référence pour la construction du savoir enseigné à l'échelle mésoscopique. Nos données ne nous permettent pas de faire une analyse équivalente pour la séquence-professeur. Nous considérons que l'analyse du programme constitue une référence dans celles menées aux échelles inférieures, le professeur de la classe observée nous ayant dit qu'il « suivait le programme ».

Les deux séquences présentent une structure avec des parties ayant des tailles similaires. En revanche, leurs points de départ diffèrent, le programme officiel part de la force et de ses effets alors que la séquence sesames part de l'action sur les objets. Nous commentons ultérieurement cette différence.

Au niveau mésoscopique (environ 10 minutes), le savoir enseigné est reconstruit sur la base d'une analyse thématique (Tiberghien *et al.* 2007). Cette analyse consiste à diviser les productions discursives en unités d'environ 10 minutes (Filletaz 2001).

Chaque unité est construite sur la base de : (1) la structure du discours, les frontières sont fréquemment explicites, il y a une introduction et une conclusion (qui peut être un seul mot : bien, maintenant, ou un geste comme le professeur efface le tableau, change de position) ; et (2) la cohérence thématique.

L'analyse thématique s'inscrit dans l'analyse à l'échelle supérieure macroscopique en parties.

Au niveau microscopique (environ la seconde), les productions discursives sont analysées de deux points de vue : les facettes et les tâches épistémiques.

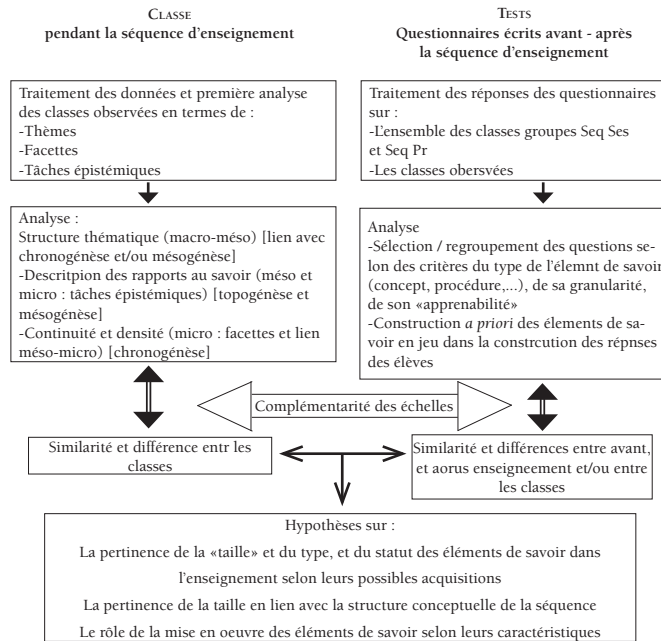
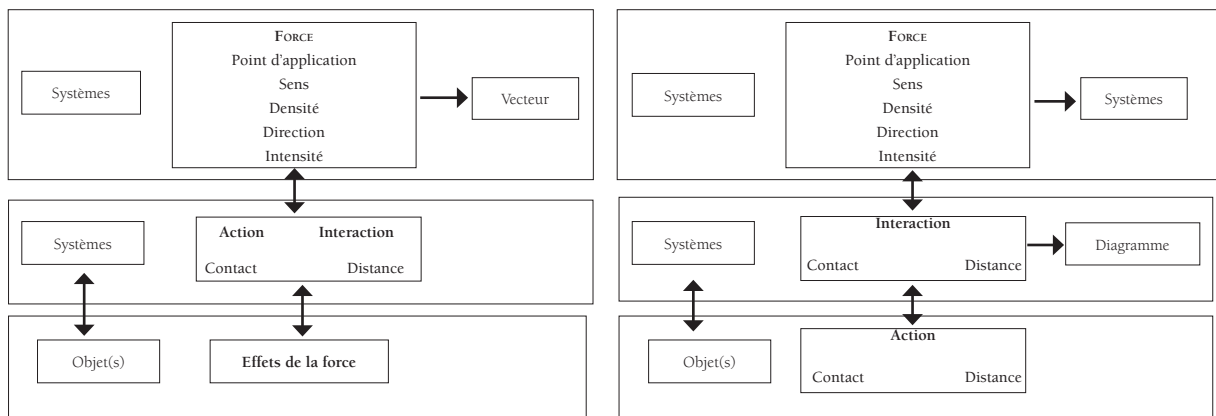
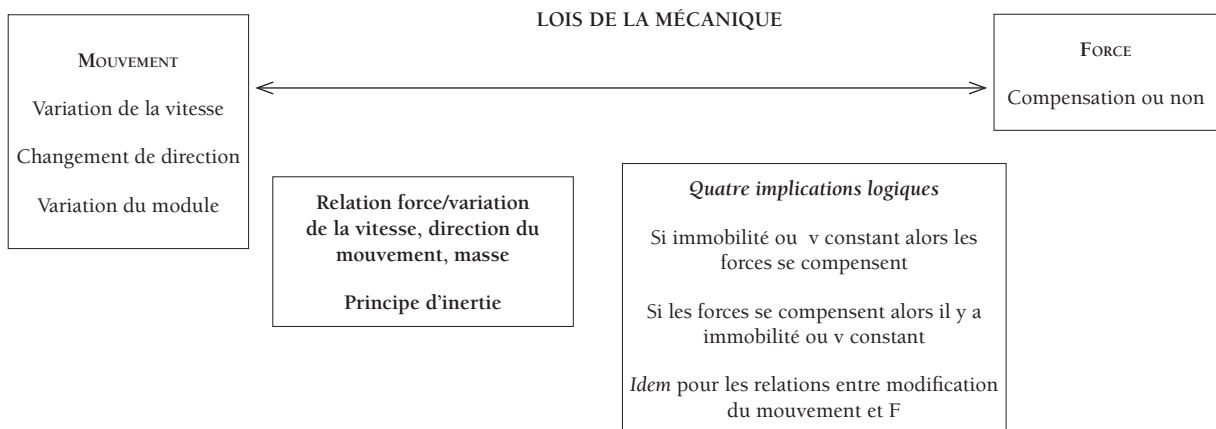


Figure 1 : vue d'ensemble de la méthodologie pour étudier les relations entre pratique de classe et performances des élèves (flèche simple trait : démarche choisie, et flèche pleine : aller-retour dans le travail d'investigation)



a- Cas du programme officiel pour la force

b- Cas de la séquence sesames pour la force



c- Cas du programme officiel et de la séquence pour les lois de la mécanique
Figure 2 Analyse conceptuelle (d'après Coulaud, 2005)

Facettes : petits éléments de savoir

Cette analyse correspond à la décomposition en « petits éléments » de savoir présentée ci-dessus en lien avec les hypothèses d'apprentissage. Pour désigner ces éléments nous reprenons le terme de facettes introduit par Minstrell (1992) et 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 (ou plusieurs dans le cas d'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 conventionnelle, celle du locuteur ou celle d'un autre interlocuteur.

Une première liste de facettes a été construite par Küçüközer (2005) dans le but d'analyser l'évolution de plusieurs élèves pendant une séquence de mécanique en 1^{re} section scientifique. Cette liste a été adaptée pour analyser le discours d'une classe pour une séquence sur la mécanique en 2nde afin de reconstruire le savoir enseigné c'est-à-dire avec comme perspective une signification conventionnelle.

Notre catalogue de facettes est structuré en groupes correspondant à un regroupement conceptuel ou procédural. Ces groupes sont :

- **les facettes conceptuelles** qui sont des composantes de concepts ou de relations entre concepts (par exemple : Quand un système X est en interaction avec système A, on appelle force exercée par A

sur X l'action de A sur X ») ; de plus nous constituons des **sous groupes par concepts ou relations conceptuelles** : actions-interactions, force, force-mouvement, force-variation de la vitesse, etc. ;

- **les facettes « représentation symbolique »** qui consistent en des règles de construction de différentes représentations comme les diagrammes, les vecteurs ; par exemple « la longueur de la flèche (force vecteur) représente l'intensité de la force » ;
- **les facettes langagières** qui correspondent au langage spécifique de la physique comme l'expression standard associée à la force : « force exercée par X sur Y » ;
- **les facettes « procédure »** qui consistent en des phrases relatives à la façon de construire quelque chose comme une représentation symbolique standard, ou de trouver l'orientation d'une action.

L'analyse en termes de facettes étant particulièrement développée dans cet article, nous précisons notre méthode par un exemple (tableau 2).

Dans cette analyse nous distinguons une facette correspondant à un élément de savoir introduit pour la première fois dans la classe que nous appelons « nouvelle facette » et une facette correspondant à un élément de savoir déjà introduit appelée : « facette ré-utilisée ». Cette prise en compte de la réutilisation d'un élément de savoir au cours de l'enseignement nous permet d'analyser la continuité du savoir comme nous l'avons introduit ci-dessus. Cette continuité peut être déterminée pour l'ensemble de la séquence ou pour des parties ; ainsi des relations entre les échelles

microscopique et mésoscopique contribuent à caractériser le savoir enseigné.

Analyse en termes de facettes

Dans l'extrait présenté ci-dessous, le professeur commence une correction après un travail en petit groupe sur la tâche suivante : « lancer le médecine-ball verticalement vers le haut et le rattraper. Trouver et noter les moments où vous exercez une

action sur le médecine-ball, indiquer à chaque fois dans quelle direction vous exercez cette action sur le médecine-ball. »

Cette question porte sur la description du mouvement du médecine-ball. Elle n'introduit pas de concept de physique et reste au niveau des objets et événements. En effet, comme nous l'avons montré dans l'analyse conceptuelle, nous considérons qu'une des difficultés de l'apprentissage conceptuel est la

1-P	Bon nous corrigeons (?) alors première question repérer et noter les moments où vous exercez / les médecine-balls sont posés là vous exercez une action sur le médecine-ball El A quand est-ce que vous exercez une action sur le médecine-ball
2-EIA	lorsqu'on le lance et lorsqu'on le rattrape
3-P	lorsqu'on le lance et lorsqu'on le rattrape lorsque vous lancez le médecine-ball l'action de vos mains ou votre action sur le médecine-ball elle est orientée comment (?)
4-EIX	vers le haut
5-P	[EIA] répond
6-EIA	Vers le haut
7-P	Vers le haut tout le monde est d'accord pour ça bon [...]
8-P	Et maintenant El A lorsque vous rattrapez le médecine-ball (?)
9-EIA	Vers le haut
10-P	c'est vers le haut aussi est-ce que tout le monde a bien vu cela (?) pour éviter que le médecine-ball ne descende vers le sol qu'est ce que vous faites avec vos mains vous le poussez vers le haut donc dans les deux cas l'action que vous exercez au lancer et à la réception est une action vers le haut. vous avez vérifié vous avez corrigé. qui est ce qui avait dit vers le bas pour la deuxième
11-Els	murmure
12-P	Alors repérer et décrire les différentes phases dans le mouvement du médecine-ball alors ça peut être c'est un peu compliqué ça peut être objet de débat ce que ce que nous voulons nous c'est que bon nous raisonnons en physicien hein donc il faut qu'on essaye de cerner les phases qui différent pour le mouvement les phases pour lesquelles le mouvement du médecine-ball semble différent alors [El B] qu'est ce que vous avez choisi comme phase
13-EIB	Le lancer
14-P	Le lancer
15-EIB	l'arrêt
16-P	où
17-EIB	Inaud.
18-P	l'arrêt tout en haut (met sa main en haut)
19-EIB	La descente
20-P	La descente (descend sa main)
21-EIB	Et le rattrapage
22-P	Et le rattrapage alors votre camarade a choisi le lancer l'arrêt tout en haut la descente et le rattrapage (fait les gestes associés avec sa main). Est ce que c'est cohérent son histoire là
23-Els	La montée
24-P	Eh oui hein il manque un petit morceau donc (P va au tableau et écrit) donc première phase lancer deuxième phase montée troisième phase arrêt ensuite descente et ensuite rattrapage réception comme vous voulez [El C] vous avez fait tout ça si c'était pas parfait vous corrigez Pour chacune des phases précisez comment varie la vitesse du médecine-ball [El C] au cours du lancer que fait la vitesse
25-EIC	Elle augmente
26-P	Elle augmente (P écrit) bien sur vous partez d'une vitesse nulle donc vous allez faire augmenter la vitesse [El D] au cours de la montée que fait la vitesse ?
27-EID	Elle diminue
28-P	Elle diminue (P écrit) [El E] que peut-on dire de la vitesse à l'arrêt ?
29-EI E	Elle est nulle

Tableau 2. Extrait de la transcription de la 2^e séance de la classe Séquence-sésames. Début de l'extrait : 56 : 40 par rapport au début de la séance Le professeur est debout juste devant la table du professeur et les élèves sont assis et répondent de leur place (El A, ElB, ElC, ElD remplacent les noms effectifs des élèves)

prise en compte du mouvement ; il s'agit d'apprendre à le décomposer en distinguant les phases de lancer et de réception (quand les mains sont en contact avec le médecine-ball) des autres phases du mouvement : la montée et la descente. Un autre aspect porte sur la direction de l'action des mains ; si au lancer il n'y a aucun problème, tous les élèves disent que l'action des mains est vers le haut, à la réception certains élèves pensent que cette action est vers le bas, c'est-à-dire dans le même sens que le mouvement des mains qui surtout avec le médecine-ball ont tendance à descendre. C'est d'ailleurs la raison essentielle qui nous a fait choisir une balle « lourde » (forte densité) ; le but est de distinguer la direction de l'action et la direction du mouvement (Guillaud, 1998).

Voici les facettes qui ont, de notre point de vue, une signification semblable aux énoncés de l'extrait présenté tableau 2 ; pour chaque facette nous donnons les numéros de tours de paroles ayant une signification semblable, nous précisons si elle est nouvelle ou réutilisée :

- Quand un objet A est en contact avec un objet B il agit sur lui (il y a interaction de contact entre A et B) [2,3, voir ci-dessous] (ré-utilisée)
- L'action a un sens [3 à 10] (nouvelle)
- Pour empêcher un objet de s'enfoncer (ou tomber) on exerce sur lui une action vers le haut (pour trouver le sens de l'action) [10 P] (nouvelle)
- La valeur de la vitesse peut augmenter [25, 26] (ré-utilisée)
- La valeur de la vitesse peut diminuer [27-28] (ré-utilisée)

La première facette est plus distante des énoncés effectifs que les suivantes, c'est pourquoi nous l'explicitons. Les énoncés effectifs (n° 2 et 3) comportent des verbes d'action, lancer et rattraper. Nous considérons que ces verbes sont des instanciations de la situation de deux objets en contact ; il s'agit pour nous d'une réutilisation pour un champ d'application nouveau ou ancien (dans ce cas il est nouveau).

Cette analyse au niveau microscopique en facettes s'insère dans l'analyse mésoscopique puisque les facettes sont situées au sein de chaque thème étudié.

Tâches épistémiques

Cette analyse vise à caractériser les processus de pensée personnels ou intersubjectifs qui sont en jeu dans la compréhension du monde matériel. Nous appelons ces processus tâches épistémiques (Ohlsson 1996). Notre analyse est limitée à la

compréhension du monde matériel puisque nous travaillons sur l'enseignement et l'apprentissage de la physique. Ces processus sont déterminés en référence à notre approche sur la modélisation qui distingue le monde matériel de la théorie et des modèles ; ceci nous conduit aux processus suivants : décrire, sélectionner, interpréter, calculer ou faire des opérations formelles, évaluer et des processus plus complexes comme argumenter, prédire, expliquer. Cette analyse est aussi fondée sur les interactions communicatives puisque, pour chacune des tâches, nous distinguons si elle est suscitée ou réalisée d'une part et d'autre part qui est l'acteur, le professeur ou un élève. Ainsi pour une tâche nous avons quatre cas : professeur ou élève suscite ou réalise. Nous ne détaillons pas ici cette analyse qui est encore en cours, nous en utiliserons quelques résultats. Signalons que le codage en tâches épistémiques a été réalisé à partir du visionnement des enregistrements vidéo à l'aide d'un logiciel d'annotation (Videograph) qui permet d'exporter ces codages pour les traiter numériquement.

Ainsi, alors que les facettes sont codées essentiellement à partir de la transcription, même si dans certains cas le visionnement est indispensable, les tâches épistémiques peuvent être directement codées à partir du visionnement de la vidéo. Pour les thèmes, un aller-retour est indispensable, en particulier la vidéo donne accès aux formes d'introduction et de conclusion des thèmes. Nous rendons compte ici d'une pratique qui devrait mener ultérieurement à des réflexions méthodologiques mais aussi épistémologiques sur le rôle des instruments d'analyse.

Évaluation des performances des élèves par des tests écrits

L'analyse conceptuelle du programme officiel et de la séquence sesames ont servi de base pour élaborer les questionnaires visant à évaluer les performances des élèves (figure 2). Le questionnaire a été conçu pour tester l'acquisition de la relation entre force et mouvement mais aussi des éléments de connaissance plus limités. Chacune des parties de l'analyse conceptuelle du programme donne lieu à plusieurs questions. Notre référence épistémologique étant la modélisation, les questions testent la compréhension conceptuelle en partant soit de la situation matérielle soit du modèle, en particulier des représentations vectorielles de la force. Des questions portent aussi sur les procédures de constructions des représentations de forces s'exerçant sur un système.

Relation savoir enseigné - performance

Actuellement, nous sommes au cours de l'étude des relations entre savoir enseigné et performances. En fait, la confrontation de nos analyses respectives des classes et des questionnaires nous conduit à des allers-retours variés en particulier entre les niveaux de granularités des savoirs. Au stade de notre travail, le premier objectif est d'interroger la pertinence de la méthodologie d'analyse. Cette interrogation peut conduire à remettre en cause nos hypothèses sur les liens enseignement – apprentissage. C'est pourquoi notre présentation développe notre analyse des classes. Nous présentons ensuite les analyses des tests avant de discuter des liens possibles entre enseignement et acquisition des élèves.

Analyse de la pratique des classes

Cette analyse porte essentiellement sur deux échelles de temps, mésoscopique de l'ordre de la dizaine de minutes et microscopique de l'ordre de la seconde ou de la dizaine de seconde. Dans certains cas, nous situons l'une ou l'autre de ces analyses dans l'échelle macroscopique de l'ensemble de la séquence (figure 2) afin de donner du sens aux résultats obtenus.

Analyse à l'échelle méso : structuration du savoir enseigné par thèmes

Nous présentons succinctement cette analyse discutée dans Tiberghien *et al.* (2007). Chaque séance est décrite à l'aide d'un synopsis comportant plusieurs dimensions ; nous ne reprenons ici que la dimension relative à l'organisation de la classe. La plupart de nos comparaisons entre classes se font pour les cas en classe entière, c'est-à-dire quand la communication se fait au niveau de l'ensemble des acteurs présents dans la classe. Dans le cas de l'organisation en petits groupes, le rythme de travail est propre à chacun. Cette organisation est indépendante de la structure de l'enseignement de la physique en classe entière (souvent appelée cours) et en demie classe (appelée travaux pratiques).

Le tableau 3 présente l'ensemble des thèmes dans l'ordre chronologique des deux classes observées. Cette décomposition en thèmes permet d'analyser le contenu conceptuel de chaque séquence et de le comparer à notre analyse *a priori* (figure 3). En ce qui concerne l'introduction de la force, la classe 1 respecte le programme, il y a introduction des effets d'une force (séance 1, thème 1) puis le lien force - interaction avec ensuite la représentation vectorielle des forces (séance II, thème 2) puis

la compensation qui donne la possibilité de reprendre les représentations des forces (séance III, thème 2). La classe 2 suit l'organisation conceptuelle de la séquence Sesames avec l'introduction de la notion d'action, et l'introduction du diagramme, et c'est seulement à la fin de la séance 2 (thème 7) que la force est introduite. De plus dans la classe 2, la notion d'interaction est très explicite, elle figure dans le titre de plusieurs thèmes en lien avec la force, alors que dans la classe 1 elle intervient explicitement comme thème juste après l'introduction de la force par ses effets. Ainsi dans la classe 2, la force est exclusivement présentée comme un concept y compris lors de son introduction comme un modèle de l'action, alors que dans la classe 1 elle est introduite par ses effets et donc peu différenciée de l'action pour ensuite être présentée comme modèle de l'action. En revanche, dans les deux classes, le principe des actions réciproques est introduit de suite après la force ; de même le principe d'inertie est introduit après un travail sur la liste et la représentation des forces en relation avec la variation de la vitesse.

Cette analyse thématique met aussi en évidence une différence relative à la représentation vectorielle des forces (tableau 3) traitée plus longuement dans la classe 2 que dans la classe 1. De plus, dans la classe 2, deux représentations symboliques sont introduites et mises en relation, le diagramme système-interaction et la représentation vectorielle des forces et chacune de ces représentations est associée à un lexique précis : X agit sur Y (diagramme) et force exercée par X sur Y (vecteur). Ainsi non seulement les représentations symboliques en jeu sont différentes (diagramme et vecteur) mais pour la seule représentation vectorielle, il y a une durée d'enseignement plus longue qui, de plus, s'étale sur plusieurs séances : thèmes 2 et 3 de la séance III, thème 1 séance 4, thème 2 séance 6. Les enregistrements vidéo montrent l'insistance du professeur dans les corrections sur les règles d'un schéma des forces qui doivent partir d'un même point et être notées F_{XY} . Dans l'autre classe, le professeur introduit les représentations de la force et les reprend, mais moins souvent et avec moins d'insistance sur l'importance du respect de règles dans un schéma de forces.

Pour chaque thème nous décrivons les rapports au savoir en jeu. Globalement les élèves de la classe 1 contribuent à la construction du savoir par des réponses courtes aux questions du professeur alors que dans la classe 2 les élèves ont des moments de contribution plus long, les rapports au savoir des élèves et des professeurs varient plus souvent suivant les types d'activité.

		Classe 1 (Séquence-professeur)	Classe 2 (Séquence-Sésames)		
Séance date	Durée (min)	Thème	Thème	Durée (min)	Séance date
I 3_03	18	1. Effets d'une force sur le mouvement et la forme des objets	1. Introduction de la notion d'action	19:00	I 4_02
	7:40	2. Interactions	2. Introduction du modèle des interactions	6:45	
II 4_03	1:34	1. Rappel des interactions	3. Première mise en œuvre du modèle des interactions	12:00	
	10 :36	2. Forces : modélisation des actions et représentation	4. Etude des interactions pour des situations variées	10:10	
	10:26	3. Forces et masses	1. Représentation d'un graphe	6:13	II 8_02
	44 : 48	4. Inventaire des forces avec compensation ou non des forces suivant le mouvement	2. Etude des interactions pour des situations variées.	13:35	
III 7_03	2:57	1. Compensation ou non des forces	3. Différentes situations d'interaction pour un système choisi	18:00	
	2:20	2. Utilisation relation somme forces - variation vitesse : cas d'un objet en mvt	4. Introduction du thème général de la notion de force	1:30	
	34 : 35	3. Liste, représentation des forces, relation somme des forces et variation de la vitesse	5. Détermination des phases du mouvement d'un objet, sens de l'action sur cet objet, variation de la vitesse	18:58	
	9:25	4. Nature mvt, liste, compensation forces	6. Analyse des interactions pour différentes phases du mouvement d'un médecine-ball	10:42	
IV 10_03	3:55	1. Description du mécanisme de la table à coussin d'air	7. Introduction de la force et sa représentation vectorielle et du P. des actions réciproques	4:40	
	10:35	2. Relation somme des forces et nature du mvt (P.I)	8. Mise en œuvre de la force avec sa représentation vectorielle à partir des interactions (utilisation modèle des interactions)	9:24	
	29 : 23	3. Principe d'inertie	1. Interactions : relations entre une rep. symbolique et des situations matérielles	5:14	III 10_02
V 11_03	55 : 15	1. Caractéristiques du mvt d'une goutte d'eau colorée dans l'huile (prévisions, observations et mesures)	2. Représentation de la force (direction et sens) modélisant une interaction (pas longueur des vecteurs)	10:10	
	17:08	2. Bilan des forces et application du P. d'inertie sur le mvt d'une goutte d'eau colorée dans l'huile	3. Représentation de la force modélisant un objet en mouvement	30 : 31	
VI 14_03	5:28	1. Influence de la masse sur le mouvement à force constante : véhicules poussés avec la même force et deux balles de ping-pong (l'une plein d'eau)	1. Interactions, listes et représentations des forces pour 3 situations (exercices et correction)	23:40	IV 11_02
	7:09	2. Introduction de la notion d'inertie (exercice)	1. Introduction du principe d'inertie	5:21	V 22_03
	36 : 33	3. Différentes notions de cinématique et de dynamique (exercices)	2. Compensation des forces s'exerçant sur un système immobile	22:31	
			3. Non compensation des forces s'exerçant sur un système dont la vitesse varie	7:55	
			4. P. d'inertie appliqué selon les directions horizontale et verticale du mouvement	32 : 27	
			5. Influence de la masse sur le mouvement	9:06	
			1. Application du principe d'inertie dans différentes situations	4:27	VI 24_03
			2. Représentation diagramme système-interactions et forces, application du P. d'inertie	38 : 02	
			3. Nature du mvt et application du P. d'inertie	5:40	
			1. Nature mvt, application du principe d'inertie et représentation des forces (corr exercice)	14:50	VII 25_03
			2. Différentes notions de cinématique et de dynamique (Réfèrentiel, nature du mvt, compensation forces, calcul vitesse, influence de la masse) (correction exo)	11:50	
			3. Caractérisation du mvt et application du principe d'inertie (exercice)	22:55	

Tableau 3 : successions des thèmes dans les deux classes étudiées (mvt = mouvement et corr = correction)

Analyse à l'échelle micro : vue d'ensemble

L'analyse en termes de facettes a été faite pour l'ensemble des deux séquences. Cette analyse systématique couvrant l'ensemble de la séquence, ne préjuge pas des événements importants dans la classe. Elle conduit à introduire deux notions caractérisant le savoir enseigné : la continuité et la densité. Rappelons que nous distinguons les résultats suivant l'organisation de la classe, classe entière (CE) ou en petits groupes (Gr). Cette distinction est justifiée par le fait que, seulement en classe entière, le discours et plus largement les productions écrites (au tableau) orales et gestuelles sont publiques, tous les élèves disposent de l'information, ce qui n'est pas le cas lors du travail en un petit groupe ou individuellement.

Nous présentons quelques résultats de l'analyse en termes de tâches épistémiques qui est en cours actuellement.

Continuité du savoir

Rappelons l'hypothèse que si des éléments de savoir sont repris souvent dans l'enseignement ils ont plus de chance d'être acquis ; ils peuvent être soit repris en lien avec un nouveau champ d'application, de nouveaux concepts ou soit rappelés directement. Ainsi l'analyse en termes de facettes qui identifie l'utilisation d'une facette par thème, permet de rendre compte de la ré-utilisation de chaque facette. Nous calculons le taux de réutilisation du savoir sur la séquence pour toutes les facettes (tableau 4) ou pour des groupes relevant d'un même ensemble conceptuel (le tableau 6 donne un exemple). Ce taux est une des caractéristiques de la chronogénèse.

Le tableau 4 (cf. page suivante) montre que le nombre total de facettes introduisant un nouveau savoir est supérieur pour la classe « Séquence Sesames ».

Cela est dû principalement à deux groupes de facettes relatives à :

- l'action ; comme nous l'avons noté dans l'analyse thématique seule cette séquence introduit cette notion et le diagramme système interaction ; l'in-

troduction de ces éléments correspond à 12 facettes spécifiques de cette classe ;

- la modélisation ; le professeur introduit quatre facettes sur le fonctionnement du savoir : (1) Un principe est une règle qu'on ne démontre pas mais qui n'a jamais été mise en défaut ; (2) on peut avoir une même représentation symbolique (diagramme système-interactions) pour des situations différentes, (3) Le modèle choisi pour rendre compte des interactions n'est pas suffisant ; (4) un phénomène ou un concept n'est pas un objet et un objet n'est pas un phénomène ou un concept. Ces dernières facettes sont introduites mais peu réutilisées.

La classe « séquence professeur » introduit aussi des facettes spécifiques. Quatre d'entre elles sont significatives de l'introduction de la force par ses effets : (1) La force qui s'exerce sur un objet peut modifier le mouvement (effet) ; (2) La force qui s'exerce sur un objet peut modifier la trajectoire (effet) ; (3) La force qui s'exerce sur un objet peut modifier sa forme (effet) ; (4) La force qui s'exerce sur un objet peut le mettre en mouvement. Dans cette classe le professeur introduit également l'interaction magnétique et électrique (2 facettes supplémentaires : « L'interaction magnétique est une interaction à distance », « Il y a trois types d'interactions à distance : gravitationnelle, magnétique, électrique ».).

Le taux du nombre de facettes réutilisées par rapport aux facettes nouvelles est un peu supérieur pour la classe « séquence-professeur » (tableau 4). Ceci nous conduit à la question de la pertinence pour la compréhension conceptuelle de ce savoir « supplémentaire » dans la classe « séquence-sesames » ; est-il une aide à la compréhension du concept de force ou simplement une surcharge de savoir conceptuel ? Nous revenons sur ce point à partir des résultats des tests.

Notons que la continuité sur l'ensemble de la séquence ne prend pas en compte la temporalité des réutilisations (qui peuvent se produire dans les thèmes juste après la première introduction ou lors de séances ultérieures).

Ensemble des facettes	Cl « Seq professeur »			Cl. « Seq Sesames »		
	CE	Groupe	Total	CE	Groupe	Total
Nouvelles	49	1	50	65	21	86
Réutilisées	203	30	233	237	136	373
Taux Réut/Nv (continuité)	4	30	4,7	3,6	6,5	4,3

Tableau 4 : Ensemble des facettes pour les deux classes et continuité. CE (Classe entière) et Groupe précise l'organisation de la classe

Densité du savoir

L'introduction d'éléments nouveaux de savoir peut se faire régulièrement ou de manière discontinue. Il ne s'agit pas d'établir un lien direct avec les acquisitions des élèves; nous supposons, en revanche, que ce rythme d'introduction de nouveaux éléments de savoir va jouer un rôle dans la vie de la classe et dans le rapport des élèves au savoir. La figure 3 donne ce que nous appelons la densité qui est le nombre de facettes correspondant à des éléments de savoir nouveau introduit en classe entière divisé par la durée du thème (en minutes). Cette densité se situe sur l'ensemble de la partie dynamique de la séquence; on a donc un lien entre les analyses aux trois échelles macroscopique (la séquence), mésoscopique (les thèmes) et microscopiques (les facettes).

Un pic de densité important apparaît dans la classe séquence-sesames pour le thème 7 de la séance 2. Il s'agit de l'introduction du modèle de

la force et de sa représentation vectorielle (voir tableau 3). Pour la classe séquence-professeur, le pic, moins important, correspond au thème 2 de la première séance quand le professeur présente les interactions. Globalement nos données montrent que le taux d'introduction de l'ensemble des facettes « nouvelles » pour la durée de l'enseignement en classe entière est peu différent : 0,16 pour la classe Séquence-professeur (environ 5 heures en classe entière) et 0,18 pour la classe séquence-sesames (environ 6 heures en classe entière). De plus, si l'on utilise notre analyse en termes de tâches épistémiques en sélectionnant la tâche « définir » avec les sous tâches : « énoncer un concept ou une règle », on obtient des nombres qui, à nouveau, sont peu différents et vont dans le même sens : dans la classe séquence-professeur, le professeur énonce 52 fois un concept (36) ou une règle (16), alors que dans l'autre classe le professeur énonce 61 fois un concept (23) ou une règle (38).

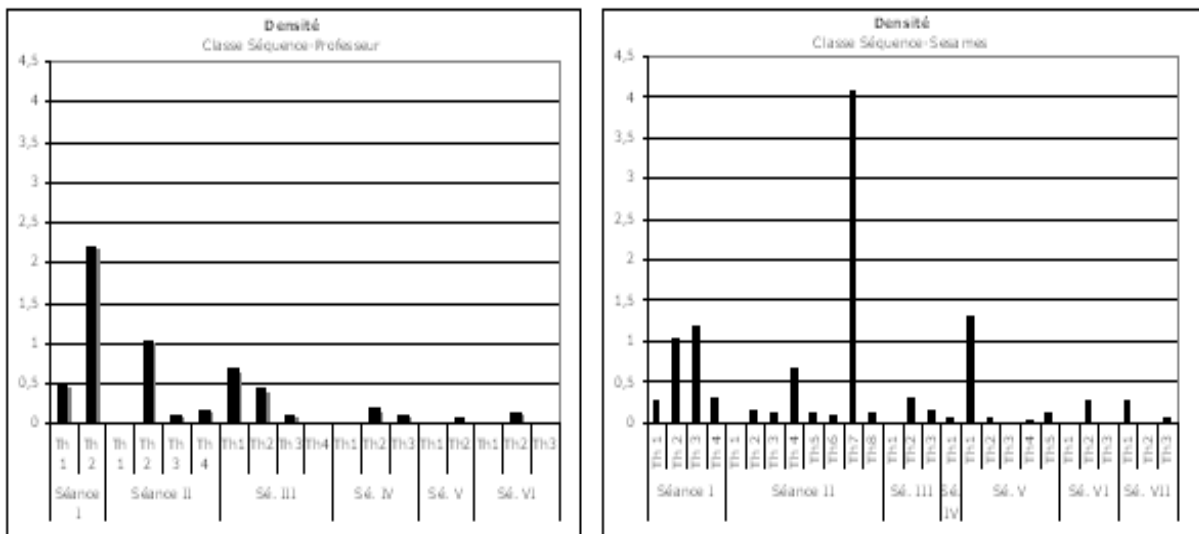


Figure 3 : densité des savoirs par séance et par thème pour chacune des classes

Sous-groupe des facettes conceptuelles	Facettes	Cl. « Seq prof »		Cl. « Seq Sesames »	
		CE	Groupe	CE	Groupe
Action	Quand un objet A est en contact avec un objet B il agit sur lui (il y a interaction de contact entre A et B)	2	0	20	6
	La Terre agit toujours sur (attire) les objets	1	0	15	5
Mouvement	Le mouvement d'un point est rectiligne quand sa trajectoire est une ligne droite.	14	2	8	3
	Lorsque la valeur de la vitesse du point ne varie pas on dit que le mouvement est uniforme.	13	2	7	4
Force	La Terre exerce toujours une force sur les autres objets	13	1	2	2
	Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets	12	1	0	2
Réalisation d'une représentation	Diagramme système interaction	0	0	16	8
	Force	6	1	13	11

Tableau 5 : Facettes les plus utilisées (en gras) en classe entière (CE) et en groupe pour les deux classes ;

Quelles facettes sont les plus utilisées ?

Le tableau 5 montre les facettes les plus utilisées dans les deux classes. Il est frappant de voir une similitude même si ce n'est pas les mêmes facettes. La facette la plus utilisée dans la classe « séquence-sésames » porte sur l'action entre objets en contact (20 fois) et a son équivalent en termes de force dans la classe « séquence-professeur » (12 fois). De même les facettes relatives à l'action ou la force exercée par la Terre font partie des plus utilisées dans les deux classes. En revanche, une différence apparaît concernant le rappel beaucoup plus fréquent dans la classe « séquence-professeur » du mouvement rectiligne et/ou uniforme. Une autre différence très nette est l'importance des facettes sur les représentations symboliques dans la classe « séquence-sésames », relatives au diagramme système-interaction mais aussi à la force.

Le tableau 6 (cf. page suivante) montre l'importance des représentations symboliques dans le cas de la classe « séquence-sésames » en comparaison avec l'autre classe ; non seulement le nombre de réutilisation est plus important mais la proportion par rapport à l'ensemble des facettes réutilisées est aussi plus important alors que les taux sur l'ensemble des facettes sont légèrement en faveur de la classe « séquence-professeur ». Ce résultat confirme et

précise l'analyse thématique où les représentations apparaissent tout au long de la séquence pour la classe sésames (tableau 3).

Cette analyse au niveau microscopique qui met en jeu des calculs sur les facettes ne peut prendre sens que si elle est resituée aux échelles supérieures. Ainsi, alors qu'au niveau de la séquence (macroscopique) il n'y a pas de différence importante sur la continuité et la densité des savoirs, il y a un écart sur les contenus déjà noté dans l'analyse thématique au niveau mésoscopique. La différence sur la structure conceptuelle apparaît, dans cette analyse au niveau microscopique, via l'importance respective des facettes sur la relation contact – action ou contact - force ; la différence sur l'importance des représentations symboliques dans une des classes est aussi manifeste.

Ces analyses montrent que l'analyse thématique au niveau mésoscopique joue un rôle pivot dans l'interprétation ; elle permet à la fois de donner du sens à l'analyse en termes de facettes en les situant dans un thème, de préciser la situation temporelle de ces facettes et de comprendre comment ces facettes se situent dans la structure conceptuelle de la séquence au niveau macroscopique. On peut aussi noter que le regroupement conceptuel ou procédural des facettes se situe à un niveau mésoscopique du point de vue de la granularité du savoir.

Groupe de facettes « représentations et unités »	Cl « Seq professeur »			Cl. « Seq Sesames »		
	CE	Groupe	Total	CE	Groupe	Total
nouvelles	5	0	5	17	2	19
réutilisées	7	1	8	34	28	62
Taux Fac. RepReu/TotFac. Reu %	3,4	3,3	3,4	14,3	20,6	17

Tableau 6 : Facettes relatives aux représentations. Le taux est calculé par rapport au nombre total de facettes réutilisées pour chacune des classes (203 Séquence-professeur, 237 séquence-sesames voir tableau 4)

Résultats des questionnaires sur les éléments sélectionnés

Le questionnaire a été conçu pour tester les acquisitions conceptuelles, tout en décomposant les concepts en jeu, en particulier en ce qui concerne les liens entre les différentes représentations (langage naturel, représentation vectorielle) et ceux entre le champ expérimental et le modèle¹; ceci rejoint nos hypothèses d'apprentissage par « petits éléments ». Rappelons notre préoccupation présentée dans le cadre théorique de différencier les éléments de savoir (ou des groupes d'éléments) selon leur « apprenabilité » c'est-à-dire à la fois la difficulté pour les élèves à leur construire un sens et à les mettre en œuvre et les conditions d'enseignement qui favoriseraient leur apprentissage par une assez grande variété d'élèves. Ceci nous amène à présenter ces résultats en distinguant les éléments conceptuels reconnus comme difficiles à acquérir et d'autres dont, *a priori*, nous ne connaissons pas vraiment les difficultés de leur apprentissage, nous supposons cependant que ces savoirs sont « apprenables » avec un enseignement adapté au sens où une majorité d'élèves devrait les acquérir.

Concepts difficiles à acquérir

Comme nous l'avons déjà discuté, tous les travaux sur les conceptions s'accordent pour considérer que la relation force mouvement, dans une situation où un objet, une fois lâché, continue à se déplacer sur un support ou dans l'air, est très difficile à acquérir y compris avec des enseignements prenant en compte cette conception (Hestenes *et al.* 1992).

Deux questions testent cette composante du savoir (tableaux 7 et 8). Nous y rajoutons une autre question qui porte sur une notion liée : si les forces se compensent peut-il y avoir mouvement ? (tableau 9). Précisons que pour ces deux questions, les seules forces qui s'exercent sur l'objet (palet ou ballon) sont celle de la Terre et celles des objets avec lesquels

il reste en contact. Ainsi le ballon une fois lancé à la verticale peut continuer à monter avec comme principale force exercée sur lui celle de la Terre (son poids) et si on ne la néglige pas celle de l'air. Il se déplace vers le haut et la résultante des forces qui s'exercent sur lui est vers le bas (sa vitesse diminue). Les travaux sur les conceptions montrent qu'une part non négligeable des élèves (voire une majorité) de tous niveaux « invente » une force dans la direction du mouvement qui s'exerce sur l'objet.

Notons que dans les résultats des questionnaires nous ne faisons pas de tests de signification (Khi2 par exemple) parce que pour juger s'il y a évolution nous nous appuyons à la fois sur le taux final et sur l'évolution.

Ces résultats montrent qu'avant enseignement les classes 1 et 2 sont identiques à l'ensemble des deux groupes auxquels elles appartiennent alors qu'après enseignement la classe 1 se comporte un peu mieux que son groupe et la classe 2 quasiment pareil. On peut considérer que ces deux classes ont nettement progressé même si la classe 2 est meilleure que la classe 1 après enseignement.

Dans ce cas aussi (Tableau 8), avant enseignement, les deux classes se comportent comme leur groupe respectif, alors qu'après enseignement la classe 1 se comporte de manière semblable et la classe 2 est un peu meilleure que son groupe. Même si la classe 2 a nettement mieux progressé que la classe 1, moins de la moitié des élèves réussissent. En même temps on peut considérer que ces progrès sont remarquables puisque le groupe séquence-professeur et la classe 1 n'a pas progressé alors qu'il s'agit d'une situation standard souvent évoquée dans l'enseignement et tout particulièrement dans la séquence-sésames qui propose d'étudier longuement une situation très proche. Ces résultats confortent la difficulté d'une telle acquisition déjà bien établie par ailleurs.

Pour cette troisième question, posée seulement après enseignement (tableau 9), les résultats sont meilleurs pour le groupe seq-sesames et la classe 2 ;

une grande majorité d'élèves (plus de 80 %) reconnaît la possibilité d'un mouvement rectiligne uniforme.

Les résultats à ces questions montrent que des progrès sont possibles mais difficiles; les progrès meilleurs pour la séquence Sésames conduisent à

penser que sa structure conceptuelle n'est pas un handicap en particulier la surcharge conceptuelle de l'introduction de l'action et des représentations symboliques associées.

Un joueur de hockey sur glace a lancé un palet. Une fois lancé, le palet glisse sur la glace avec un mouvement rectiligne uniforme (un schéma est associé)
 Question 3. Parmi les forces ci-dessous cochez celles qui s'exercent sur le palet lorsqu'il glisse sur la glace.
 Items proposés :
 Le poids
 Une force exercée par la glace
 Une force exercée par l'air
 Une force dans la direction du mouvement

Item : force dans la direction du mouvement	Avant enseignement		Après enseignement		Diff. BonR
	Cochée	Non cochée	Cochée	Non cochée	
seq-professeur (N = 252)	69,8	29,8	49,4	50,6	20,8
seq-sesames (N = 333)	68,7	31,2	24,6	75,3	44,1
Classe 1 (seq-professeur) (N = 28)	67,9	32,1	39,3	60,7	28,6
Classe 2 (seq-sesames) (N = 31)	74,2	25,8	25,8	74,2	48,4

Tableau 7 : pourcentage d'élèves ayant coché ou non la case « force dans la direction du mouvement »

Au début d'un match de basket l'arbitre prend le ballon et le jette à la verticale vers le haut.
 Dans toutes ces questions, on s'intéresse à la montée du ballon, une fois que l'arbitre l'a lâché. Parmi les forces ci-dessous cochez celles qui s'exercent sur le ballon pendant cette phase :
 Item proposé à cocher s'il est considéré comme vrai : Une force verticale exercée vers le haut par la main de l'arbitre

	Avant enseignement		Après enseignement		Diff Bonne Rep
	F Mvt	Pas de F	F Mvt	Pas de F	
seq-professeur (N = 252)	88	11,6	88,4	11,5	-0,1
seq-sesames (N = 333)	89	10,9	59,7	39,6	28,7
Classe 1 (seq-professeur) (N = 28)	89,3	10,7	92,9	7,1	-3,6
Classe 2 (seq-sesames) (N = 31)	87,1	12,9	54,8	41,9	29

Tableau 8 : pourcentage d'élèves ayant coché (F Mvt) ou non (pas de F) la case pour l'item : Une force verticale exercée vers le haut par la main de l'arbitre

On a représenté ci-contre un schéma des forces qui s'exercent sur un système S à un moment donné. Pour chacun des schémas, indiquer si les propositions sont possibles ou impossibles

	Mvt rect unif	Immobilie
seq-professeur (N = 252)	60,7	64,3
seq-sesames (N = 333)	81,4	81,7
Classe 1 (seq-professeur) (N = 28)	58,6	79,3
Classe 2 (seq-sesames) (N = 31)	96,8	93,5



Tableau 9 : pourcentage d'élèves ayant choisi l'option « possible » (les deux sont possibles pour la physique)

Éléments de savoir standard sans difficulté particulière connue

Nous avons sélectionné deux éléments de savoir : l'un relatif à la dénomination de l'action de la Terre sur un objet : poids ou l'expression « force exercée par la Terre », et l'autre relatif à la notation des forces en lien avec leur représentation vectorielle.

Cas du poids versus force exercée par la Terre

Les tableaux 10 et 11 donnent deux questions, l'une utilisant le terme poids l'autre l'expression « force exercée par la Terre ».

Les taux de bonnes réponses montrent qu'un pourcentage inférieur d'élèves de la classe 2 (séquence-sesames) répond correctement à la question sur le poids qui s'exerce sur le palet et un résultat en sens inverse pour la force exercée par la Terre sur plusieurs objets (voir tableau 11). Il faut noter que les classes 1 et 2 se comportent mieux que les groupes auxquels elles appartiennent que ce soit en pourcentage final ou en différence entre les pourcentages de réponse avant et après. Il apparaît clairement que, pour les élèves de seconde, « poids » et « force exercée par la Terre » ne sont pas complètement équivalents. Signalons que nous n'avions pas anticipé ce résultat que nous commentons plus loin.

Notation des forces et leur représentation vectorielle

Nous avons sélectionné une question portant sur la représentation vectorielle d'une force qui devrait également comporter la notation $F_{X/Y}$ (tableau 12).

Ces réponses (tableau 12) montrent que dans le groupe séquence-sesames et la classe 2, un plus grand nombre d'élèves a acquis l'usage d'une notation standard : $F_{A/B}$. De même on peut considérer qu'ils ont acquis la forme langagière « force exercée par le système A (ou l'objet) sur le système B » sans avoir la même maîtrise des noms standards des forces en particulier le poids (on retrouve le même type de résultats pour l'utilisation plus fréquente de noms standard : réaction, tension dans les classes « séquence-professeurs »).

En conclusion, ces résultats montrent que les réponses d'une majorité des élèves des deux classes ont progressé de manière importante pour une bonne partie des questions. Les élèves de la classe 1 ont plus progressé sur certains aspects de connaissances « standards » comme le poids (d'autres questions qui ne sont pas présentées ici vont dans ce sens) alors que ceux de la classe 2 ont plus progressé sur un concept reconnu difficile et sur la notation et les représentations vectorielles des forces.

Un joueur de hockey sur glace a lancé un palet. Une fois lancé, le palet glisse sur la glace avec un mouvement rectiligne uniforme (un schéma est associé)

Question 3. Parmi les forces ci-dessous cochez celles qui s'exercent sur le palet lorsqu'il glisse sur la glace.

Item proposé : le poids	Avant enseignement	Après enseignement	Diff
seq-professeur (N = 252)	75,7	92,8	17,1
seq-sesames (N = 333)	72,6	64,5	-8,1
Classe 1 (seq-professeur) (N = 28)	71,4	100	28,6
Classe 2 (seq-sesames) (N = 31)	74,2	64,2	-10

Tableau 10 : pourcentage d'élèves qui cochent le poids comme force qui s'exerce sur le palet

Les propositions suivantes sont-elles vraies ou fausses ?

Un oiseau vole dans les airs. La Terre exerce une force sur lui

Un homme nage dans une piscine. La Terre exerce une force sur lui

Un tronc d'arbre flotte à la surface de l'eau. La Terre exerce une force sur lui

	Avant enseignement		Après enseignement		Évolution	
	Classe 1 (seq-professeur)	Classe 2 (seq-sesames)	Classe 1 (seq-professeur)	Classe 2 (seq-sesames)	Classe 1 (seq-professeur)	Classe 2 (seq-sesames)
Force exercée par la Terre sur	N = 31	N = 28	N = 31	N = 28	N = 31	N = 28
Oiseau qui vole	32,1	80,6	78,6	100	46,5	19,4
Homme qui nage	32,1	54,8	67,9	93,5	35,8	38,7
Tronc qui flotte	35,7	35,5	67,9	80,6	32,2	45,1

Tableau 11 : pourcentage de réponses correctes (choix « vrai ») pour la force exercée par la Terre

Dans le cas du palet les élèves avaient à tracer toutes les forces qui s'exercent sur le palet sur un schéma où le palet est représenté par un point P

Représentation vectorielle	avec $F_{\text{glace/palet}}$	sans nom
Groupe seq-professeur (N = 252)	13,7	42,5
Groupe seq-sesames (N = 333)	60,8	20,1
Classe 1 (seq-professeur) (N = 28)	46,4	35,7
Classe 2 (seq-sesames) (N = 31)	67,7	12,9

Tableau 12 : pourcentage d'élèves légendant le vecteur force dans le cas de la glace : FG/P ou ne donnant aucune légende

Mise en relation entre les résultats des tests et les savoirs enseignés

Pour cette mise en relation nous reprenons la même structure que pour les résultats des questionnaires.

Cas d'une acquisition conceptuelle difficile : un objet en mouvement peut ne pas avoir de force dans la direction du mouvement

Analyse a priori du questionnaire

L'analyse des deux questions testant cette acquisition en termes de facettes (question avec le palet, tableau 7 ou question avec le ballon lancé par l'arbitre, tableau 8), montre qu'a priori pour répondre, seules quelques facettes sont à mettre en œuvre voire une seule. La facette essentielle est dans le sous-groupe « force » du regroupement conceptuel des facettes : « Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets ». Deux autres dans le sous-groupe « actions-interactions » peuvent aussi être utilisées : « Quand un objet A est en contact avec un objet B il agit sur lui (il y a interaction de contact entre A et B) » et « Quand un objet A n'est plus en contact avec l'objet B il n'exerce plus une action sur lui ». On peut se demander pourquoi des énoncés aussi simples que ces facettes peuvent ne pas être mis en œuvre dans ces questions par une partie des élèves après enseignement. La réponse demande une analyse

approfondie du savoir de la physique mais aussi des connaissances des élèves. Comme nous l'avons présenté ci-dessus, cette force dans la direction du mouvement proposée par les élèves (et une grande partie des non-physiciens) est un signe de la mise en œuvre d'une relation causale. Un mouvement a une cause, dans le cas du ballon ou du palet cette cause est à juste titre le lancer par une personne. Le passage de l'immobilité au mouvement et donc le changement de vitesse est bien à relier pour le physicien à la force exercée par le système « personne ». Ainsi, il ne suffit pas de connaître l'énoncé des facettes en question, mais de les mobiliser ce qui supposerait qu'elles soient en cohérence avec la vision et la compréhension du monde matériel de celui qui répond. C'est pourquoi pour interpréter la différence des résultats entre les deux classes, au-delà de la prise en compte de la mise en œuvre de ces facettes, nous devons étudier comment cette analyse du mouvement a été traitée. Cette analyse, encore en cours, nécessite de prendre en compte l'ensemble du savoir enseigné, non seulement son évolution dans le temps mais aussi les positions par rapport au savoir du professeur et des élèves en lien avec leur environnement.

Analyse a posteriori de l'enseignement à partir des facettes a priori du questionnaire

Nous avons analysé le nombre de fois où ces facettes ont été utilisées dans l'enseignement de chacune des classes (voir tableau 13 page suivante)

		Classe 1 (seq-professeur) Groupe	Classe 1 (seq-professeur) Classe entière	Classe 2 (seq-sesames) Groupe	Classe 2 (seq-sesames) Classe entière
Action-Interaction	1- Quand un objet A est en contact avec un objet B il agit sur lui (il y a interaction de contact entre A et B)	0	3	7	21
	2- Quand un objet A n'est plus en contact avec l'objet B il n'exerce plus une action sur lui	0	2	2	3
Force	1- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets	1	13	2	1
TOTAL		1	18	11	25

Tableau 13 : Nombre de fois où une facette a été introduite puis réutilisée selon l'organisation de la classe. Le nombre de facettes utilisées est en faveur de la classe 2 pour l'organisation classe entière.

Séances	Classe 1 « seq professeur »			Classe 2 « seq sesames »		
	Thèmes			Thèmes		
	Action Facette 1	Action Facette 2	Force Facette 1	Action Facette 1	Action Facette 2	Force Facette 1
I	Th2b			Th1GrCE, Th3, 4Th4Gr		
II	Th1; Th2		Th2, Th4a, b	4Th2, 2Th3, Th5GrCE, Th6	Th3, Th5Gr, Th6	
III		2Th2	Th3a, b, Th4b	Th1		Th3
IV			Th2a, Th3d	4Th4		Th1Gr
V			Th2	Th2GrCE	Th4	
VI			Th1, Th3b,c,d	4Th2	Th2Gr	Th2Gr
VII				Th1		

Tableau 14 : séances et thèmes où sont introduites les 3 facettes (Gr est mentionnée quand la facette est en œuvre seulement en groupe). Le chiffre précédent Th (pour thème) est le nombre de fois où la facette a été utilisée. Les numéros des facettes sont ceux du tableau 13.

Analyse a posteriori de l'enseignement du réseau conceptuel

Dans quel environnement conceptuel ces facettes sont-elles mises en œuvre? Le tableau 14 montre les séances et les thèmes dans lesquels ces facettes ont été mises en œuvre. Dans les deux classes, ces facettes traversent quasiment l'ensemble de la séquence, de la première à la dernière séance. Nous décrivons succinctement cet environnement pour chaque classe.

Classe « séquence-professeur »

La facette 1 action est introduite au début de la séance I, en lien avec le rappel du principe des actions réciproques dans le cadre de l'interprétation d'une situation où le professeur pousse un élève; dans ce

même thème le professeur met en jeu d'autres facettes relatives à l'action de la terre (2 facettes) et aux trois types d'interaction à distance (2 facettes).

C'est au moment de l'introduction du principe d'inertie et des autres lois que le professeur distingue action ou force et mouvement. Ainsi à la séance III thème 2a le professeur dit clairement que la somme des forces n'a pas nécessairement le sens du mouvement : « *Donc c'est pas parce que ça monte que les forces qui agissent sur l'objet globalement donnent une résultante vers le haut, ça peut très bien monter alors que les forces qui s'exercent sur l'objet ont une résultante vers le bas, [...]* »

Classe « séquence-sésames »

Dans cette classe, la facette 1 action est introduite au cours de la séance I, à l'aide d'un modèle de

manière formelle puisqu'elle est associée à une flèche dont le sens traduit le sens de l'action, en revanche l'environnement conceptuel est plus limité à l'action sans aller aux types d'interaction comme dans la classe « séquence-professeur ». Sur l'ensemble des séances, il y a une importance marquée sur la distinction entre sens de l'action, de la force, de la variation de la vitesse et celui du mouvement, ainsi action/force et mouvement sont mis en relation mais distingués. Dans la séance III la notion de sens du mouvement est introduite indépendamment de la force. On retrouve l'importance des représentations graphiques ; les élèves doivent représenter d'une part le sens du mouvement et d'autre part la force. Ainsi dans le thème 3, le professeur dit (36 : 31 et 37 : 36) « *Non le problème ce n'est pas de représenter la main [...] cette force [la force exercée par les mains sur le médecine-ball] quel est son sens rappelez-vous elle est vers le haut vous effacez et vous la représentez correctement* ».

Au stade actuel de notre analyse, il apparaît que les résultats aux échelles microscopique et mésoscopique s'articulent aisément et permettent de situer les éléments de savoir et leur environnement conceptuel. Une meilleure connaissance du rôle de la structure conceptuelle du savoir enseigné dans la construction de la compréhension conceptuelle nous permettrait d'enrichir les relations entre enseignement et apprentissage. Aller plus loin dans la conclusion risquerait de justifier hâtivement les hypothèses qui ont été à l'origine de la conception de la séquence et qui ont été effectivement mises en œuvre dans la classe séquences-sésames : sa structure conceptuelle et la différenciation explicite des concepts relatifs à la force et au mouvement en s'appuyant sur les représentations symboliques définies avec des règles précises.

Éléments de savoirs « standards »

Ce terme de savoir standard recouvre ici des éléments de savoir délimités au sens où ils sont assez facilement identifiables dans les productions verbales (orales ou écrites) et qu'ils correspondent à des connaissances spécifiques de la physique. Nous traitons ici du poids versus force exercée par la terre et de la notation des forces. Ces cas (auxquels on peut ajouter certains des résultats sur les représentations vectorielles) montrent qu'on peut arriver à 80 % ou plus d'élèves qui réussissent ces questions pour la classe 2, et que pour les autres classes ou groupes les réponses correctes sont à plus de 50 %. Dans ces

cas nous considérons que ces éléments de connaissances peuvent être acquis moyennant un enseignement adapté et que l'acquisition n'est pas trop sensible au type d'enseignement (interaction, organisation, etc.). Notre analyse en termes de continuité semble pouvoir interpréter ces résultats. Ainsi, les tableaux 5 et 6 montrent l'écart entre les deux classes concernant les représentations symboliques en général et celles relatives à la force en particulier. On a le même type de résultats pour l'expression force exercée par X sur Y. Pour le poids, comme nous n'avions pas anticipé ce résultat nous n'avons pas de facettes permettant de distinguer les deux classes, mais notre familiarité avec les enregistrements et les transcriptions ainsi que l'analyse *a priori* de la séquence nous conduisent à affirmer que le terme poids n'est pas mis en avant dans l'enseignement sésames contrairement à celui de la classe 2. Le choix de la séquence d'avoir une même formulation pour qualifier les forces (c'est-à-dire force exercée par le système X sur le système Y) quelles qu'elles soient vise à aider à construire le concept de force dans sa généralité. Les concepteurs de la séquence sésames et probablement les professeurs ont inconsciemment supposé évident le transfert entre force exercée par la Terre et le poids par les élèves du niveau de la classe de seconde ; c'est une mauvaise hypothèse. La conséquence de cette prise de conscience devrait permettre d'adapter l'enseignement afin d'aider les élèves à faire transfert.

Conclusion

Une des composantes de ce travail visant à caractériser des classes du point de vue du savoir enseigné pour interpréter l'acquisition des élèves après enseignement met en jeu plusieurs échelles de temps et de granularité du savoir. Le savoir enseigné, considéré comme une production conjointe du professeur et des élèves, n'est pas une donnée mais doit être reconstruit pour chaque classe. Cette étude a été réalisée pour une séquence d'enseignement correspondant à une partie du programme officiel de physique en classe de seconde de l'enseignement général relative à la mécanique. Notre choix de plusieurs échelles nous conduit à plusieurs types d'analyse.

L'analyse conceptuelle de l'ensemble d'une séquence d'enseignement se situe à une échelle macroscopique, la granularité du savoir est grande, de plus du point de vue temporel, seul l'aspect séquentiel est présent.

Au niveau mésoscopique, le choix fait est celui d'une reconstruction thématique du savoir enseigné à l'échelle de la dizaine de minutes. C'est au sein de chaque thème qu'est menée l'analyse des positions du professeur et des élèves par rapport au savoir et de l'environnement en jeu.

Au niveau microscopique, les éléments de savoir, que nous appelons facettes, sont de la taille d'une phrase. À partir d'un ensemble d'énoncés regroupés par catégories conceptuelles, procédurales, langagières, etc. les productions verbales de la classe sont décomposées en unités, les unités qui sont considérées comme ayant le même sens qu'une des facettes sont comptabilisées. Ainsi un traitement numérique de facettes introduites ou réutilisées au cours de l'enseignement peut être fait. Ce choix de décomposition élémentaire est associé à des hypothèses d'apprentissage. L'élève n'apprend pas d'un coup le principe d'inertie mais va intégrer des éléments de connaissance dans des ensembles déjà acquis. Certains éléments peuvent être intégrés dans des ensembles qui vont conduire l'élève à leur donner un sens bien différent de celui qu'il a dans le savoir enseigné et pourtant cette acquisition peut ultérieurement conduire à la compréhension d'un ensemble conceptuel. Cette position sur l'apprentissage conduit à considérer qu'un élément donné de connaissance ne s'apprend pas de la même façon qu'un autre ; « l'apprenabilité » d'un élément est une question que nous considérons comme essentielle pour comprendre les relations entre enseignement et apprentissage à condition de ne pas la limiter à des éléments isolés mais de se donner la possibilité de situer ces éléments dans des ensembles de connaissance.

Ceci nous conduit à un point essentiel de notre analyse : les liens entre les analyses aux différentes échelles. Notre choix de petits éléments de savoir au sein des thèmes, eux-mêmes situés dans une structure conceptuelle de la séquence, nous permet de garder un sens en situant ces éléments dans le contexte de leur production (verbale et gestuelle).

Ainsi nous avons pu distinguer les deux classes analysées en montrant par exemple que la différence dans leur structure conceptuelle se traduisait en des différences de nombre de facettes. De plus nous avons montré la pertinence de ce niveau microscopique d'éléments ou de groupes d'éléments de connaissance en introduisant les notions de continuité et de densité du savoir. La continuité traduit la reprise, dans le savoir enseigné, d'un élément déjà introduit.

Cette notion est liée à une hypothèse d'apprentissage : certains éléments de savoir vont être d'autant mieux appris par les élèves qu'ils sont repris dans le savoir enseigné. Cependant, compte tenu de la diversité possible de « l'apprenabilité » de ces éléments, la reprise d'un élément ne conduit pas nécessairement à son apprentissage.

Les questionnaires, passés avant et après enseignement de la séquence dans les classes, ont été construits à partir d'une analyse conceptuelle du programme officiel. Ils permettent d'évaluer l'acquisition de petits éléments de connaissance mais aussi d'un ensemble conceptuel. L'analyse des réponses en termes de petits éléments de connaissance nous permet de comparer les acquisitions des élèves avec le savoir enseigné dans les deux classes. Il ressort que des éléments de savoir dont certains interviennent dans le principe d'inertie sont appris. Nos résultats vont dans le sens de l'hypothèse que, pour certains petits éléments, il y a un lien entre une continuité forte dans le savoir enseigné et leur acquisition. Ainsi la reconnaissance de la force exercée par la Terre sur tous les objets à son voisinage, a été acquise par une majorité d'élèves de certaines classes. Nous avons considéré à partir de travaux antérieurs que ces éléments n'étaient pas particulièrement difficiles à acquérir dans la mesure où ils n'ont pas été pointés comme tels dans les travaux sur les conceptions. Les questionnaires confirment qu'ils sont « apprenables » dans la mesure où, quand ils sont enseignés avec une continuité forte au sein de thèmes où ils prennent sens, ils semblent acquis par une large majorité d'élèves. En revanche, l'acquisition conceptuelle nécessitant un changement de vision du monde matériel comme la mobilisation du principe d'inertie pour interpréter une situation de lancer vertical d'un ballon reste encore bien difficile pour une majorité d'élèves, même si elle semble acquise par une minorité non négligeable (20 à 30 %). Dans ce cas, la décomposition du savoir en éléments petits et l'étude de leur mise en jeu dans le savoir enseigné est bien insuffisante pour faire des hypothèses précises sur les liens entre l'enseignement et l'apprentissage. Même si, grâce à des travaux antérieurs, des hypothèses sur le cheminement des élèves peuvent être posées, une étude plus approfondie, à l'intérieur des thèmes, de la façon dont ces petits éléments sont mis en jeu, en lien avec une analyse à l'échelle macroscopique est à entreprendre et pourrait permettre de proposer de nouvelles hypothèses sur les liens entre enseignement et apprentissage.

NOTES

1. En France le réseau OPEN (Observation des pratiques enseignantes (Open) accorde une large place à l'observation de ces pratiques, dans une perspective pluridisciplinaire convoquant à la fois les sciences de l'Éducation, les didactiques des disciplines, la sociologie, la psychologie, les sciences du langage, l'ergonomie. L'enjeu de ces recherches est avant tout de poursuivre et d'approfondir les analyses des modalités de la pratique enseignante en classe pour en comprendre les relations avec les apprentissages des élèves. http://www.u-paris10.fr/11428558/0/fiche_pagelibre/
2. Dans ce contexte, didactique pourrait donc être substitué par « concernant l'enseignement-apprentissage dans son essence ».
3. Nous n'avons pas précisé dans cet article notre analyse épistémologique de la modélisation qui nous conduit à distinguer les éléments de savoir relatifs aux théories et modèles et ceux relatifs aux objets et événements et ceux établissant des relations entre ces deux ensembles (qui eux-mêmes peuvent être décomposés) (Tiberghien *et al.* sous presse).

RÉFÉRENCES

- Amade-Escot, C. (2006). Student learning within the didactique tradition. In D. Kirk, M. O'Sullivan & D. Macdonald (Eds.), *Handbook of Research in Physical Education* (pp. 347-365). London, Thousand Oaks, New Delhi : SAGE Publications Ltd.
- Astolfi, J.-P., & Perterfalvi, B. (1997). Stratégies de travail des obstacles : dispositifs et ressorts. *ASTER*, 25, 193-216.
- Bange, P. (1992). *Analyse conversationnelle et théorie de l'action*. Paris : Hatier et Didier.
- Bange, P. (2005). *L'apprentissage d'une langue étrangère. Cognition et interaction*. Paris : LHarmattan.
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble : La pensée sauvage.
- Chevallard, Y. (1991). *La transposition didactique* (2e ed.). Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Chevallard, Y. (1999). L'analyse des pratiques enseignantes en théorie anthropologique du didactique. *Recherches en didactique des mathématiques*, 19(2), 221-266.
- Cole, M., & Engeström, Y. (1993). A cultural-historical approach to distributed cognition. In G. Salomon (Ed.), *Distributed cognition. Psychological and educational considerations* (pp. 1-46). Cambridge : Cambridge University Press.
- Coulaud, M. (2005). *Evaluer la compréhension des concepts de mécanique chez des élèves de secondes : développement d'outils pour les enseignants*. Thèse de doctorat, Université Lyon 2, Lyon.
- Degas, R. (1954). *La mécanique au XVII^E siècle*. Neuchatel Suisse : Editions du Griffon.
- Dykstra, D. I. (1992). Studying conceptual change : Constructing new understandings. In R. Duit, F. Goldberg & H. Niedderer (Eds.), *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies. Proceedings of an international workshop* (pp. 40-58). Kiel : Institut für Die Pädagogik der Naturwissenschaften (IPN).
- Fillietaz, L. (2001). Les types de discours. *Círculo de lingüística aplicada a la comunicación* (clac), 8(1), <http://www.ucm.es/info/circulo/no8/fillietaz.htm>; www.ucm.es/info/circulo/index.htm
- 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.
- Givry, D. (2003). *Étude de l'évolution des idées des élèves de seconde durant une séquence d'enseignement sur les gaz*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- Guillaud, J.-C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*. Thèse, Université Joseph Fourier Grenoble 1, Grenoble.
- Hestenes, D., Wells, M., & Swackhamer, G. (1992). Force Concept Inventory. *The Physics Teacher*, 30, 141-158 <disponible en ligne à <http://modeling.la.asu.edu/R&E/FCI.pdf>
- Hidi, S. (2006). Interest : a unique motivational variable. *Educational Research Review*, 1(2), 69-82.

- Küçüközer, A. (2005). *L'étude de l'évolution de la compréhension conceptuelle des élèves avec un enseignement. Cas de la mécanique en 1re S*. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2, Lyon.
- McDermott, L. C. (1998). Students' conceptions and problem solving in mechanics. In A. Tiberghien, L. Jossem & J. Barojas (Eds.), *Connecting Research in Physics Education with Teacher Education*. <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/TOC.html> : The International Commission on Physics Education.
- McCloskey, M. (1983). L'intuition en physique. *Pour la science*, 68, 68-76.
- 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* (pp. 110-128). Kiel : IPN.
- Hiebert, J., Gallimore, J. H. R., Garnier, H., Bogard, K., Hollingsworth, G. H., Jacobs, J., et al. (2003). *Teaching Mathematics in Seven Countries. Results from the TIMSS 1999 Video Study* : National Center for Education Statistics (NCES) U.S. Department of Education.
- 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), 17-26.
- Mercier, A., Schubauer-Leoni, M. L., Donck, E., & Amigues, R. (2005). The Intention to Teach and School Learning : The Role of Time. In A.-N. Perret-Clermont (Ed.), *Thinking Time A Multidisciplinary Perspective on Time*. USA, Canada, Switzerland : Hogrefe & Huber.
- Niedderer, H., Budde, M., Givry, D., Psillos, D., Tiberghien, A., & Mälardalens H. (2005). Learning process studies. In R. Pintò & D. Couso (Eds.), *Proceedings of the fifth international ESERA conference on contributions of research to enhancing students' interest in learning science* (pp. 451-463). Barcelona, Spain.
- Ohlsson, S. (1996). Learning to do and learning to understand : A lesson and a challenge for cognitive modeling. In P. Reiman & H. Spada (Eds.), *Learning in Humans and Machine* (pp. 37 - 62). Oxford : Pergamon Elsevier Science.
- Oser, F., & Baeriswyl, F. (2002). Choreographies of teaching : bridging instruction to learning. In V. Richardson (Ed.), *Handbook of research on teaching* (Fourth ed.). Washington DC : American Educational research Association.
- Paquay, L. & Dayez, J.-B. (2006). *Présentation de l'article de Fritz Oser et Franz Baeriswyl*. Séminaire OPEN, novembre 2006, Paris.
- Petri, J., Niedderer, H. (1998 a). À learning pathway in high-school level quantum atomic physics. *International Journal of Science Education*, 20(9): 1075-1088
- Psillos, D. & Kariotoglou, P. (1999). Teaching fluids : intended knowledge and students' actual conceptual evolution. *International Journal of Science Education* 21 (1999), 1, 17-38
- Scott, P.H. (1992). Pathways in learning science : A case study of the development of one student's ideas relating to the structure of matter. In : Duit, R., Goldberg, F., Niedderer, H.(Eds.) : *Research in physics learning : Theoretical issues and empirical studies*. Kiel : IPN, 203-224
- Sensevy, G., Mercier, A., Schubauer-Leoni, M.-L., Ligozat, F., & Perrot, G. (2005). An attempt to model the teacher's action in mathematics. *Educational Studies in mathematics*, 59(1), 153-181.
- Sensevy, G & Mercier A. (2007). *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : Presses Universitaires de Rennes (PUR).
- Sensevy, G. (Coord.) (2007). *Un essai de caractérisation des pratiques d'enseignement et de détermination de leur efficacité. La Lecture et les Mathématiques au Cours Préparatoire*. Rapport de recherche.
- Sensevy, G. (2007). Des catégories pour décrire et comprendre l'action didactique. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves* (pp. 12-42). Rennes : Presses Universitaires de Rennes (PUR).
- SESAMES (2004), groupe de recherche-développement financé par l'INRP et intégré à l'UMR ICAR. Productions disponibles à www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/sesames/ ou à <http://pegase.inrp.fr>
- Stigler, J., W., & Hiebert, J. (1999). *The teaching gap*. New York : The free press.
- Tiberghien, A. (2007). *Construction of students' knowledge in relation with a teaching sequence : What hypotheses on learning and knowledge?* Communication at the International workshop : Guided Construction of Knowledge, February 5-8, 2007, The Maierdorf Faculty Club, Hebrew University, Jerusalem

- Tiberghien, A., Malkoun, L., Buty, C., Souassy, N., & Mortimer, E. (2007). Analyse des savoirs en jeu en classe de physique à différentes échelles de temps. In G. Sensevy & A. Mercier (Eds.), *Agir ensemble : L'action didactique conjointe du professeur et des élèves*. Rennes : PUR.
- Venturini, P. (2004). Attitudes des élèves envers les sciences : le point sur les recherches. *Revue Française de Pédagogie*, 149, 7-123
- Viau, R. (1994). *La motivation en contexte scolaire*. Bruxelles : de Boeck.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique. La part du sens commun*. De Boeck & Larcier.