

UNIVERSITÉ LUMIÈRE-LYON II
Thèse pour obtenir le grade de DOCTEUR DE L'UNIVERSITÉ LUMIÈRE LYON 2
en Sciences de l'Éducation
présentée et soutenue publiquement par
Hatice Asuman AKÇAOĞLU KÜÇÜKÖZER
le 24 octobre 2005

*L'étude de l'évolution de la compréhension
conceptuelle des élèves avec un
enseignement*

Préparée sous la direction de Andrée TIBERGHEN
Au sein de l'équipe ADIS-LST groupe COAST UMR 5191 ICAR (Université Lyon 2, CNRS, ENS
LSH, ENS Lyon, INRP)

Jury Samuel JOHSUA, Rapporteur Alain MERCIER, Rapporteur Andrée TIBERGHEN, Directrice

Table des matières

INTRODUCTION GENERALE . .	1
Partie A. Cadre Théorique .	3
Introduction .	3
Chapitre 1-Un Regard Général : Apprentissage . .	3
Les points essentiels retenus à partir des travaux de Piaget .	4
Les points essentiels retenus à partir des travaux de Vygotski . .	5
Les éléments essentiels retenus .	8
Représentations Sémiotiques .	8
Chapitre 2-Apprentissage en didactique de la physique . .	9
Les conceptions .	10
Changement Conceptuel . .	11
Les éléments essentiels retenus .	13
Les processus d'apprentissage en didactique de la physique . .	15
Activité de Modélisation . .	18
Les connaissances des élèves : Découpage, Granularité . .	21
La question de grain de connaissances .	26
Les éléments essentiels retenus .	28
Chapitre 3 Questions de recherche .	28
Partie B. Analyse des savoirs en jeu dans l'enseignement .	31
Introduction .	31
Chapitre 1 Savoirs en jeu dans un enseignement de mécanique . .	32
Quelques repères épistémologiques de la mécanique classique .	32
Mouvement .	33
Relativité du mouvement . .	34
Vitesse et Changement de la Vitesse .	35
Force .	36

Chapitre 2 Les connaissances des élèves en mécanique .	38
Les Conceptions en mécanique .	38
Les connaissances préalables conceptuelles .	41
Les connaissances préalables représentationnelles . .	43
Raisonnement .	44
Chapitre 3 Analyse de la séquence d'enseignement .	46
Présentation d'ensemble de la séquence .	46
Analyse par parties et activités .	49
Analyse liés aux représentations sémiotiques . .	54
Partie C. Méthodologie . .	57
Introduction .	57
Recueil des données . .	57
Traitement des données .	60
Construction de la liste des facettes .	63
Partie D. Analyse et Conclusion .	75
Introduction .	75
Chapitre 1 Analyse des activités 1 et 2 . .	75
Activité 1 : Lancer et réception d'un médecine-ball . .	76
Activité 2 : La variation vectorielle de la vitesse .	87
Chapitre 2 Analyse de l'activité 3 Modèle des lois de la mécanique appliqué à un jouet retenu par un fil . .	88
Enoncé .	88
Réponse attendue .	90
Réponses des élèves et analyse . .	91
Les Facettes en jeu au cours de l'activité 3 . .	106
Importance respective des conceptions et des connaissances enseignées .	111
Les évolutions repérées au cours de l'activité 3 . .	112
Chapitre 3 Analyse de l'activité 4 : Pousser sur un mur .	113
Enoncé .	113

Réponse attendue .	114
Réponses des élèves et analyse . .	114
Les Facettes en jeu au cours de activité 4 .	129
Importance respective des conceptions et des connaissances enseignées .	133
Les évolutions repérées au cours de l'activité 4 . .	134
Chapitre 4 Discussion et conclusion . .	135
Description des élèves pour différentes échelles de temps. .	136
Influence mutuelle des types de connaissances .	138
Les types d'évolution . .	138
Bibliographie . .	141
Annexes au format PDF . .	147

INTRODUCTION GENERALE

Ce travail de thèse porte sur l'étude de l'évolution de la compréhension conceptuelle des élèves dans le cas d'un enseignement de mécanique en 1^{ère} S.

Au début des années 1970, la plupart des recherches en didactique des sciences sont centrées sur les conceptions des élèves. Ces nombreux travaux sur les conceptions ont produit des résultats sur l'apprentissage des élèves dans des domaines très variés de la physique. A la suite de ces travaux, toujours dans une perspective constructiviste, le courant du « changement conceptuel » a émergé dans les années 80 en psychologie (Carey, 1985) et en didactique (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Particulièrement en didactique de la physique, de nombreux didacticiens se sont penchés sur les questions d'apprentissage et d'enseignement. On trouve essentiellement en France un certain nombre de travaux, qui, tout en utilisant les résultats sur les conceptions, se basent entre autres sur l'activité de modélisation pour développer des séquences d'enseignement (Martinand & al., 1992 ; Tiberghien, 1994 ; Méheut, 1996 ; Guillaud, 1998 ; Buty, 2000 ; Vince, 2000). D'autres travaux de recherche portent sur les processus d'apprentissage ; par exemple les travaux de Dykstra (1992), Niedderer (1992), Von Aufschnaiter (2003). Ces travaux peuvent enrichir une variété de recherches mettant en jeu les situations d'enseignement. C'est pourquoi l'étude des processus d'apprentissage des élèves au cours d'un enseignement nous paraît essentielle.

Ce travail de thèse s'inscrit dans un cadre socioconstructiviste. Il s'agit d'une étude de cas au sens où nous avons observé l'enseignement de la mécanique dans une classe de 1^{ère} S. Le professeur de cette classe faisait partie d'un groupe de recherche –

développement « groupe Outils » animé par l'équipe au sein de laquelle mon travail a été mené.

Cette étude se présente en quatre parties.

Dans la **partie A**, nous définissons le cadre théorique dans lequel nous nous plaçons. Cette partie comporte trois chapitres. Le premier chapitre présente une introduction générale à l'apprentissage ; les théories de l'apprentissage de Piaget et Vygotsky. Dans le chapitre suivant, nous présentons d'abord les travaux portant sur les conceptions, le changement conceptuel ; puis les travaux plus précisément en didactique de la physique portant sur les processus d'apprentissage et l'activité de modélisation, nous soulevons ensuite travaux en les questions de découpage des connaissances selon leur type et selon leur taille. Dans le dernier chapitre, nous explicitons les hypothèses et questions de recherche.

Dans la **partie B**, nous abordons l'analyse des savoirs en jeu dans l'enseignement et l'apprentissage des élèves. Cette partie B comporte aussi trois chapitres. Le premier chapitre présente une analyse épistémologique succincte de la mécanique et les concepts de base de la mécanique qui entrent en jeu dans la séquence. Au chapitre suivant, nous présentons une revue des travaux concernant les conceptions en mécanique et les connaissances que les élèves peuvent avoir acquises préalablement à l'enseignement. Au troisième chapitre nous analysons la séquence d'enseignement du groupe « Outils »; les textes du modèle, les contenus d'activités.

La **partie C** comporte un seul chapitre. Nous présentons la méthodologie de ce travail : le contexte de recueil de données, leur traitement, la construction de la liste des facettes et l'analyse.

Dans la **partie D**, nous présentons les analyses, cette partie comporte quatre chapitres. Le premier porte sur les analyses relatives aux quatre activités d'enseignement et les résultats. Enfin dans le chapitre discussion et conclusion, nous donnons un bilan global des résultats pour l'ensemble des données, en ce qui concerne les évolutions des élèves.

Partie A. Cadre Théorique

Introduction

Notre problématique porte sur l'étude de l'évolution de la compréhension conceptuelle des élèves avec un enseignement dans le cas de la mécanique en 1^{ère} S. Dans cette perspective, le cadre théorique que nous avons choisi s'appuie sur les théories de l'apprentissage de Piaget et Vygotski qu nous présentons dans un premier chapitre. Nous nous appuyons également sur les travaux plus récents menés en didactique des sciences qui sont présentés dans le chapitre suivant.

Chapitre 1-Un Regard Général : Apprentissage

Ce travail de thèse s'inscrit dans un cadre socio-constructiviste. Tout d'abord, nous présentons les points essentiels sur lesquels nous nous appuyons des travaux de Piaget et Vygotsky. À la suite de Vergnaud, nous n'opposons pas Piaget et Vygotsky, mais nous les prenons dans notre cadre théorique de façon complémentaires : « La plus grande différence au fond est que Piaget privilégie l'interaction de l'enfant avec le monde des

objets physiques et prend comme première référence l'action matérielle sur et avec les objets, tandis que Vygotski privilégie l'interaction de l'enfant avec autrui et prend comme référence le langage. Ce n'est pas une mince différence évidemment, mais en même temps on voit bien que les deux approches sont complémentaires, non pas contradictoires. » (Vergnaud, 2000, p.87-88).

Les points essentiels retenus à partir des travaux de Piaget

Le programme de l'épistémologie génétique défini par Piaget était de comprendre la formation des connaissances scientifiques à partir d'une étude de l'évolution de la pensée de l'enfant. Il est constructiviste en ce sens que l'enfant contribue activement à la construction de sa personne et de son univers.

Selon Piaget, la structure cognitive s'organise autour de l'acquisition et de la construction, par le sujet, d'invariants opératoires. Les invariants opératoires ne sont pas des entités isolées, ils sont mis en relations et l'ensemble constitue une structure cognitive caractéristique d'une étape développementale.

Les travaux de l'école piagétienne ont mis en évidence l'existence des stades principaux : le stade sensori-moteur, le stade pré-opératoire, le stade des opérations concrètes, le stade formel. Pour Piaget, le stade ultime du développement de la pensée, celui de la pensée formelle se traduit par un accès à la pensée hypothético-déductive et combinatoire.

Le second grand volet des travaux piagétiens concerne les rapports entre structures logico-mathématiques et connaissances nouvelles. Ces rapports mettent en jeu:

- l'assimilation, un groupe de connaissances peut être inséré dans le système cognitif si sa structure est compatible avec celle du système cognitif ;
- l'accommodation, dans le système connaissances qui est accepté par le système cognitif, s'introduisent des relations nouvelles qui généralisent ou élargissent les structures propres au système cognitif ;
- l'équilibration permet de régler les rapports entre la structure cognitive du sujet et les sollicitations extérieures.

Ainsi, pour Piaget "à chaque instant, pourrait-on dire ainsi, l'action [de l'individu] est déséquilibrée par les transformations qui surgissent dans le monde, extérieur ou intérieur, et chaque conduite nouvelle consiste non seulement à rétablir l'équilibre, mais encore à tendre vers un équilibre plus stable que celui de l'état antérieur à cette perturbation." (Piaget, 1970, p. 13). Pour dégager la forme générale des besoins et intérêts communs à tous les âges, Piaget considère que tout besoin tend (1) à "assimiler" le monde extérieur aux structures [formes d'organisation de l'activité mentale] déjà construites, et (2) à réajuster celles-ci en fonction des transformations subies, donc à les accommoder" aux objets externes (Piaget, 1970, p.14).

Comme le souligne Vergnaud (2000) Piaget s'est intéressé davantage aux structures pouvant caractériser un stade donné de développement qu'à l'évolution adaptative des

connaissances dans une situation, ou ensemble de situations, où elles sont fonctionnelles. Notre étude portant sur l'évolution en situation de classe, il est essentiel pour nous de faire appel à Vygotski pour prendre en compte le rôle des interactions sociales dans l'apprentissage.

Les points essentiels retenus à partir des travaux de Vygotski

Notre perspective étant celle de l'apprentissage des élèves lors d'un enseignement de physique, nous retenons les points suivants de la théorie socioculturelle de Vygotski : (1) la nature interactionnelle sociale de l'apprentissage; (2) le rôle d'outils psychologiques et techniques; (3) l'interaction entre concepts quotidiens et scientifiques ; (4) la zone proximale de développement. Nous sommes conscients cependant que, comme l'écrit Wertsch, « he [Vygotski] did little to clarify how specific, cultural and institutional contexts are related to the various forms of mediated action » (1991, p.46). D'autres travaux sont nécessaires pour étudier l'apprentissage en physique (Shepardson, 1999 ; Mortimer & Machado, 2000).

La nature de la formation des concepts comme interactions sociales

Pour Vygotski, la compréhension des phénomènes naturels ou scientifiques se construit dans l'interaction sociale avec la médiation du langage ; elle met un jeu un fonctionnement psychologique à la fois social et individuel.

Nous considérons que les concepts scientifiques n'existent pas dans la nature, mais dans l'activité psychologique sociale et individuelle. Donc, la connaissance scientifique et l'activité se situent sur deux plans : d'abord social, puis individuel. Pour justifier ce principe, Vygotski s'appuie sur son analyse des processus qui gouvernent la formation des fonctions psychiques supérieures. « Chaque fonction psychique supérieure apparaît deux fois au cours du développement de l'enfant : d'abord comme activité collective, sociale et donc comme fonction interpsychique, puis la deuxième fois comme activité individuelle, comme propriété intérieure de la pensée de l'enfant, comme fonction intrapsychique » (Schneuwly & Bronckart, 1985, p.111).

La formation des concepts au plan intrapsychologique, cependant, n'est pas une reproduction du plan social externe sur une structure psychologique interne, il y a restructuration (Vygotski, 1981).

Ainsi pour Vygotski la nature interactionnelle et sociale de la formation des concepts conduit à prendre en compte : (1) une réalité externe qui existe seulement dans le contexte interactionnel social ; (2) l'utilisation de signes externes, principalement mots, comme le mécanisme pour la formation au plan intrapsychologique. Pour apprendre des sciences, les enfants doivent s'engager dans une activité sociale, participer au discours scientifique (plan inter psychologique). Cela mène à la formation ou à la restructuration des connaissances (plan intra psychologique).

Les Instruments psychologiques et technologiques

La formation par l'enfant des concepts au plan intra psychologique est obtenue grâce à la médiation « d'outils » psychologiques et techniques (Vygotsky, 1986). Les outils psychologiques ne sont ni inventés, ni découverts par des individus indépendamment des interactions sociales; ils sont "appropriés". « Dans le comportement de l'homme, nous rencontrons toute une série d'adaptations artificielles qui visent à contrôler les processus psychiques. Par analogie à la technique, ces adaptations peuvent être définies, conventionnellement comme « instruments psychologiques » [...] Les instruments (outils) psychologiques [...] sont sociaux par nature et non pas organiques ou individuels ; ils sont destinés au contrôle des processus du comportement propre ou de celui des autres, tout comme la technique est destinée au contrôle des processus de la nature. Voici quelques exemples d'instruments psychologiques et de leurs systèmes complexes : le langage, les diverses formes de comptage et de calcul, les moyens mnémotechniques, les symboles algébriques, les œuvres d'art, l'écriture, les schémas, les diagrammes, les cartes, les plans, tous les signes possibles, etc. Intégré dans le processus comportemental, l'instrument psychologique modifie le déroulement et la structure des fonctions psychiques en déterminant, par ses propriétés, la structure du nouvel acte instrumental, tout comme l'instrument technique modifie le processus d'adaptation naturelle en déterminant les formes des opérations de travail. » (Schneuwly & Bronckart, 1985, p.3940).

Les outils techniques orientent les phénomènes du monde matériel , ils stimulent le changement des phénomènes et sont le moyen d'agir physiquement sur des phénomènes. Des outils techniques permettent aux individus d'accéder à des perspectives différentes des phénomènes en modifiant certaines des caractéristiques physiques ou en changeant l'apparition des phénomènes, de ce qui est observé. Les outils techniques permettent aux enfants d'apprendre la science en changeant, étendant, ou améliorant de leurs observations de phénomènes. Dans l'apprentissage des sciences, des outils techniques comme le microscope, le thermomètre etc. permettent aux enfants d'accéder à des phénomènes avec des perspectives différentes, cependant, c'est seulement par les outils psychologiques que les enfants peuvent voir différemment les phénomènes.

La Zone de développement proximal

La zone de développement proximal a été définie par Vygotski. Pour lui, « la possibilité plus ou moins grande qu'a l'enfant de passer de ce qu'il sait faire tout seul à ce qu'il sait faire en collaboration avec quelqu'un est précisément le symptôme le plus notable qui caractérise la dynamique de son développement et de la réussite de son activité intellectuelle. Elle coïncide entièrement avec sa zone prochaine de développement » (Vygotsky, 1997, p.353). La fonction de l'adulte dans ce cas consiste essentiellement à fournir les mots et les intermédiaires sémiotiques qui permettront, après intériorisation, de disposer d'un support de généralisation.

A ce sujet Vergnaud (2000, p.28) écrit « on croit trop facilement que c'est par une imitation mécanique que l'enfant bénéficie de l'aide et de la collaboration avec autrui. Si une telle thèse était vraie, l'enfant ou l'adulte d'ailleurs, pourrait imiter tout ce qu'on veut. Il n'en est rien évidemment, et nous ne pouvons imiter que ce qui se trouve dans la zone de nos propres possibilités intellectuelles ».

Vygotsky affirme que « la zone de développement proximal a une signification plus directe pour la dynamique de développement intellectuel et la réussite de l'apprentissage que le niveau présent de leur développement » (Vygotsky, 1997, p.352).

Langage intérieur - extériorisé

Pour Vygotsky (1997), « le langage intérieur est un langage pour soi, le langage extériorisé est un langage pour les autres. [...]. Le langage extériorisé est un processus de transformation de la pensée en paroles, sa matérialisation, son objectivation. Le langage intérieur est un processus en sens inverse, qui va de l'extérieur à l'intérieur, un processus de volatilisation du langage dans la pensée. » (1997, p.442-443). La note des traducteurs précise : « Par cette expression imagée de « volatilisation du langage dans la pensée », l'auteur entend, comme le montre le contexte, la modification qualitative du processus verbal dans l'acte de pensée et nullement une disparition du langage. (Note de l'édition soviétique, 1956, 1982 » (Vygotsky, 1997, p. 442-443)

L'interaction des concepts scientifiques et des concepts spontanés

Vygotsky met l'accent sur la spécificité des apprentissages scientifiques et propose la distinction entre concepts scientifiques et concepts quotidiens. La question du développement des concepts scientifiques chez l'enfant d'âge scolaire est avant tout une question pratique d'une importance immense, peut-être même primordiale pour les problèmes que pose à l'école l'enseignement d'un système de connaissances scientifiques.

Vygotski affirme que « les concepts scientifiques ne se développent pas du tout comme les concepts quotidiens (Vygotsky, 1997, p.281) ». Il précise alors que les concepts quotidiens se forment dans l'expérience, ont une portée immédiate et sont peu abstraits. En revanche, les concepts scientifiques sont transmis par le langage, ont une portée générale, et forment des systèmes. Leur faiblesse résulte de leur « verbalisme » et de « leur insuffisante saturation en concret ». Ainsi, les rapports des concepts quotidiens et des concepts scientifiques avec l'expérience et avec la formulation sont différents : « l'enfant formule mieux la loi d'Archimède qu'il ne définit ce que c'est qu'un frère. Le concept de frère est saturé d'expérience et ne résulte pas d'une explication du maître » (Vygotsky, 1997 p.292)

« Le développement des concepts scientifiques doit immanquablement prendre appui sur un certain niveau de maturation des concepts spontanés, qui ne peuvent être dépourvus d'intérêt pour la formation des concepts scientifiques pour le seule raison déjà que, comme l'expérience directe nous l'enseigne, le développement des concepts scientifiques ne devient possible que lorsque les concepts spontanés de l'enfant ont atteint un niveau déterminé, caractéristique du début de l'âge scolaire. D'autre part, nous devons supposer que l'apparition des concepts de type supérieur, tels que les concepts scientifiques, ne peut manquer d'influer sur le niveau des concepts spontanés déjà formés, puisque dans la conscience de l'enfant, les uns et les autres ne sont pas enfermés dans des capsules, ne sont pas séparés par une cloison étanche, ne suivent pas deux trajectoires distinctes, mais qu'ils se trouvent dans un processus d'interaction

constante, qui doit avoir pour conséquence que les généralisations de structure supérieure, propres aux concepts scientifiques, provoquent obligatoirement des modifications dans la structure des concepts spontanés.» (Vygotsky, 1997, p.289-290)

Les éléments essentiels retenus

A partir de ce rapide regard sur les travaux de Piaget et Vygotski, nous formulons ainsi nos hypothèses générales sur l'apprentissage :

- Au cours de l'apprentissage, l'élève est en interaction à la fois avec les objets/événements du monde matériel, avec les autres élèves et le professeur. Ces interactions mettent en jeu le langage et plus largement la médiation. Ces situations d'interaction jouent un rôle essentiel dans l'apprentissage. Ils permettent la formation des concepts au plan intra psychologique, même s'il ne s'agit pas d'une reproduction du plan social externe. Cependant, concernant la restructuration du plan intra psychologique, nous trouvons plus opérationnel le constructivisme de Piaget repris dans les travaux sur le changement conceptuel menés dans le cas de l'apprentissage scientifique. Nous présentons ce point au chapitre suivant.
- La réussite de l'apprentissage dépend non seulement du niveau présent de développement de l'élève, mais aussi de ses possibilités intellectuelles présentes à la zone de développement proximal.
- Même si les concepts scientifiques et les concepts quotidiens ne se développent pas de la même manière, les uns et les autres ne sont pas indépendants ; chez l'enfant ils sont en interaction.
- Dans le cadre de notre travail nous ne cherchons pas à étudier les instruments généraux de pensée comme les schèmes ou les invariants opératoires. Les connaissances des élèves nouvellement acquises sont seulement appropriées au domaine de contenu pour lesquels elles ont été élaborées mais elles ont des implications dans le raisonnement d'élèves. La question des articulations entre connaissances spécifiques et générales a été nourrie par les idées bien connues de Piaget du raisonnement général et sa théorie des stades dans le développement cognitif. Selon nous, il y a une évolution sur les deux aspects . Niedderer et Schecker (1992) montrent que les étudiants construisent vraiment des solutions face à un problème unique, mais ces constructions semblent être composées de connaissance spécifiques et génériques. De plus, les constructions ad hoc semblent être conduites par une structure théorique.

Représentations Sémiotiques

Pour Vygotsky, les systèmes symboliques sont des outils cognitifs, les structures sémiotiques complexes sont construites pendant l'histoire individuelle ou collective. En physique, il s'agit d'« un système sémiologique mixte, hétérogène ». Nous pouvons trouver les composantes proprement linguistiques, les symboles, susceptibles de se

substituer aux lexies, de devenir des parties du discours (nom, adjectif, verbe, expressions figées) et d'assumer des fonctions syntaxiques variées (sujet, complément, déterminant, prédicat), et les schémas (Gentilhomme, 1994). Dans une perspective similaire, Duval (1993) définit les représentations sémiotiques comme des productions constituées par l'emploi de signes appartenant à un système de représentation qui a ses contraintes propres de signifiante et de fonctionnement que nous appellerons registres.

Les activités cognitives fondamentales liées à l'appréhension ou la production d'une représentation sémiotique sont :

- la formation d'une représentation identifiable comme un registre donné,
- le traitement d'une représentation ; il s'agit de la transformation de cette représentation dans le registre même où elle a été formée,
- la conversion d'une représentation ; il s'agit de la transformation de cette représentation en une représentation d'un autre registre en conservant la totalité ou une partie seulement du contenu de la représentation initiale.

Il y a des règles propres de fonctionnement à chacune de ces trois activités (formation, traitement, conversion), règles qui dépendent des systèmes sémiotiques et qui sont indépendantes des contraintes qu'une situation particulière de communication peut surimposer à la production ou à la compréhension de représentations sémiotiques. Ces différentes activités sont regroupées ou confondues dans ce qu'on appelle généralement des tâches de production et des tâches de compréhension.

Les relations entre un système sémiologique mixte, hétérogène et la compréhension conceptuelle, sont très importantes : « l'activité conceptuelle ne peut (pas) être isolée de l'activité sémiotique parce que la compréhension conceptuelle apparaît liée à la découverte d'une invariance entre des représentations sémiotiquement hétérogènes » (Duval, 1993, p.61). Il faut également noter que la diversification des registres de représentation sémiotique est la constante du développement des connaissances tant sur point de vue individuel que scientifique ou culturel et que chaque représentation permet de mettre en oeuvre des aspects différents d'un même concept. Ainsi la compréhension d'un concept passe par la mise en relation des différents registres sémiotiques qui le représentent.

Si on prend le point de vue du progrès des connaissances, il apparaît qu'il s'accompagne toujours de la création et du développement de systèmes sémiotiques nouveaux et spécifiques qui coexistent plus ou moins avec la langue naturelle. Ainsi la formation de la pensée scientifique est inséparable du développement de symbolismes spécifiques pour représenter les objets et leurs relations (Gragner, 1979, p.21-47).

Chapitre 2-Apprentissage en didactique de la physique

Dans ce chapitre, nous présentons d'abord, les travaux sur les conceptions et le changement conceptuel et ensuite, les travaux en didactique de la physique concernant les processus d'apprentissage et l'activité de modélisation. Les travaux en didactique de la physique soulèvent deux questions le découpage des connaissances selon leur type et selon leur taille et la granularité des connaissances.

Les conceptions

Giordian et de Vecchi (1987) recensent plus de trente termes, dans la littérature de didacticiens francophones ou anglophones, pour désigner les « conceptions » des élèves. On trouve dans la littérature les expressions de préconception, mis-conception, « alternative framework », « children's science », raisonnement naturel, représentation, « commonsense », connaissances spontanés etc. Ces différentes terminologies ne sont pas gratuites, par exemple le terme de préconceptions met l'accent sur les croyances que les élèves ont avant de commencer l'enseignement scientifique, le terme de mis-conception réfère seulement aux aspects des croyances des élèves en contradiction avec les savoirs scientifiques. Pour Johsua et Dupin (1993), le terme de préconception, et encore plus celui de mis-conception, souffrent à la fois de ne trouver leur sens que dans une opposition stricte avec les savoirs scientifiques et surtout de ne pas tenir en compte d'une possible évolution interne des conceptions.

Nous utiliserons le terme plus neutre de « conceptions ». Nous acceptons la définition reprise par Tiberghien (1997), « une conception est une ensemble hypothétique de propositions, savoir faire, procédure, habilité manuelle que le chercheur attribue à l'élève dans le but de rendre compte des conduites de l'élève dans un ensemble de situations données ». Les conceptions ne sont pas une propriété des individus mais une construction du chercheur pour modéliser le fonctionnement de l'élève en vue d'interpréter les procédures observées dans les situations d'apprentissage.

Nous reprenons des caractéristiques essentielles des conceptions.

Les conceptions ne sont pas des objets figés et fermés sur eux-mêmes il faut tenir en compte d'une possible évolution interne des conceptions (Giordian et de Vecchi, 1987). Cependant, certaines conceptions d'élèves peuvent être particulièrement résistantes à l'enseignement y compris dans la durée.

Une conception a sa pertinence propre, son domaine particulier d'application, elle a un caractère local. Pour des situations jugées différentes du point de vue de l'élève (peu importe ici qu'elles le soient du point de vue scientifique), des conceptions différentes seront mobilisées, qui peuvent avoir chacune leur degré partiel de pertinence. (Johsua et Dupin, 1993, p.127, Balacheff, 1999, p.224).

Pour un élève donné, nous pouvons voir des conceptions différentes contradictoires ou pas, Tytler (1988) parle de « perspectives multiples », Petri et Niedderer (1998) parlent de co-existence de plusieurs conceptions avec une couche métacognitive au dessus, Taber (2000) parle de multiples conceptions en compétition.

Les conceptions peuvent être contradictoires mais elle sont également opératoires parce qu'elles apparaissent à des moments distincts de l'histoire du sujet : elles peuvent

s'ignorer mutuellement. Elles peuvent être contradictoires du point de vue d'un observateur et cependant être cohérentes dans le référentiel de l'élève (Balacheff, 1999 p. 218, 224).

Certaines conceptions peuvent avoir une forte logique, et même gagner en logique interne quand elles sont confrontées à des arguments apparemment contraires, sans pour autant se rapprocher d'un modèle cible dans un enseignement (Johsua et Dupin 1993, p.126). Champagne et al. (1980) en donnent un exemple : les élèves sont confrontés à une expérience de chute de deux corps de masses différentes. Certains des élèves paraissent utiliser une relation dynamique du type force proportionnelle à la vitesse. Mais par ailleurs ils savent que les deux corps vont arriver en même temps au sol. Les deux assertions, contradictoires dans un modèle newtonien, ne le sont pas aux yeux de ces élèves : ils en déduisent « logiquement » que la force exercée par la gravité sur les objets est constante quelle que soit leur masse.

Changement Conceptuel

Comme le disent Buty et Cornuejols (2002, p.14), dans la perspective constructiviste, le courant du « changement conceptuel » a débuté dans les années 80 en psychologie (Carey, 1985) et en didactique (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982). Suite à ces premiers travaux, le terme de changement conceptuel prendra des sens divers dans les recherches (Duit, 1999). Nous présentons les principaux travaux de ce courant qui sont les plus pertinents pour mener à bien notre étude, tout en nous situant par rapport à eux.

Nous présentons succinctement la position de quelques psychologues ou didacticiens sur le changement conceptuel

Vosniadou

Pour Vosniadou (1994, p.46), les concepts sont insérés dans des structures théoriques plus larges qui contraignent les concepts et les apprentissages. Elle distingue un cadre théorique « naif » général qui est constitué de certaines présuppositions fondamentales ontologiques et épistémologiques, et des théories spécifiques qui sont constituées de propositions reliées entre elles ou croyances qui décrivent les propriétés et le comportement des objets physiques. Vosniadou (1994, p.47) utilise le mot théorie pour qualifier une structure relationnelle et explicative et non une théorie scientifique explicite et bien formée.

Vosniadou (1994, p.48) définit un modèle mental comme une représentation mentale dynamique et générative, qui permet de fournir des explications causales ou des prédictions sur le monde physique. La plupart de ces représentations sont créées sur le champ pour satisfaire à la demande de situations de résolution de problèmes, cependant certains modèles mentaux, en totalité ou en partie, peuvent être stocker comme des structures séparées et retrouvées dans la mémoire à long terme. C'est par l'intermédiaire du modèle mental que les nouvelles informations sont incorporées à la base de connaissances de l'apprenant.

Vosniadou considère que « conceptual change proceeds through the gradual

modification of one's mental models of physical world, achieved either through enrichment or through revision » (1994, p.46) . Elle distingue deux types de changement conceptuel, l'enrichissement et la révision. L'enrichissement est défini comme l'addition de nouvelles informations dans la structure conceptuelle existante. Ces informations sont cohérentes avec les connaissances préalables. Ce type de changement est vu comme plus simple que la révision. Quant à la révision, elle peut avoir lieu au niveau du «cadre théorique naïf » ou de celui d'une « théorie spécifique ». Il s'agit de nouvelles informations qui ne sont pas en accord « avec les croyances, les présuppositions ou la structure relationnelle d'une théorie » (1994, p.49). Selon elle, la révision de cadre théorique naïf est plus difficile que la révision d'une théorie spécifique, parce que les présuppositions du cadre théorique naïf représentent des systèmes d'explications relativement cohérents basées sur l'expérience quotidienne et confirmées depuis des années.

Devant une information qui ne rentre pas dans un cadre préexistant, un apprenant réagira en créant des modèles mentaux hybrides (Vosniadou les qualifie de synthétiques), qui rendent la nouvelle connaissance acceptable pour le cadre théorique général.

Chi

Pour Chi et al. (1994) toute entité du monde appartient à une catégorie ontologique particulière. Ces auteurs proposent trois grandes catégories ontologiques (ou bien trois arbres de catégories) : la matière (ou objets), les processus et les états mentaux. Au deuxième ordre, chaque catégorie est divisée en sous catégories, la matière est divisée en chose naturelle et chose artificielle ; la catégorie « processus » est divisée en procédure, événement et contrainte à partir d'interactions (*constraint based interaction*); la catégorie « états mentaux » est divisée en émotionnelle et intentionnelle. Au troisième ordre, on trouve des sous catégories pour les catégories de chose naturelle, événement et *constraint based interaction*. Selon eux, il peut exister plus d'arbres de catégories. Les catégories qui se trouvent dans un arbre sont ontologiquement différentes. Ces auteurs précisent ce qu'est le terme attribut ontologique en le différenciant des autres attributs: « *An ontological attribute, as distinct from either defining attributes or characteristic features, is a property that an entity may potentially possess as a consequence of belonging to that ontological category; whereas defining attributes are those an entity must have, and a characteristic feature is one defining attributes are those an entity must have, and a characteristic feature is one that an entity most frequently has (p.29)*». À chaque catégorie correspond une liste d'attributs que les concepts doivent posséder pour entrer dans la catégorie et la signification d'un concept est déterminée par la catégorie à laquelle il est attribué.

Pour Chi et al. (1994), le changement conceptuel a lieu lorsqu'il y a changement d'une catégorie à une autre. Il peut y avoir deux types de changement, le premier est le changement d'une catégorie à une autre au dedans d'un même arbre, le deuxième est le changement entre les arbres de catégories. Ils considèrent que le premier changement est plus facile que le deuxième (p.31). Selon eux, la plupart des concepts scientifiques appartiennent à la catégorie de « *constraint based interaction* » qui est une sous catégorie de processus. En général pour les élèves, les concepts comme la force, le courant électrique, la lumière, font partie de la catégorie de matière, il s'agit d'un changement

entre les arbres de catégories.

diSessa

Pour diSessa (1983, 1988, 1998), la physique intuitive consiste à utiliser un grand nombre de petits fragments de connaissances plutôt qu'un petit nombre de structures théoriques, il appelle ces petits fragments de connaissances comme « p-prims » (phenomenologic primitives). Les p-prims sont des abstractions minimales des expériences quotidiennes. Elles ont une caractère primitif parce que « *there are also two senses of primitiveness involved : P-prims are often self-explanatory and are used as if they needed no justification. But also, primitive is meant to imply that these objets are primitive elements, evoked as a whole, and perhaps as atomic and isolated a mental structure as one is likely to find* » (1987, p.7).

Dans certains cas particulièrement importants, les p-prims correspondent à des comportements, ou entraînent nécessairement un comportement, ce qui leur permet de jouer des rôles importants dans l'explication de phénomènes physiques. Dans ces cas, les p-prims deviennent l'équivalent intuitif de lois physiques; ils peuvent expliquer plusieurs phénomènes. Pour diSessa, les p-prims ne sont pas vraiment structurées et elles n'ont pas de cohérence générale entre elles.

Posner et al.

Posner et al. (1982) proposent deux types de changement conceptuel : assimilation et accomodation. Pour qu'un changement conceptuel du deuxième type se produise, ils décrivent quatre conditions : les conceptions dont disposent les sujets doivent se révéler insatisfaisantes dans une certaine mesure ; les conceptions qu'on veut faire acquérir doivent être intelligibles par les sujets, en même temps que cohérentes avec les autres domaines de connaissance ; elles doivent de plus sembler plausibles ; elles doivent enfin être plus productives que les anciennes, en terme d'élégance, d'économie, d'utilité.

Strike et Posner (1992) ont proposé que les conceptions peuvent ne pas préexister mais " *may be generated on the spot as a consequence of instruction*" (p. 158). Ils désignent l'écologie conceptuelle, y compris des conceptions scientifiques et des idées fausses, comme dynamique et dans l'interaction constante et le développement" (p. 160). Une nouvelle révision dans leur publication de 1992 a inclus leur reconnaissance du rôle actif joué par des facteurs sociaux et motivationnels. Ils sont aussi évolué sur le non remplacement d'une conception par une autre, il peut y avoir une certaine co-existence.

Les éléments essentiels retenus

La question de changement conceptuel comme révolutionnaire ou évolutionnaire est un débat important. Au cours de l'évolution de la compréhension conceptuelle, on peut voir la simple addition d'un nouvel élément de connaissance ou la restructuration locale ou générale d'un ensemble de connaissances.

Le thème le plus saisissant qui passe à travers les descriptions diverses de changement conceptuel est qu'il y a "de grands" changements et "de petits"

changements. Tyson et al. (1996) comparent plusieurs sortes de changements conceptuels décrits par divers théoriciens et discutent des ressemblances et des différences

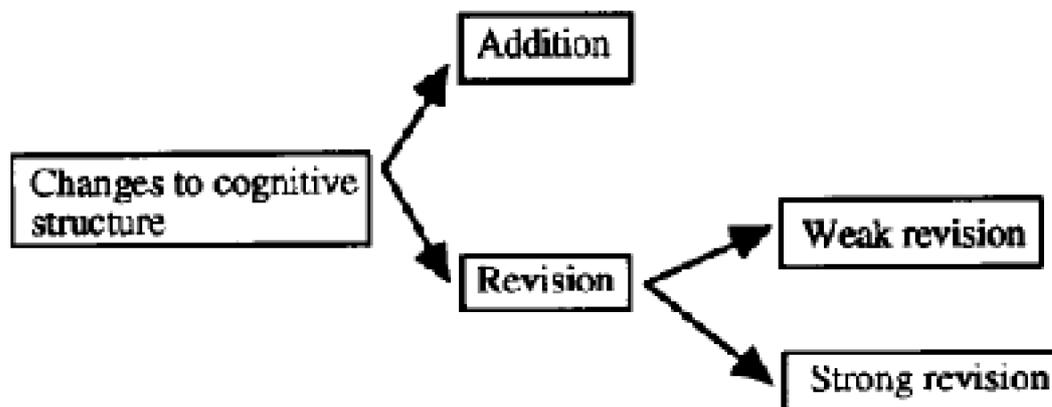


Figure 1 Un modèle générique de la dichotomie des types de changement conceptuel (Tyson et al. 1996, p. 389)

Le changement le plus facile est défini comme l'addition des nouvelles connaissances dans la structure conceptuelle existante. L'autre type de changement est la révision, il se produit quand il y a désaccord entre les nouvelles informations et les connaissances préalables.

Même si Posner et al. (1982) ont présenté la théorie originale de changement conceptuel à partir d'une analogie avec le travail de Kuhn sur les révolutions scientifiques, ils sont prudents, ils voient le changement conceptuel comme "radical, mais non brusque" (p.223). Vosniadou (1994) ne voit pas le changement conceptuel comme un changement soudain d'une théorie à un autre, mais un processus continu qui arrive sous différentes contraintes. Duit (1999) décrit le changement conceptuel aussi bien comme révolution que évolution. Il suggère aussi que la rapidité et l'intensité de changement conceptuel dépend d'autres facteurs comme les stratégies d'enseignement utilisées et la nature du contenu.

Concernant la cohérence de l'élève, il y a un débat sur ce sujet. Nous pensons que les modèles mentaux de Vosniadou ou les p-primis de diSessa peuvent être pertinents au cours de l'évolution de la compréhension conceptuelle. Aussi, la cohérence de l'élève peut être par rapport à l'utilisation de différents types de raisonnements, des connaissances ou des différents sources d'information. A l'heure actuelle, il n'existe pas à notre connaissance de travaux sur le sujet permettant de trancher. Dans le cadre de notre étude nous considérons que l'élève est cohérent de son point de vue même s'il ne l'est pas pour l'observateur.

Notre position est de ne pas exclure un type ou un autre de changement conceptuel et de considérer que l'évolution de la compréhension conceptuelle est influencée par la nature du contenu, par la métacognition et par les facteurs sociaux et les facteurs motivationnels. Nous reconnaissons l'importance de la métacognition, de la motivation mais, dans le cadre de notre étude, nous ne traitons pas les facteurs qui y sont liés.

Les processus d'apprentissage en didactique de la physique

De nombreux didacticiens se sont penchés sur les questions d'apprentissage. Ainsi Niedderer, Goldberg et Duit, (1992, p.16) analysent ces travaux ainsi : « *Whereas studies on understanding can be seen as snapshots of students' development at one point, learning studies try to provide a stroboscopic picture of the learning process, or even a continuous one. These studies describe processes of learning in physics in great detail [...]. Learning studies can also have a slightly different design. Instead of providing time-dependent snapshots of the learning process, learning studies can also provide detailed descriptions of how selected concepts or notions change (see the second four studies in this part). There is, however, no sharp distinction between those types of learning studies; most studies include both aspects in their detailed descriptions of cognitive change* ».

Il y a de nombreux types des travaux de recherche qui pourraient profiter du contrôle systématique du processus d'apprentissage. Nous présentons ci-dessous trois types d'étude. celle de Dykstra qui fournit l'information utile dans l'identification des états intermédiaires d'apprentissage. Et celles menées par l'équipe de Niedderer et l'équipe de Von Aufschnaiter. Dans ces deux études, l'apprentissage est considéré comme un développement cognitif. Pour la description des processus d'apprentissage, les auteurs utilisent des éléments théoriques différents. Les travaux de Niedderer se basent sur les modèles de la mémoire pour décrire les éléments stables et les éléments en cours de construction. Les travaux de von Aufschnaiter prennent en compte la neurobiologie pour décrire la connaissance en termes de complexité des liaisons.

Dykstra

Dykstra (1992 a,b) proposent trois types de changement conceptuel : différenciation, extension d'une classe, re-conceptualisation. Il parle des changements qui réfèrent aux connaissances des étudiants sur comment le monde fonctionne ou sur comment il est constitué. De plus il considère que les connaissances peuvent être opératoires dans des situations différentes. Il donne l'exemple sur la force concernant le changement conceptuel (1992b, p.14, figure 2).

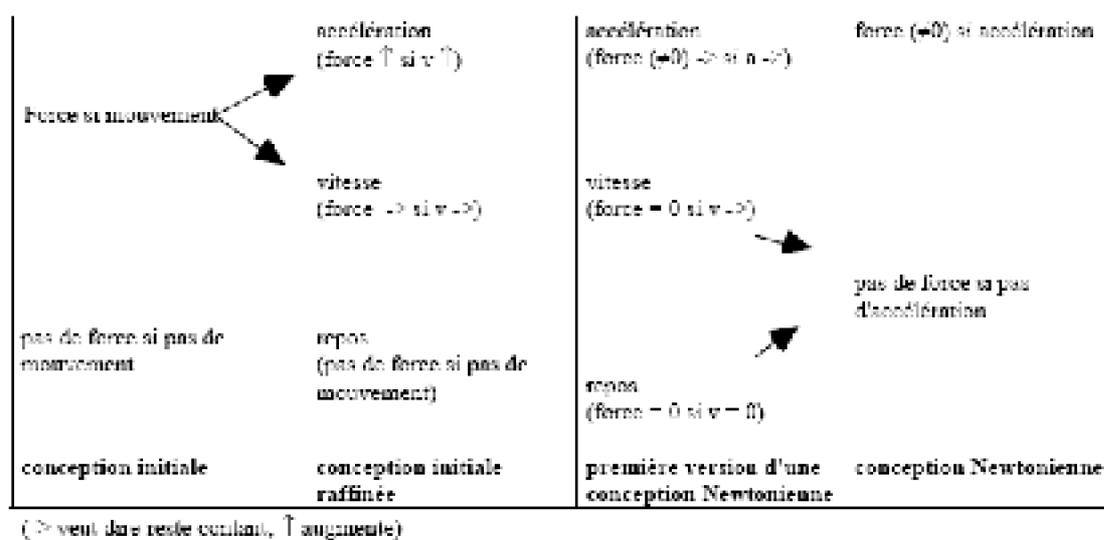


Figure 2 (reprise de Dykstra (1992b) Une série de changements conceptuels.

Dykstra précise (traduction libre) : "Les étudiants démarrent en physique avec la conception: "un mouvement implique une force" (colonne de gauche). Après une série d'activités, les élèves commencent à comprendre les relations entre différentes quantités utilisées pour décrire le mouvement de chaque objet à partir de graphes (distance/ temps, vitesse / temps et accélération/temps). Ils commencent à discriminer différents mouvements du fait, partiellement, de leur compréhension des significations des termes utilisés pour décrire le mouvement tels que dans leurs compte rendus de la chute des objets (chute libre), ils réfèrent à "aller plus vite" ou "accélération" au lieu de juste "tomber". Ceci prend en compte la distinction entre la première et la deuxième colonne de la figure 2.

Cette différenciation du mouvement ne change pas, par elle-même, les conceptions des élèves sur les causes du mouvement, mais elle génère une division [ou encore une différenciation] conceptuelle du mouvement. En ce qui concerne la causalité, ce changement fournit une base pour élaborer ou enrichir leur conception du moment. Par exemple, les élèves diront que pour maintenir une vitesse constante, un surplus constant de force est nécessaire, et si il y a un changement de vitesse, alors le surplus de force est aussi modifié. Ils n'ont pas encore la conception Newtonienne : une accélération constante implique un surplus constant de force [somme des forces non nulles]. Cette situation est décrite dans la seconde colonne de gauche de la figure ci dessus (conception initiale raffinée).

Dans le cas de différenciation, les nouveaux concepts apparaissent à partir de concepts plus généraux existants ; ainsi vitesse et accélération se distinguent des idées plus générales de mouvement en cinématique. Quant à l'extension d'une classe, il s'agit de concepts existants, qui prennent un sens différent, ils recouvrent une notion plus large. Par exemple, l'immobilité et la vitesse constante deviennent équivalente comme dans le point de vue newtonien. Dans le cas de re-conceptualisation, il s'agit d'un changement significatif de la nature et des relations entre les concepts, le changement de "la force implique le mouvement" vers "la force implique l'accélération".

Niedderer

Niedderer et ses collègues (Niedderer et Schecker, 1992), définissent un modèle de système cognitif décrivant les éléments dans ce système, ils distinguent les constructions en cours (*current constructions*) et les éléments cognitifs stables (*stable cognitive elements*). Le développement des connaissances est vu comme une modification des éléments cognitifs stables, grâce à l'aide d'outils cognitifs. Une représentation de ce modèle est donnée sur la figure 3. La distinction entre ces deux éléments est faite par rapport à la stabilité dans le temps de leur structure. Pour les *constructions en cours* la durée est de l'ordre de 10 secondes, les *éléments cognitifs* sont considérés comme stables des heures des mois ou des années.

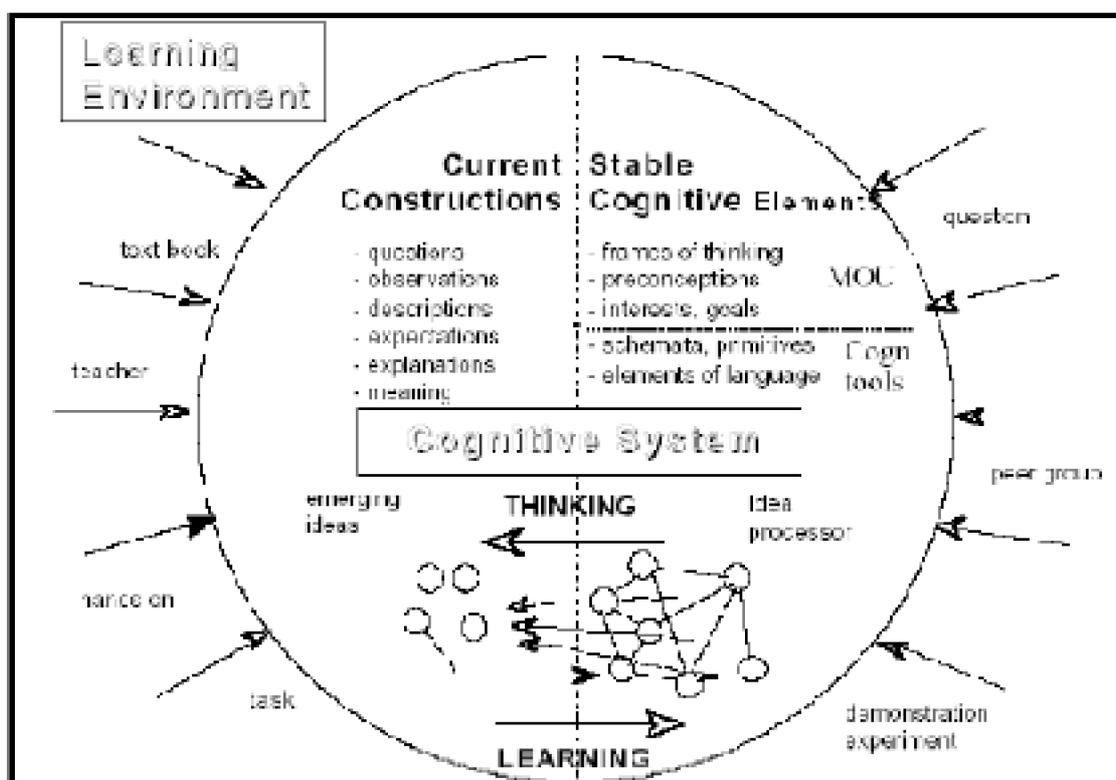


Figure 3 Modèle d'un système cognitif (Niedderer & Schecker 1992, p. 82 Niedderer 2001)

La distinction entre les *constructions en cours* et les *éléments cognitifs stables* est d'importance pour l'analyse interprétative des données empiriques. Sous l'influence d'une situation et à partir d'éléments cognitifs stables, l'individu développe des « *current constructions* » qui peuvent être plus et plus réussies et mener à de nouveaux éléments cognitifs stables. La stabilité d'une conception (intermédiaire) est empiriquement examinée à partir de la question de leur utilisation à plusieurs reprises pendant une certaine période dans les contextes semblables. Un apprentissage est défini comme étant une modification des éléments cognitifs stables.

Von Aufschnaiter

La connaissance est décrite par le contenu spécifique et le niveau de complexité réalisée par l'étudiant. Le développement de connaissances est vu comme la modification de la complexité du contenu lié aux conceptions. Von Aufschnaiter (2003) envisage l'apprentissage par rapport à trois dimensions: le contenu, la complexité, et le temps (voir figure 4).

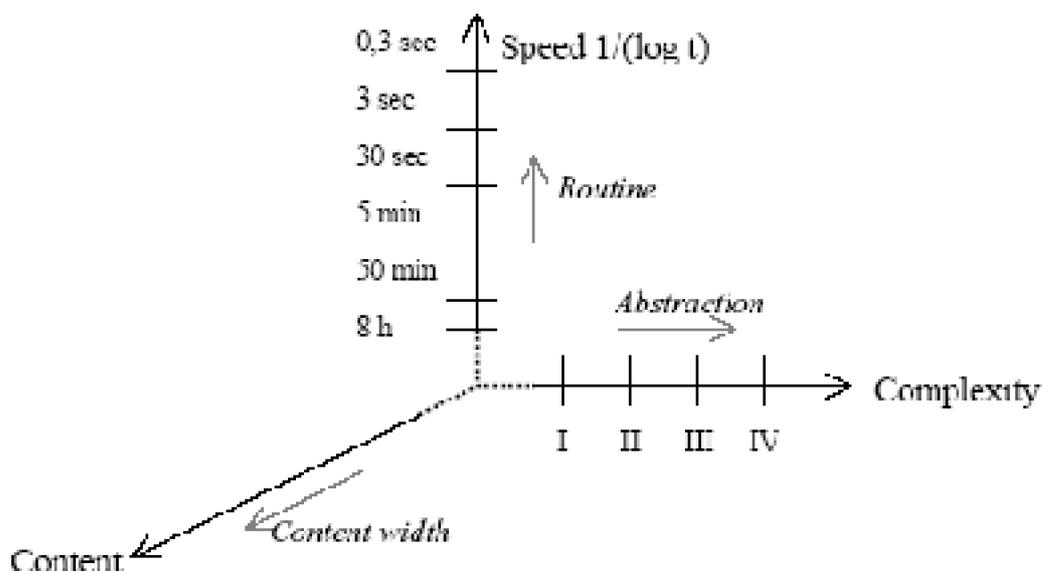


Figure 4 Espace tridimensionnel de développement de processus cognitif (von Aufschnaiter & von Aufschnaiter, 2003, p. 619)

La modification de la complexité de contenu fait l'objet d'une classification hiérarchique par «complexité» croissante incluant 10 niveaux : « individuals who construct meaning on the levels of the levels of Objects, Aspects, and Operations (...) deal (mentally) with concrete objects or situations and their interdependence (this level is in accordance with Piaget's concrete level). On the levels of Properties and Events (...), students construct meaning with respect to one invariant property of several objects and situations as well as with respect to the interdependence between two or more invariant properties. Within Programmes and Principles (...), meaning with respect to single variable properties and co-variation between two variables is constructed. The higher levels (...) describe co-variations of more than two principles which were rarely found among students' constructions, even for university students “ (p. 621).

Activité de Modélisation

Modélisation et enseignement de la physique

Depuis la naissance de la physique, les physiciens s'efforcent de comprendre le monde qui nous entoure et de fournir les outils qui représentent les objets et les événements du monde pour pouvoir les interpréter, les expliquer, les prédire. Ce sont les théories et les modèles. Quand les physiciens interprètent et prédisent les faits expérimentaux, ils

n'appliquent pas directement la théorie à la situation, mais à partir de la théorie choisie, ils construisent un modèle de la situation expérimentale. Les démarches de construction et d'utilisation de modèles ont une place importante dans l'activité du physicien. Nous considérons qu'il faut faire acquérir aux élèves les démarches intellectuelles mises en jeu dans la modélisation (Tiberghien, 1994).

La notion du modèle n'a pas d'une définition unique, cette définition varie suivant la discipline scientifique et le terme de modèle est utilisé par de nombreux auteurs avec des contenus forts divers comme le signalent Johsua et Dupin (1993, p.15). Nous choisissons de donner les caractéristiques du modèle en utilisant les travaux de différents auteurs (Johsua et Dupin, 1993; Tiberghien, 1994). Un modèle est :

- une construction et un instrument théorique,
- un cadre conceptuel explicite,
- un intermédiaire entre la théorie et le champ expérimental,
- pertinent à son objet ; un modèle donné ne peut expliquer que certains phénomènes et pas d'autres et que certains aspects d'un phénomène,
- constitué des concepts et des relations (qualitative et/ou quantitative ; logique et/ou expérimentales) qui le structurent et des méthodologies qui y correspondent,
- constitué de systèmes de signes consistant en des figures, des graphiques, des symboles mathématiques ou plus simplement des propositions formées avec des mots,
- construit en vue d'interpréter, de prévoir, d'expliquer un ensemble bien défini et bien délimité de phénomènes,
- et un modèle repose sur une cohérence interne et externe.

Tiberghien (1994, 1997) intitule son analyse du rôle de la modélisation « la modélisation comme base de l'analyse des situations d'enseignement-apprentissage », en mettant l'accent sur le point de vue de l'élève qui apprend lors une séquence d'enseignement et sur les événements liés aux apprentissages. On peut noter que dans son travail (1997), Tiberghien distingue les différences et les relations entre l'apprentissage et l'enseignement. Concernant la différence, l'enseignement est lié à la savoir à enseigner et la mise en scène de ce savoir qui est sous la responsabilité de la noosphère et des enseignants. Quant à l'apprentissage, il est sous la responsabilité de l'apprenant.

Activité de modélisation et apprentissage

En didactique de la physique, d'importants résultats de recherche sur l'apprentissage mettent en lumière que certaines interprétations incorrectes d'un point de vue physique semblent assez peu modifiées par l'enseignement. On constate en effet que, même après un enseignement à un niveau avancé, si les élèves sont généralement capables de résoudre des problèmes formulés dans le langage des modèles de la physique, dès que les questions mettent en jeu des situations matérielles qui faut interpréter dans les termes d'un modèle physique, l'échec peut être à grande échelle.

Les deux catégories principales proposés par Tiberghien (1994) permettent de prendre en compte un aspect essentiel de l'apprentissage des sciences, une des hypothèses est que l'activité de modélisation pratiquée par l'élève tend à favoriser l'apprentissage de la physique (figure 5).

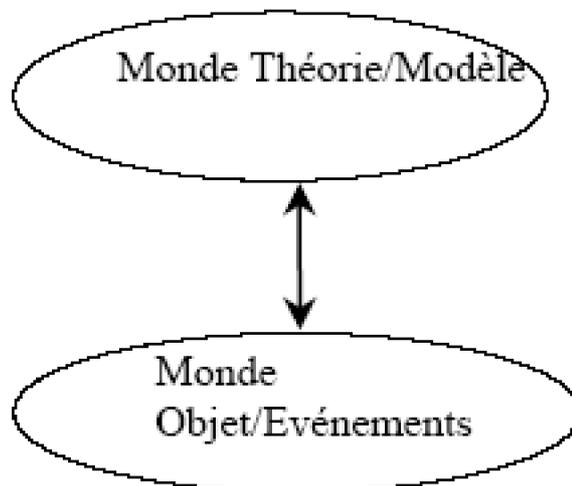


Figure 5 Les relations entre les deux mondes

Le monde d'objets et des événements se réfère aux aspects observables du monde matériel, tandis que le monde des théories et des modèles se réfère aux aspects théoriques et les éléments du modèle construit des situations matérielles, en termes de principes divers, des paramètres ou des quantités.

Ainsi, dans ce cadre, l'activité de modélisation met en jeu des relations entre les deux mondes et à l'intérieur de chacun de ces mondes. Généralement, les élèves ont des difficultés à établir les relations entre deux mondes.

Les éléments essentiels retenus

Notre problématique est proche des travaux présentés ci-dessus en didactique des sciences. Ces travaux soulèvent deux questions essentielles pour décrire et interpréter le cheminement d'un élève tout au long d'un enseignement : le « découpage » des connaissances à la fois selon les types et selon leur taille. En ce qui concerne le type de connaissances, Vygotski distingue les connaissances quotidiennes et scientifiques, cette distinction est reprise par certains travaux sur les conceptions. Elle est également prise par Vosniadou quand elle propose un cadre théorique général « naïf ». En suivant Rogalski et Veillard (2000), nous considérons que cette distinction entre quotidien (ou naïf) et scientifique est justifiée à la fois « d'un point de vue social renvoyant à des institutions, des groupes ou encore des réseaux sociaux où le savoir vit et se transforme » et « d'un point de vue épistémologique se justifiant par une distinction basée sur les différences entre les disciplines du point de vue des objets étudiés ainsi que des concepts et des méthodes d'expérimentation utilisés dans chacune d'elles ». La question de la taille des éléments issus du découpage des connaissances est sensible car selon la taille

choisie pour chaque élément, la caractérisation de l'évolution peut être différente. Associée à des durées sur lesquelles l'observation est étudiée, une même évolution peut être considérée comme de l'assimilation (taille petite et petite échelle de temps) ou comme une restructuration taille plus grande et plus grande échelle de temps). Dans les paragraphes suivants, nous présentons notre positionnement sur le type et le grain des connaissances en jeu dans l'enseignement et l'apprentissage de la physique.

Les connaissances des élèves : Découpage, Granularité

Comme nous l'avons présenté ci-dessus, on trouve dans la littérature de nombreux travaux distinguant connaissances quotidiennes et connaissances scientifiques. Dans la littérature, une grande variété de catégorisations sont proposées : les connaissances déclaratives/procédurales, les connaissances locales, les connaissances contextualisées, les connaissances générales, les connaissances scientifiques, les connaissances quotidiennes, les connaissances en acte, les méta-connaissances etc.

Nos catégorisations sont liées à nos hypothèses d'apprentissage : nous considérons que, pour construire un sens aux connaissances de la physique, il est essentiel de relier théorie/modèle et champ expérimental et de maîtriser les différentes représentations d'un même concept. Nous considérons aussi que la verbalisation joue un rôle essentiel dans l'apprentissage ce qui nous conduit à spécifier les connaissances langagières.

Compte tenu de notre problématique nous prenons également en compte quelques types de raisonnement chez les élèves ce qui nous permet de mieux expliciter leurs théories, ainsi que le rôle du contrat didactique dans la façon dont ils mettent en œuvre leurs connaissances.

Nous présentons ci-dessous les types de connaissance sur lesquels nous fondons notre analyse.

Connaissances théoriques et sur le monde matériel

A partir de la modélisation nous distinguons les connaissances théoriques mises en jeu dans la construction des modèles des connaissances mettant directement en jeu le monde matériel.

Connaissances conceptuelles

Parmi les connaissances conceptuelles, nous mettons tout ce qui est d'ordre théorique de la physique. Nous mettons également ce qui est de l'ordre de la « théorie naïve » (Vosniadou 1994, Tiberghien et Vince, 2005).

Connaissances sur le monde matériel

En sciences, on étudie généralement un phénomène dans le cadre d'une ou de plusieurs situations expérimentales. Dans les activités expérimentales d'une classe de physique (niveau 1^{ère}), généralement les élèves agissent sur des objets sensibles de nature différente. Nous y trouvons, tout d'abord, des objets expérimentaux (montages

techniques, appareils de mesure etc.). L'expérimentation consiste à intervenir sur ces objets par un système d'actions transformatrices, un ensemble coordonné de procédures qui constitue la pratique expérimentale. A côté de ces objets expérimentaux, nous trouvons d'autres objets que les élèves ne peuvent ni voir ni toucher (électrons, lumière, etc.) mais sur lesquels ils peuvent agir et dont ils peuvent observer les effets. Ces objets sont également constitutifs du phénomène. Halbwachs (1974) les désigne sous le terme d'objets physiques.

Face à une situation expérimentale, l'élève peut mobiliser ses connaissances des objets expérimentaux, de leur structure, de leur fonctionnement, de leur relation nécessaire avec d'autres objets et ses connaissances des événements. En ce qui concerne, les relations entre les objets, elles peuvent être qualitatives ou quantitatives. En général, l'étude expérimentale d'une situation physique ne se limite pas à des considérations qualitatives sur les objets et sur leurs transformations. L'étude quantitative des phénomènes fait appel à la mesure. Ces connaissances sur les objets expérimentaux physiques ou expérimentaux, peuvent être aussi bien quotidiennes que de la physique au sens acquise au cours d'expériences scolaires.

Face à une situation expérimentale, la mobilisation de connaissances sur les objets et les événements est une nécessité de l'acte de perception. Percevoir permet de prendre connaissance de l'environnement et d'interagir avec lui ou d'agir sur lui. La perception s'inscrit dans l'instantané. C'est un acte immédiat. La connaissance que l'on a de l'environnement repose sur une multiplicité de perceptions qui se sont succédées dans le temps et qu'on a mémorisées. Réciproquement, la manière dont on perçoit à un instant donné une zone déterminée de l'environnement influencée par les perceptions antérieures et la connaissance générale qu'on possède de ce monde. Les connaissances sur le monde matériel ne sont qu'une partie de ces connaissances. La distinction sensation/perception repose sur l'idée que les perceptions réfèrent toujours à des objets externes tandis que les sensations sont des expériences personnelles intimes des sujets. Si la perception s'appuie sur nos sensations, elle ne se réduit pas à elles.

Dans cette optique, face à une situation expérimentale, on peut dire que l'élève agit, en quelque sorte, sur une réalité reconstruite par la pensée. Guillaud (1998) dans sa thèse distingue « fait brut » et « fait scientifique ». Il définit le terme « fait brut » comme la perception du monde des objets et événements dans le cadre théorique de la connaissance quotidienne, et le « fait scientifique » comme la perception du monde des objets et événements dans un cadre théorique scientifique (p.71). Buty (2000) dans sa thèse distingue « mondes objets et des événements », « objets perçus simplement », « objets perçus épistémiquement » et « objets pris en compte » (p.22). Il les explique comme « la terminologie, « perception simple/perception épistémique » empruntée à Dretske. Un objet ou un événement est « perçu simplement » quand des informations parviennent de l'objet aux organes sensoriels de l'individu mais ne donnent pas lieu à une conceptualisation de sa part. Lorsque cette conceptualisation a lieu, et que l'individu fait intervenir ses connaissances et modes de raisonnement antérieurement acquis pour interpréter ces informations, Dretske parle de « perception épistémique ». Au-delà de cette distinction entre simplement perçu et conceptualisé, l'élève peut décider de ne pas tenir compte de tel ou tel élément de la situation matérielle, parce qu'il pense que cet

élément n'a pas d'importance ou ne rentre pas dans ce qu'on lui demande. Au contraire, il peut prendre en compte et chercher à expliquer des phénomènes qui ne font pas partie du dispositif expérimental prévu par l'enseignant ». Roth (1997) dans son article distingue « looking at », « observing » et « seeing as » (p.119). Pour lui, il s'agit de « looking at », quand les élèves ne s'engagent pas dans la structuration de l'activité. C'est-à-dire il n'y a aucune intention de partager le monde dans des choses avec des aspects spécifiques. Il s'agit de « observing », quand la recherche de possibilités de tailler le monde dans des choses (des phénomènes) caractérisés par des aspects spécifiques et des propriétés. L'observation est l'ordre actif et ainsi la structuration de monde. Il s'agit de « seeing as », l'interprétation d'un objet-événement dans une structure spécifique et la reconnaissance d'un objet/événement comme quelque chose qui fait partie du monde partagé, reconnaissant l'objet comme tel. Ce développement vise à montrer que les connaissances sur le monde matériel sont en fait diverses. Dans notre travail, nous ne distinguons pas systématiquement ces connaissances même si nous discutons nos résultats à la lumière du rôle de la perception.

Connaissances liées aux représentations sémiotiques

La langue naturelle et les représentations sémiotiques sont importantes. D'une part pour Vygotsky, elles sont des outils cognitifs avec les fonctions instrumentale et médiationnelle. D'autre part, le progrès des connaissances s'accompagne toujours de la création et du développement de systèmes sémiotiques nouveaux et spécifiques qui coexistent plus ou moins avec la langue naturelle. Ainsi la formation de la pensée scientifique est inséparable du développement de symbolismes spécifiques pour représenter les objets et leurs relations (Gragner, 1979, p.21-47, cité par Duval).

Nous distinguons la langue naturelle, les représentations symboliques et schématiques. Les raisons de ce choix sont liées d'une part à la particularité de la représentation langue naturelle et d'autre part aux problèmes d'apprentissages des concepts physiques.

Chaque système de représentation ayant des propriétés spécifiques qui limitent intrinsèquement ses possibilités de représentation, des systèmes différents sont donc nécessaires. Le fait que « tous les signes ne peuvent fonctionner identiquement ni relever d'un système unique » reflète cette donnée fondamentale (Benveniste, 1974, cité par Duval). Même si « la langue est l'organisation sémiotique par excellence », elle ne peut donc pas être privilégiée pour définir la structure de la représentation (Benveniste, 1974 p.62-63, cité par Duval). Aussi pour Duval, la langue naturelle « ...constitue un registre à part. Non seulement en raison de sa plus grande complexité et du nombre considérablement élevé de variations qu'elle offre, mais aussi en raison de sa priorité génétique sur les autres registres et de son rôle unique par rapport à la fonction méta-discursive de communication. Cela se traduit, chez tous les individus, par une spontanéité discursive qui sert de point d'ancrage à tout apprentissage lié à un enseignement, indépendamment du fait que cette spontanéité puisse ne pas respecter toutes les règles de conformité de la langue et qu'elle puisse être inhibée ou favorisée par le jeu des interactions sociales. » (Duval, 1995, p.82).

Dans le cas de la physique, nous distinguons les représentations vectorielles (vecteurs force, vitesse) et les représentations schématiques (diagramme des interactions) et les représentations algébriques (relation vitesse, distance, temps : $v = \Delta x / \Delta t$ et calcul)

Connaissances Langagières

Notre utilisation du terme « connaissances langagières » peut être ambigu, il recouvre ici la langue. Nous avons conscience de la distinction faite entre le langage et la langue par les linguistes. Dans le cadre de notre étude, nous parlons de la langue qui joue un rôle déterminant dans les changements sémantiques (Nyckees, 1998, p.13). Dans le cadre de notre étude, nous distinguons la signification d'un mot et le sens d'un mot, comme : le sens est une relation du sujet aux situations, la signification est lexicologie. Nous insistons que d'une part les unités de langues sont majoritairement des discours et des textes et non des mots ou des phrases isolées, d'autre part parler n'est pas seulement combiner des signes, mais effectuer une ou des actions, agir sur les autres ou sur le monde

La description de la langue implique l'analyse des unités à différents niveaux de segmentation et d'organisation. On peut considérer: 1) le niveau phonologique, celui des unités élémentaires du langage oral 2) le niveau syntaxique, celui de l'organisation des mots en séquences grammaticalement bien formées 3) le niveau sémantique, celui qui permet, en particulier à partir de la combinaison des significations des mots, l'interprétation des phrases 4) le niveau pragmatique, celui de la mise en relation des formes linguistiques avec le contexte dans lequel elles interviennent.

Nous intéressons plus particulièrement au niveau sémantique. Les aspects sémantiques de la langue (en suivant le travail de Collet, 1996) concernent à la fois la sémantique lexicale qui s'intéresse au sens des mots en tant qu'unités élémentaires de signification, et la syntaxo-sémantique, qui intègre les significations lexicales dans le système de relations grammaticales (elles peuvent être à la fois syntaxiques et sémantiques). Le point de vue développé sur l'aspect lexical est que d'une part, dans un cadre linguistique nous rejetons la neutralité des mots conçus comme des simples étiquettes, d'autre part les contenus attachés aux mots ne doivent pas être limités aux seules valeurs linguistiques. L'aspect syntaxo-sémantique suppose le choix de considérer la syntaxe comme un phénomène lié à la sémantique. Pour Collet (1996, p.100) « l'intérêt d'une description syntaxique des items verbaux ou de leur dérivés, (qui) constituera une base plus homogène pour les résultats de l'analyse sémique ».

En général, à l'intérieur d'une discipline comme la physique tout terme véhicule une composante informationnelle entièrement déterminée par sa définition. Il est donc nécessaire de distinguer concept et notion. Gentilhomme (1994) pose qu'il y a concept lorsque la moindre variation significative dans sa définition donne lieu à un concept distinct ; il n'y a pas continuité, mais saut d'un concept à l'autre. Dans le cas des notions, les dérapages sémantiques de diverses natures sont de règle et contribuent même à ce qu'on appelle la flexibilité de la langue, lui permettant de faire face à des besoins imprévus, propriété que ne possèdent pas les langages artificielles. Aussi, dans le cas de la variation significative, la notion peut rester la même, moyennant la conservation d'un

assortiment suffisant de sèmes.

Processus Généraux

Dans ces processus nous considérons les raisonnements et le rôle du contrat didactique

Raisonnement

L'étude du raisonnement chez l'homme permet de comprendre comment il utilise les informations à sa disposition, comment il les transforme, les organise comment il peut former des connaissances nouvelles à partir de celles-ci (Weil-Barais, 1993). Nous n'abordons ici les travaux sur le raisonnement mais nous allons donner très succinctement les quelques éléments que nous prenons en compte.

Nous avons trouvé trois domaines principaux étudiant le raisonnement : la psychologie cognitive, l'épistémologie des sciences, les recherches en didactique des sciences. Il apparaît plusieurs types de raisonnement et plusieurs notations. Par exemple, en psychologie cognitive : les raisonnements canoniques/non-canoniques, les raisonnements formels, les raisonnements en situation, le raisonnement déductif, le raisonnement inductif, le raisonnement expérimental, le raisonnement analogique etc. (Weil-Barais, 1993 ; Richard, 1998). En épistémologie de sciences : le raisonnement causal (Halbwachs, 1971a,b ; Kuhn, 1971). En didactique des sciences : le raisonnement peut être spontané, linéaire causal, naturel, plus plus, séquentiel etc. (Viennot, 1996 ; Saltiel, 1978 ; Closset, 1983 ; Minstrell, 1992 ; Besson, 1999 ; etc.).

Dans le cadre de notre étude, il s'agit d'un regard situationnel en se basant particulièrement sur les types de raisonnements rencontrés dans les domaines de l'épistémologie des sciences et de la didactique des sciences physiques. Nous allons donner quelques caractéristiques de raisonnements que nous aident à clarifier nos idées et faciliter les analyses.

« Le terme «raisonnement» désigne d'une part le processus intellectuel et, d'autre part le résultat du processus, c'est-à-dire l'inférence dernière. Le raisonnement peut être explicite comme dans le cas du discours argumentatif, du discours de la démonstration ou dans celui de la preuve. Plus fréquemment, le raisonnement est implicite et non toujours conscient : tout se passe comme si le sujet effectuait une succession d'inférences, mais il n'exprime que le produit de son raisonnement » (Weil-Barais, 1993 , p.487). « Dans beaucoup de cas, la validité n'est pas la qualité première d'un raisonnement : à partir des informations que l'on a, on ne peut plus rien déduire de valide. La qualité d'un raisonnement, c'est aussi d'être productif. C'est orienter la recherche ou l'action vers des voies dont la validité n'est pas garantie, mais qui ont de meilleures chances de rapprocher de la solution que de ne rien faire dans l'attente de nouvelles informations, ou de faire n'importe quoi si, de toute façon, il faut faire quelque chose. » (Richard, 1998, p.19). Nous reprenons à notre compte ces deux citations car nous pouvons rencontrer chez les élèves en classe de physique des raisonnements de type très divers.

Contrat Didactique

Le contrat didactique permet de gérer les relations entre le savoir, l'enseignant et l'élève. Brousseau (1998) le définit ainsi : « On appelle contrat didactique, l'ensemble des comportements de l'enseignant qui sont attendus de l'élève, et l'ensemble des comportements de l'élève qui sont attendus de l'enseignant... Ce contrat est l'ensemble des règles qui déterminent - explicitement pour une petite part, mais surtout implicitement - ce que chaque partenaire de la relation didactique va avoir à gérer et dont il sera, d'une manière ou d'une autre, comptable devant l'autre ». Le contrat didactique se manifeste surtout lorsqu'il est rompu par l'un ou l'autre. Ce contrat est générateur de paradoxe ; si le maître dit ce qu'il veut, il ne peut plus l'obtenir, si l'élève accepte que, selon le contrat, le maître lui enseigne les résultats, il ne les établit pas lui-même et donc il ne se les approprie pas. Si, au contraire, il refuse toute information de la part du maître, alors la relation didactique est rompue.

La question de grain de connaissances

Cette question a été peu travaillée explicitement dans la littérature. Nous considérons que certains chercheurs ont pris une macro perspective et ont discuté la connaissance des étudiants en prenant des éléments de grande taille au sens où il s'agit d'une loi ou d'un concept, par exemple la conception recouvrant l'impetus chez McCloskey (1983). D'autres, comme nous l'avons vu dans le cadre théorique avec Niedderer et von Aufschnaiter, prennent une unité de taille plus petite et proche de la verbalisation de l'élève (par exemple « the moving car carries force » (Niedderer et Schecker, 1992). Nous avons fait un choix proche, une taille petite en restant proche de la verbalisation de l'élève et nous avons choisi de décomposer les connaissances en termes de facettes ; pour cela nous avons pris pour référence les travaux de Minstrell (1992).

Minstrell

Minstrell (1992) identifie et catalogue les éléments de connaissance ou de raisonnement que les étudiants semblent appliquer dans des situations de problème. Il appelle ces éléments des « facettes ». Une facette est un élément de connaissance ou d'une stratégie apparemment utilisée par l'étudiant quand il travaille sur une situation particulière.

Les facettes peuvent se rapporter au contenu, elles peuvent être stratégiques, ou elles peuvent représenter une particule générique de raisonnement. Les facettes peuvent représenter des alternatives à la connaissance scientifique. Voici quelques exemples de facettes suivant leur type : une facette « contenu-spécifique » dans le cas de la chute libre est : le mouvement du projectile est « le mouvement horizontal empêche des choses de tomber rapidement » ; une facette « stratégique » dans le cas de la cinématique est "la vitesse moyenne peut être décidée en ajoutant les vitesses initiales et finales et divisant par deux." D'autres facettes sont génériques aussi bien dans le cas de physique qu'au-delà en particulier dans la vie quotidienne par exemple la facette « plus... plus » ("plus d'ampoules, plus de résistance dans le circuit").

Dans sa liste de facettes, Minstrell utilise la langue des étudiants quand ceux-ci justifient leurs réponses, prédictions ou des explications. Minstrell essaye de capturer

l'intention de chaque idée exprimée dans une déclaration. Une facette peut généraliser les commentaires de plusieurs étudiants : il essaye de le faire par une description précise de ce que les étudiants disent en réalité ou font. La vérité ou l'utilité des facettes peut dépendre du contexte de la situation. Selon Minstrell, il y a de nombreuses raisons pour choisir les facettes comme l'unité de description et d'analyse. Tout d'abord et probablement c'est le plus important il considère que de nombreux éléments de connaissances des étudiants ont de la valeur pour l'apprentissage de la physique : des modifications ou des élaborations peuvent se faire à partir de ces éléments de connaissance qui sont ainsi très utiles. Ces éléments de connaissance peuvent servir comme les d'ancrages pour construire de nouvelles connaissances.

Galili

Galili (Galili et Lavrik 1998, Galili et Hazan 2000), arrange et catégorise les réponses des étudiants dans une structure à deux niveaux hiérarchiques : "les facettes de connaissance" constituent le niveau inférieur, "les schèmes de connaissance" constituent le niveau supérieur.

Pour Galili, les schèmes représentent un mécanisme causal commun qui est partagé par un groupe de facettes (figure 1). Chaque schème représente un certain modèle causal, un mécanisme explicatif commun (Galili et Lavrik 1998).

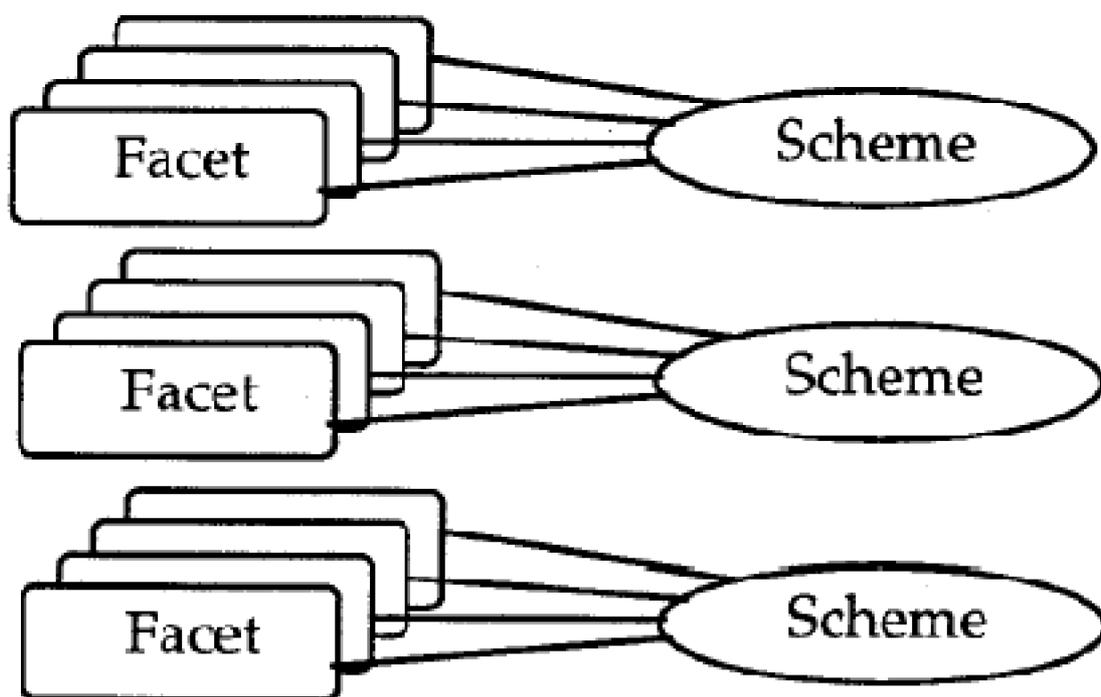


Figure 6 La structure hiérarchique suggérée pour représenter la connaissance des étudiants. (Galili et Lavrik 1998, p.594)

Galili met l'accent sur la difficulté de reconnaître le même mécanisme causal qui est à la base d'un groupe entier de facettes, déployées par des individus divers dans une variété de situations.

Les éléments essentiels retenus

Dans le cadre de notre travail, nous reprenons les choix de Minstrell. Cependant nous introduisons un niveau hiérarchique avec les grandes facettes qui regroupent les facettes selon les thèmes du contenu d'enseignement comme nous le présentons dans la partie C.

Chapitre 3 Questions de recherche

Compte tenu de notre problématique générale qui porte sur l'évolution de la compréhension conceptuelle des élèves avec un enseignement, nous proposons les hypothèses spécifiques suivantes. Ces hypothèses se situent dans la perspective du socioconstructivisme. Elles supposent également que, pour construire un sens aux connaissances de la physique, il est essentiel de faire des relations interne à chacune des mondes « théorie/modèle » et « champ expérimental » ainsi qu'entre les deux mondes.

D'un point de vue méthodologique nous considérons que les connaissances des élèves peuvent être décomposées en éléments de la taille des facettes (Minstrell, 1992) et que cette décomposition est pertinente pour étudier les connaissances mobilisées et mises en jeu par les élèves quand ils réalisent une tâche et ainsi permettre d'étudier l'évolution des élèves.

H1. L'évolution de la compréhension conceptuelle peut se faire par des combinaisons diverses d'éléments de connaissances permettant aussi bien la simple addition d'un nouvel élément qu'une restructuration locale ou générale d'un ensemble de connaissances. Quel que soit le type d'évolution, nous considérons que l'élève est cohérent de son point de vue.

Cette hypothèse nous conduit à la question de recherche suivante : comment évoluent les différentes facettes des connaissances des élèves et les relations entre les facettes au cours d'un enseignement de mécanique ?

H2. Au cours de l'évolution, les connaissances spécifiques (conceptuelles, sur le monde matériel, représentationnelle, langagières) et générales (raisonnement, contrat) de l'élève s'influencent mutuellement mais peuvent évoluer de manières différentes. Ces connaissances peuvent être aussi bien quotidiennes que scientifiques.

Cette hypothèse nous conduit à la question suivante : Au cours de l'évolution quels sont les types de connaissances en jeu et leurs relations ?

L'hypothèse suivante met en jeu la méthodologie.

H3 . En situation, les élèves mobilisent leurs connaissances dans un temps court (de l'ordre de la seconde). Les changements de l'ordre de la minute sont observables mais sont insuffisants pour considérer qu'il y a une évolution.

Cette hypothèse nous conduit à la question suivante : Comment décrire les évolutions pour des échelles de temps différentes ? Comment à partir de la description

des mises en œuvre pendant un temps court décrire l'évolution sur une échelle de temps supérieure ?

Partie B. Analyse des savoirs en jeu dans l'enseignement

Introduction

Dans cette partie nous abordons l'analyse des savoirs en jeu dans l'enseignement et l'apprentissage des élèves de 1ère S en mécanique.

Pour cela nous présentons tout d'abord le contexte d'élaboration de cette séquence.

La séquence en jeu dans notre travail a été conçue dans le cadre d'une recherche-développement menée par le groupe Outils. Le groupe Outils vise à fournir aux enseignants de collège et de lycée des «outils » pour les aider à concevoir et à analyser leur enseignement pour les situations de cours, TP, documentation. Le point de départ de ce groupe a été le constat par les enseignants des difficultés durables rencontrées lors de l'enseignement de la physique et de la chimie.

Le groupe Outils est composé de chercheurs et d'enseignants et cette complémentarité de compétences différentes permet de mettre en commun des analyses théoriques d'activités d'enseignement et une expérience de la pratique d'enseignement. Les enseignants participant à cette recherche contribuent à la conception des outils et à leur mise en œuvre, ce qui a conduit à des critiques pertinentes et constructives. Les

outils sont conçus dans le cadre des programmes des lycées en vigueur depuis septembre 2000.

L'élaboration qui nous concerne porte sur le chapitre du programme de première S : « forces, travail et énergie » (le programme est donné en annexe-1). La construction notre séquence d'enseignement a été fait par le groupe de mécanique. Chaque chapitre de programme fait l'objet d'une séquence subdivisée en parties. Chaque partie est composée d'une succession d'activités, chacune comporte un titre, le plus souvent sous forme de question. Les documents rédigés comportent une partie pouvant être directement utilisée par les élèves et des commentaires pour le professeur. Les documents produits sont disponibles sur le site académique <http://www2.ac-lyon.fr/enseigne/physique/index.html>.

- L'élaboration de la séquence d'enseignement en jeu s'est appuyée sur un ensemble de travaux concernant :
- une analyse épistémologique des concepts de physique en jeu,
- les conceptions et modes de raisonnement, le développement conceptuel des élèves et le rôle de médiation sémiotique (langage et représentation registres sémiotiques),
- la modélisation dans une démarche d'enseignement (Tiberghien, 1994, 1997 ; Bécu-Robinault, 1997 ; Buty , 2000; Vince, 2000),
- l'enseignement en mécanique (Guillaud, 1998; McDermot, 1983).

Ce contexte nous conduit pour analyser les savoir en jeu à reprendre des travaux sur les savoirs en mécanique, puis à étudier les connaissances préalables à cet enseignement que peuvent avoir les élèves. Enfin nous présenterons le contenu de la séquence.

Chapitre 1 Savoirs en jeu dans un enseignement de mécanique

Dans ce chapitre nous présentons une analyse épistémologique succincte de la mécanique avant de présenter successivement les concepts de base de la mécanique.

Quelques repères épistémologiques de la mécanique classique

Nous étudions la mécanique classique qui est relative aux phénomènes qui se déroulent à l'échelle humaine et qui sont perçus à l'aide de nos cinq sens.

Nous allons préciser d'un point de vue didactique le sens des concepts à enseigner à travers une courte analyse historique et épistémologique. Cette analyse nous permet de justifier les choix faits pour élaborer le contenu de l'enseignement en particulier la théorie et les situations proposées aux élèves. Cette analyse nous conduit également à proposer les éléments de savoir qui vont servir de base à l'analyse de l'évolution des élèves.

Le savoir à enseigner porte sur les deux branches de la mécanique classique, cinématique et dynamique. Valentin (1983, p. 25, 49) les définit ainsi : l'objet de la cinématique est de décrire les mouvements sans chercher à les interpréter, l'objet de dynamique est de trouver les causes des mouvements. La cinématique est purement descriptive, tout ce qui est causal est étranger à la cinématique et relève de la dynamique. Lorsqu'on veut expliquer et non plus seulement décrire le mouvement, il faut faire appel à la dynamique. Le point important ici est que la cinématique est comme modèle descriptif, totalement autonome par rapport à la dynamique, même si le choix de telle ou telle cinématique pour représenter le monde physique n'est pas, lui, indépendant de l'ensemble des lois de la physique, y compris dynamique (Saltiel, 1978). Comme l'a dit, Feynman (1979, p.55) « l'étude du mouvement est à la base de toute la physique ».

Quand nous regardons les contributions de scientifiques à la mécanique, la description du mouvement donnée par Galilée reste purement *cinématique* ; le mouvement y est caractérisé en termes de trajectoire, vitesse, accélération. Newton apporte une *dynamique*, c'est-à-dire une explication du pourquoi des mouvements des corps, grâce à l'introduction du concept de force qui relie les effets cinématiques aux causes qui les produisent (Balibar, 1984, p.68).

Mouvement

L'étude du mouvement traite des questions du « où » et du « quand » (Feynman 1979, p.55) ; ces questions nous envoient aux notions de temps et d'espace.

Jusqu'à la fin du Moyen-Âge, tout mouvement était défini par sa cause motrice. « La physique aristotélicienne établit une différence de nature intrinsèque entre repos et mouvement liée à l'existence d'un ordre cosmique en vertu duquel chaque objet possède dans l'Univers une place, un « lieu » qui lui est propre -car il est conforme à sa nature-, vers lequel il tend à revenir s'il en est écarté, et où il reste immobile si rien ne vient l'en déloger » (Balibar, 1984, p.13). Aristote distinguait deux types de mouvement : le mouvement « naturel » d'un corps qui amène ce corps à son lieu propre et le mouvement « violent » qui a pour cause une contrainte exercée sur le corps qui l'empêche de rejoindre son lieu naturel, ou qui l'en déloge. Aristote considérait comme le seul mouvement naturel ou parfait, auquel on devait rapporter les autres, le mouvement circulaire, en relation à sa cosmologie et à sa doctrine des éléments. Les éléments, ou corps simples sont au nombre de quatre, la Terre, l'eau, l'air et le feu. Chaque corps a son lieu propre, vers lequel il tend : ainsi des éléments, les légers (air et feu) tendant vers le haut, les graves tendant vers le bas. Le mouvement vers le haut ou vers le bas ne se fait pas par l'action d'un autre corps ni par pression, mais par la sollicitation de cette tendance : « Plus grande est la masse du Feu ou de la Terre, plus rapide est son mouvement vers son lieu propre » (Paty, 1997, p.20). Cette sollicitation est aussi fonction de la forme du corps : « La figure des corps n'est pas la cause de leur mouvement vers le haut ou vers le bas d'une façon absolue, mais seulement de leur plus ou moins grande rapidité » (ibid., p.20). Aristote en donne pour exemples un disque plat de métal lourd flottant sur l'eau, ou encore des poussières en suspension dans l'air. Le mouvement, défini « comme l'acte de ce qui est en puissance, en tant que cela est en puissance »

(ibid., p.20), exige une cause continuelle. « Le repos est pensé non pas comme un mouvement nul, mais comme son terme et sa finalité. En ce sens, il en diffère radicalement, absolument » (Balibar, 1984, p.15).

Les conceptions aristotéliennes sur le mouvement ont exercé une influence considérable sur toute la pensée médiévale. La distinction entre les mouvements « naturels » et les mouvements « violents » tend à disparaître au moyen-âge au profit du seul mouvement naturel, défini par un moteur unique, interne à l'objet, appelé « impetus » par les maîtres des Universités de Paris et d'Oxford, au XIVe siècle, en particulier Guillaume d'Ockham, Nicole Oresme et Jean Buridan (Paty, 1997). « L'impetus était une impulsion de nature dynamique, transférée au corps par le moteur qui lui avait donné le mouvement (par exemple un autre corps dans un choc, ou une impulsion) et désormais portée par lui ; propriété du corps, l'impetus était pensé comme une sorte de force interne, sur le mode de la chaleur qui reste dans le corps après avoir été transmise » (Paty, 1997, p.20-21).

Si Galilée révolutionne les idées scientifiques de son époque, c'est parce qu'il fut le premier à étudier le mouvement en tant que tel en refusant d'en chercher les causes. Le mouvement est une modification des relations, des rapports entre les choses ; ce n'est que cela. Car cette modification laisse les choses elles-mêmes complètement indifférentes. Qu'elles soient en mouvement ou au repos ne les affecte nullement dans leur être ; le mouvement est un état au même titre que le repos ; pas plus que le repos, le mouvement n'est un changement d'état. Les choses sont extérieures à leur mouvement. Ainsi se trouve affirmée l'équivalence entre repos et mouvement. En plus, « le temps (et non l'espace) apparaît comme le véritable variable du mouvement, celle selon laquelle le mouvement se déroule. En opposition évidemment avec l'idée aristotélienne d'un mouvement déterminé par le lieu de départ et le lieu d'arrivée » (Balibar, 1984, p.50).

Relativité du mouvement

La conception relativiste du mouvement prend d'abord acte du fait que seuls les mouvements des corps les uns par rapport aux autres ont une signification objective. Un mouvement doit toujours être conçu comme une relation à deux. Aussi le mouvement d'un corps ne se définit que par rapport à un autre corps, en physique on nomme "référentiel" le corps par rapport auquel on repère (auquel on « réfère ») le mouvement que l'on veut étudier. Préciser le référentiel choisi est indispensable car les observations faites dans deux référentiels en mouvement relatif n'ont a priori aucune raison d'être identiques et la description d'un mouvement change lorsque l'on passe d'un référentiel à un autre.

L'idée de relativité du mouvement a évolué de Galilée à Einstein. L'énoncé de Galilée est « (dans un navire) les papillons volent de-ci de-là de la même façon, que le navire soit au repos ou qu'il soit en mouvement uniforme » (Balibar, 1984, p.26). Newton l'énoncera de la façon suivante : « les mouvements relatifs des corps enfermés dans un espace quelconque sont les mêmes que cet espace soit immobile, ou qu'il se meuve le long d'une ligne droite, sans rotation. »(cité par Balibar, 1984, p.26). Ce qui affirmé dans cet énoncé rigoureux du « principe de relativité » (l'expression est de Poincaré), c'est l'indifférence du mouvement partagé vis-à-vis d'un mouvement d'ensemble d'uniforme. Einstein énonce,

en 1905, sous la forme : « étant donné deux référentiels en translation uniforme l'un par rapport à l'autre, les lois auxquelles sont soumis les changements d'état des systèmes physiques restent les mêmes, quel que soit le référentiel auquel ces changements sont rapportés. » (cité par Balibar, 1984, p.27). La formulation est abstraite, encore plus difficile à comprendre que la première, celle de Newton, parce qu'elle fait intervenir le mot « référentiel » qui est peu utilisé dans le langage courant.

Vitesse et Changement de la Vitesse

On définit la vitesse du mouvement comme le rapport de l'espace parcouru au temps mis à le parcourir. La définition de la vitesse, au début du XVIIe siècle, la différentiation de ce que nous appelons maintenant vitesse moyenne et vitesse instantanée, pose un véritable problème conceptuel, la compréhension du concept de vitesse permet celle de l'accélération.

La vitesse moyenne ne nous donne qu'un renseignement global sur le mouvement. Pour le décrire en chaque point de la trajectoire, il faut connaître la vitesse instantanée qui est donnée en valeur algébrique par la dérivée par rapport au temps de la fonction du temps qui permet de repérer la position du point matériel à chaque instant. En effet en considérant des intervalles de temps, Δt , de plus en plus brefs, pendant lesquels le mobile effectue, par exemple sur un axe, des trajets, Δx , de plus en plus courts, la vitesse moyenne sur ces trajets s'approchera de mieux en mieux d'une vitesse instantanée que l'on obtiendra en passant à la limite $\Delta t \rightarrow 0$.

La vitesse instantanée en valeur algébrique n'est pas une notion suffisamment précise pour décrire toutes les caractéristiques d'un mouvement quelconque. En particulier, elle ne dit rien sur l'orientation du mobile en chaque instant, ce que pourrait faire un vecteur : noté $\mathbf{v}(t)$ ayant même direction que la tangente à la trajectoire au point P où se trouve le mobile au temps t, orientée dans le sens du mouvement, et dont le module est la valeur algébrique de la vitesse instantanée. L'avantage de cette représentation vectorielle de la vitesse est manifeste : elle véhicule plus d'informations que la célérité, car en plus du rythme imprimé au mouvement, ce que donne son module, elle fournit également la direction dans laquelle le mobile « s'oriente à vue ». Quand on connaît la vitesse associée à un mouvement, on peut obtenir son accélération. Ce vecteur est fondamental en mécanique classique car c'est lui qui est directement relié aux actions des forces sur un objet. La vitesse est le rythme de changement du vecteur position, de même l'accélération est le rythme de changement du vecteur vitesse.

Dans la première pensée scientifique avec Aristote, la vitesse était conçue selon une pensée de « qualités » et gardait son sens ontologique, qualitatif, en rapport à la doctrine du lieu naturel. « La vitesse, conformément à la tradition aristotélicienne, était pensée comme un indice de la grandeur du mouvement, donc de la force du moteur responsable de ce mouvement ; il n'y avait pas lieu d'assigner aux variations de vitesse une autre cause que celle d'un changement de moteur. Ce qu'a découvert Galilée, c'est que le mouvement est véritablement indiqué non pas par la valeur moyenne de sa vitesse mais par les variations de celle-ci au cours du temps » (Balibar, 1984, p. 55-56). Galilée va spécifier les notions de "vitesse moyenne" et de "vitesse instantanée" dans les Discours

quand il définit le "mouvement régulier ou uniforme" : « Pour le mouvement régulier ou uniforme, nous avons besoin d'une seule définition que je formule ainsi : par mouvement régulier ou uniforme, j'entends celui où les espaces parcourus par un mobile en des temps égaux quelconques sont égaux entre eux. Avertissement : à la vieille définition (qui entend simplement par mouvement uniforme celui où des espaces égaux sont franchis en des temps égaux), il a paru bon d'ajouter le terme "quelconque" s'appliquant à tous les intervalles de temps égaux : il peut en effet advenir que pendant des temps égaux déterminés un mobile parcourt des espaces égaux, alors que les espaces parcourus pendant des parties plus petites et égales de ces mêmes temps ne seront pas égaux » (Galilée, cité par Balibar, 1984, p.50-51). Une fois le concept de vitesse mathématisé, le concept d'accélération en découle. Les définitions données par Galilée de la vitesse instantanée et de l'accélération ont pu l'amener à l'énoncé de la loi de la chute des corps.

Force

Newton fonda la mécanique sur trois lois couplées entre elles appelées actuellement : le principe d'inertie, le principe fondamental de la dynamique et le principe des actions réciproques.

Le principe d'inertie

Newton définit le principe d'inertie « tout corps persévère dans l'état de repos ou de mouvement uniforme en ligne droite dans lequel il se trouve, à moins que quelque force n'agisse sur lui et ne le contraigne à changer d'état » (Newton, cité par R.Dugas, 1954, p.353).

Cet énoncé contient en fait « deux notions imbriquées l'une dans l'autre. Sa première partie définit le mouvement inertiel des points matériels comme un mouvement rectiligne uniforme ($\mathbf{v}(t)=cte$), avec comme cas particulier le repos. » (Valentin, 1983, p.49). Pour Newton, le mouvement uniforme en ligne droite est un état au même type que le repos ; en tant qu'état, il n'a besoin d'aucune force ni d'aucune cause pour persévérer. « Sa deuxième partie constitue une définition dynamique de la force : on appellera force ce qui fait sortir les points matériels de leur mouvement inertiel, ou, plus généralement, ce qui les fait changer d'état de mouvement. » (Valentin, 1983, p.49).

Le principe fondamental de la mécanique

La deuxième principe de Newton permet de préciser le concept de force chez Newton et donne une manière spécifique de déterminer comment la vitesse change sous diverses influences appelées forces. Cette loi affirme que « les changements qui arrivent dans le mouvement sont proportionnels à la force motrice et se font dans la ligne droite dans laquelle cette force a été imprimée » (Newton, cité par Dugas, 1954, p.353). Il s'agit pour Newton d'un changement élémentaire du mouvement, donc d'une loi différentielle. Il écrit cette loi : $d(m\mathbf{v})=\mathbf{F} dt$ (formulé sous la forme $\mathbf{F}=m\mathbf{a}$ en 1750 par Euler). Dugas (1954, p.353) précise que « le commentaire qui accompagne cette loi affirme en outre le principe de l'indépendance des effets des forces, considéré comme un axiome ».

Nous voyons que dans cet énoncé, il n'est pas fait état de la nature de la force responsable du mouvement. Il peut s'agir tout aussi bien de forces gravitationnelle, électrique, de viscosité, etc. le principe reste le même : il caractérise la relation cherchée entre \mathbf{F} et \mathbf{v} . La chose la plus importante à réaliser est que cette relation comporte non seulement des changements en grandeur de la vitesse, mais aussi dans leur direction. La deuxième Loi de Newton ne dit pas seulement que l'effet d'une force donnée varie inversement avec la masse ; elle dit également que la direction du changement de la vitesse et la direction de la force sont les mêmes (Feynman, 1963, p.118).

En fait, la deuxième loi englobe la première loi car dans le cas particulier où $\mathbf{F}=0$, la relation conduit à $\mathbf{a} = 0$ (et donc $v = \text{cte}$), ce qui caractérise un mouvement rectiligne uniforme. Néanmoins, on ne peut se dispenser d'énoncer à part et en premier le principe d'inertie car c'est lui qui permet de définir la notion de référentiel d'inertie. Autrement dit : les lois de Newton ne valent que dans des référentiels inertiels. On sait que la loi fondamentale de la mécanique de Galilée-Newton, connue sous le nom de loi de l'inertie, est exprimée dans les termes suivants : un corps suffisamment éloigné d'autres persiste dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme. Cette proposition n'énonce pas seulement quelque chose concernant les mouvements des corps ; elle nous dit aussi quel corps de référence, ou systèmes de coordonnées, sont admissibles et peuvent être employés pour la description mécanique. Un système de coordonnées dont l'état de mouvement est tel que relativement à lui le principe d'inertie reste valable est appelé système de coordonnées galiléen. Ce n'est que pour les systèmes de coordonnées galiléens que les lois de Galilée-Newton sont valables (Einstein, 1919/1990).

Le principe d'égalité de l'action et de la réaction

« Ce principe appartient en propre à Newton, aucun de ses prédécesseurs ne l'avait énoncé. La troisième loi pose que « l'action est toujours égale et opposée à la réaction, c'est-à-dire que les actions de deux corps l'un sur l'autre sont toujours égales et dans des directions contraires. » (Newton, cité par R.Dugas, 1954, p.353).

Cette loi exprime une règle, une propriété générale des forces, c'est la somme totale des connaissances sur la nature des forces que Newton pu atteindre (Feynman, 1963, p.131). Cette loi est vérifiée quels que soient l'état de mouvement ou de repos de deux corps (ou plus généralement de deux systèmes) en interaction, le type d'interaction (contact ou à distance) (Guillaud, 1998, p.35). « Ce qu'un physicien entend par « interaction » c'est le fait que, lorsque deux objets sont en présence, ils exercent l'un sur l'autre une influence qui modifie leur comportement par rapport à ce qu'il serait si chacun d'eux était seul ». (Valentin, 1983, p.4).

Le concept de système et le point matériel

En physique, un système est « une construction intellectuelle, c'est une partie d'objet, un objet ou un ensemble d'objets et un jeu de grandeurs physiques qui le décrivent : chaque état de ce système étant défini par un ensemble de valeurs de ces grandeurs ». (Lemeignan et Weil-Barais, 1993, p.56).

Le concept du point matériel est défini comme suivant par Einstein (1919/1990,

p.36) : « un objet matériel qui peut être décrit, en ce qui concerne sa position et son mouvement, avec une exactitude suffisante comme un point ». C'est-à-dire un système dont on choisira de dire que ses dimensions sont négligeables devant toutes les autres longueurs qui nous intéressent. Une pierre en chute libre au voisinage de la Terre pourra être modélisée comme un point matériel à l'échelle de la Terre, il en est de même de la Terre à l'échelle de son mouvement autour du Soleil. Le choix du modèle du point matériel devra être justifié selon les problèmes étudiés.

Chapitre 2 Les connaissances des élèves en mécanique

Dans ce chapitre nous présentons les connaissances que les élèves peuvent avoir acquises préalablement à l'enseignement de première S. Les travaux sur les conceptions en mécanique au lycée et au début de l'université nous renseignent sur ces connaissances préalables, nous les présentons en premier. De plus les élèves ont déjà suivi un enseignement concernant la mécanique. Ils ont donc pu acquérir des connaissances que nous présentons selon nos catégories : conceptuelles, représentationnelles. Nous ne présentons pas les connaissances sur le monde matériel dans la mesure où la plupart des situations présentées sont connues des élèves. Nous abordons également les raisonnements possibles que les élèves peuvent mettre en oeuvre. Pour cet ensemble de connaissances, nous faisons analyser les parties de programme concernant la mécanique des niveaux précédents : la troisième au niveau de collège et la seconde au niveau de lycée.

Les Conceptions en mécanique

Il existe une littérature assez étendue sur les conceptions des élèves, la mécanique est le sujet le plus fréquemment et largement étudié dans la didactique de la physique (Duit 2002). Nous n'avons pas pour but d'analyser et recenser ces travaux. Nous présentons principalement les études conduites avec des élèves de lycée et de première année d'université.

Vitesse

Halloun et Hestenes (1985) rapportent que, pour les étudiants, la vitesse est définie comme la distance divisée au temps. Ainsi la vitesse moyenne n'est pas différenciée de la vitesse instantanée.

Trowbridge et McDermott (1980) ont constaté la confusion entre position et vitesse en utilisant des tâches expérimentales (plans inclinés) et des graphes. Les élèves considéraient que deux objets ont la même vitesse au moment où l'un dépasse l'autre. Quasiment chaque échec pouvait être attribué à l'utilisation d'un critère de position pour déterminer la vitesse relative.

Dans l'étude de Reif et Allen (1992), sur la compréhension des étudiants des mouvements à deux dimensions, on montrait, à cinq étudiants qui suivaient le cours d'introduction de la physique et à cinq professeurs de physique, des diagrammes de trajectoire d'objets se déplaçant. On demandait aux participants si les objets accélèrent, ralentissent ou se déplacent à vitesse constante, ceux-ci devaient ensuite dessiner les vecteurs vitesse pour des points indiqués. Les débutants ont médiocrement réussi cette tâche ; même les experts ont éprouvé des difficultés.

Accélération

Des recherches montrent qu'il y a une inaptitude généralisée (pour les élèves du lycée et pour les étudiants de l'université) à déterminer l'accélération (Lega 1988).

Trowbridge et McDermott (1982) ont constaté la confusion entre les concepts de vitesse et d'accélération chez les élèves. La plupart des étudiants n'ont pas une compréhension qualitative de l'accélération comme le rapport Dv/Dt (Malgrange, Saltier et Viennot 1973, Trowbridge et McDermott 1980).

Pour les élèves, l'accélération est généralement liée à la vitesse à un instant donné et non pas à sa variation entre deux instants voisins. Ainsi les élèves infèrent que l'accélération est nulle à un instant où la vitesse du mobile devient nulle (Labude, Reif et Quinn 1988, Warren 1984).

Force et mouvement

De nombreux travaux montrent que, les élèves tentent d'identifier les forces exercées sur un objet par l'étude de l'état de mouvement de cet objet. A propos de la mise en relation du mouvement et de la force, les recherches sur les conceptions peuvent être résumées dans les deux propositions suivantes : si un objet est immobile, aucune « force » n'agit sur lui, si un objet en mouvement, il existe une « force » qui agit sur lui, dans le sens du mouvement .

Les élèves souvent considèrent que chaque mouvement présuppose l'action d'une force, dans sa direction (Clement 1982, diSessa 1983, Osborn et al. 1983, Watts 1983, White 1983, Gustone 1984).

L. Viennot (1979, 1989, 1993, 1996) a montré qu'un mouvement devait avoir une cause compatible avec le sens de déplacement : si les forces d'interaction ne peuvent remplir cette fonction, il apparaît une force supplémentaire, le capital de force, attribuée à l'objet. Elle considère que, pour les élèves, la recherche d'une cause renvoie la réponse dans le passé, via l'idée de stockage (la capital force). Ce capital évolue avec le mouvement de l'objet et joue le rôle d'une provision susceptible de s'épuiser ; les élèves le nomment sous des « étiquettes » variées (force-élan-inertie-énergie potentielle ou cinétique-vitesse...).

Par exemple, une pierre lancée en l'air continue à monter alors que son moteur –le poids- lancée en l'air la faire descendre. Les étudiants introduisent une force supplémentaire (dont l'origine se trouve ici dans le geste du lanceur) transférée à l'objet et qui sert de moteur aussi longtemps qu'il est nécessaire d'expliquer la montée. Pourquoi

faut-il trouver une cause au sens de déplacement si celui-ci n'est pas une propriété intrinsèque de l'objet ? Par ailleurs, comme la cause d'un mouvement est indépendante de l'observateur, on en déduit que son effet l'est aussi et en particulier le sens de déplacement.

L'objet étudié n'est pas en mouvement, les élèves considèrent qu'il n'y a pas de forces exercées sur l'objet en question (Mc Closkey 1983, Clement 1982, White 1983). Une autre conséquence de l'association faite entre les forces exercées sur un objet et son mouvement est que souvent les élèves ne cherchent pas à identifier une force quand ils ne « voient » pas son effet sur le mouvement. On peut interpréter cela en considérant que, pour les élèves, cela n'a aucun intérêt de rechercher une force s'il n'y a pas d'action (Minstrell, 1982). Ainsi les élèves ont tendance à ne pas prendre en compte les forces dont les effets s'annulent.

Force et vitesse

Viennot (1979) et Champagne et al. (1980) constatent que de nombreux élèves supposent que la relation entre la force et la vitesse est linéaire :

- une force constante produit une vitesse constante avec une intensité de la vitesse proportionnelle à celle de la force,
- l'accélération est due à l'augmentation de la force,
- en l'absence de force les objets soit sont au repos, soit ralentissent.

Force et interactions

La troisième loi de Newton (le principe des actions réciproques) n'est pas compatible avec les conceptions des élèves. Les élèves restent centrés sur les objets, leurs propriétés et/ou leurs fonctions.

On retrouve dans de nombreuses études (Lemeignan et Weil-Barais, 1993) l'idée des « objets actifs/passifs ». Un objet ne peut exercer une force que s'il est vivant, animé ou actif (un ressort) mais non passif (une table). Les objets « actifs » peuvent exercer une action sur les objets « passifs » et non l'inverse.

Maloney (1984) suppose que les élèves, lorsqu'ils sont confrontés à des situations où le principe des actions réciproques devrait s'appliquer, génèrent les règles suivantes : l'objet le plus grand exerce une force plus grande, ou plus fréquemment, l'objet qui 'cause' le mouvement de l'autre objet, exerce la force la plus grande car il sur-compense l'opposition de l'autre.

Les élèves utilisent la troisième loi de Newton pour expliquer l'équilibre d'un objet. Pour eux, les paires de forces de la troisième loi agissent sur le même objet (Terry et Jones 1986). Deux forces exercées sur le même objet, constituent, selon les élèves, une paire d'action-réaction dont souvent un des partenaires est le poids de l'objet (Viennot 1989, Laurillard 1992). De plus certaines travaux montrent que les forces se transmettent par l'intermédiaire des objets. Ils peuvent tracer des forces en considérant qu'elles s'exercent d'un objet sur un autre par l'intermédiaire d'un troisième objet. Par exemple

lorsque l'agent causal est l'homme qui, en poussant un premier objet, met en mouvement deux objets qui sont en contact.

Dans les phénomènes où intervient la gravitation, pour les élèves se pose le problème du rôle de l'air, de la pression atmosphérique (Watts, 1982). Les élèves ne formulent pas leurs explications en termes d'interaction Terre/objet.

Les connaissances préalables conceptuelles

Au niveau du collège, d'après le programme officiel dans la rubrique de « mouvement et forces », les élèves ont suivi un enseignement de mécanique d'une durée d'environ 10 heures. Le but de cette rubrique est donné dans le programme comme « La rubrique ci-dessous n'a en rien les ambitions d'un cours de mécanique. Elle propose une première analyse de concepts (vitesse, force, poids, masse) qui permet d'élaborer une description rationnelle de l'évolution des objets constituant notre environnement » (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1998, hors-série n°10).

Au niveau du lycée en classe de seconde, d'après le programme officiel (rubrique « mouvement et forces »), les élèves suivent un enseignement de mécanique (4 TP, 8 heures en classe entière). Le but de cette rubrique est donné dans le programme comme « cette partie est structurée autour de 3 notions qui s'articulent dans une progression logique: la *relativité* de tout mouvement : le mouvement d'un objet n'a de sens que *par rapport* à un autre objet pris comme corps de référence ; le *principe d'inertie* ; l'*utilisation heuristique* du principe d'inertie pour la mise en évidence de forces, et en particulier de la gravitation universelle. La relativité du mouvement s'établit simplement par l'analyse de divers exemples où le mouvement d'un objet est décrit par deux observateurs en mouvement l'un par rapport à l'autre. On montre ensuite sur des exemples concrets que l'exercice d'une force est susceptible de modifier le mouvement d'un corps, et l'on détaille les deux effets possibles : modification de la vitesse, modification de la trajectoire. Après avoir remarqué que l'absence de force ne signifie pas nécessairement absence de mouvement, on pose le principe d'inertie comme principe général » (Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale, 1999, hors-série n°6). Le tableau 1 donne les notions essentielles à enseigner dans ces programmes.

Tableau 1 : Notions essentielles à enseigner dans les programmes officiels de 3ème et de 2nde

Classe de Troisième de Collège Contenus-Notions	Classe de Seconde de Lycée Contenus-Notions
<p>Comment peut-on décrire le mouvement d'un objet ? Observation de différents types de mouvements (Reconnaître un mouvement accéléré, ralenti, uniforme.) Trajectoire, sens du mouvement (Être capable de calculer à partir de longueur et de durée une vitesse exprimée en mètre par seconde (m/s ou m.s- et en kilomètre par heure (km/h ou km.h-)) Représentations graphiques relatives au mouvement de véhicules : distance parcourue en fonction du temps, vitesse parcourue en fonction du temps, (Savoir interpréter un graphique relatif au mouvement rectiligne d'un véhicule.) Pourquoi le mouvement d'un objet est-il modifié? Pourquoi un objet se déforme-t-il ? Action exercée sur un objet (par un autre objet), effets observés : modification du mouvement, déformation. (Identifier l'objet d'étude sur lequel l'action, distinguer les différents effets de l'action. Modélisation d'actions par des forces.) Équilibre ou non équilibre d'un objet soumis à deux forces colinéaires. (Être capable d'utiliser la condition d'équilibre soumis à deux forces colinéaires. Relation entre poids et masse d'un objet (Distinguer masse et poids, connaître et savoir utiliser la relation de proportionnalité Distinguer masse et poids, connaître et savoir utiliser la relation de entre ces grandeurs en un lieu donné.</p>	<p>Relativité du mouvement (Décrire le mouvement d'un point référentiels différents) Principe d'inertie Effets d'une force sur le mouvement d'un corps. Rôle de la masse du corps (Savoir qu'une force s'exerçant sur un corps modifie la valeur de sa vitesse et/ou cette modification dépend de la masse du corps.) Enoncé du principe d'inertie pour un observateur terrestre : "tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent" (Enoncer le principe d'inertie Savoir qu'il est équivalent de dire : "un corps est soumis à des forces qui se compensent" et "un corps n'est soumis à aucune force") La gravitation universelle L'interaction gravitationnelle entre deux corps. La pesanteur résulte de l'attraction terrestre. Comparaison du poids d'un même corps sur la Terre et sur la Lune. Trajectoire d'un projectile. Interprétation du mouvement de la Lune (ou d'un satellite) par extrapolation du mouvement d'un projectile. (Prévoir qualitativement comment est modifié le mouvement d'un projectile lorsqu'on modifie la direction du lancement ou la valeur de la vitesse initiale.</p>

Ainsi les élèves devraient avoir des connaissances relatives

- au concept de vitesse :
 - la vitesse moyenne, la variation de la vitesse en utilisant les termes d'accélérer, ralentir, la vitesse constante, le repos de l'objet ;
 - le calcul de vitesse moyenne,
 - la représentation vectorielle de la vitesse ;
- au concept de force :
 - la représentation vectorielle de la force

- effet d'une force, rôle de la masse
- aux relations entre force et variation de la vitesse: une force exercée sur l'objet modifie la valeur de sa vitesse et/ou la direction de son mouvement et le principe d'inertie : « tout corps persévère dans son état de repos ou de mouvement rectiligne uniforme si les forces qui s'exercent sur lui se compensent »

A partir de ces textes on peut dire que les élèves n'ont pas connaissances préalables sur le principe de « l'action et la réaction ». Ces textes nous donnent des indications mais pour les élèves qui ont suivi l'enseignement préparés par le groupe « Outils » dans la classe de seconde, il faut ajouter des connaissances relatives au « diagramme système-interactions », à la modélisation de l'action par une force et au principe de « l'action et la réaction ».

Les connaissances préalables représentationnelles

Pour les élèves de Première S, les connaissances de mathématiques concernant l'algèbre et le modèle vectoriel sont abordées et supposées acquises antérieurement, et seraient donc susceptibles d'être réinvesties en physique.

La structure vectorielle est caractéristique de plusieurs grandeurs physiques fondamentales et les relations entre les mathématiques et la physique ont fait l'objet de nombreuses études historiques et épistémologiques. Nous n'avons pas l'ambition de donner les travaux réalisés sur ce sujet. Nous suivons l'idée que « la maîtrise préalable des instruments mathématiques est certes nécessaire, mais elle demeure insuffisante pour dépasser les difficultés liées à l'appropriation des concepts et à l'appréhension des situations de physique correspondantes » (Lounis, 1989, p.154).

Une difficulté particulièrement importante pour l'élaboration de la représentation du mouvement est celle liée à la non prise en compte de la nature vectorielle de la grandeur vitesse. Le problème de la compréhension de l'aspect vectoriel des grandeurs physiques est général et concerne autant la vitesse l'accélération que la force.

Malgrange, Saltiel et Viennot (1973) au niveau des deux premières années universitaires montrent que beaucoup d'étudiants ont beaucoup de mal à additionner sans erreur des vecteurs, et plus encore sont incapables de mettre un contenu physique dans le formalisme de l'analyse vectorielle.

Les travaux du groupe de Recherche en Didactique de la Physique de l'université de Provence (1985 et 1987, cité par Lounis), pour la transition lycée-université montrent que les élèves et étudiants décrivent une grandeur vectorielle comme « quelque chose qui a une origine, une direction, un sens, une intensité », ou bien « un élément d'un espace vectoriel ». Ils décrivent une grandeur scalaire comme un élément de \mathbb{R} , « un nombre positif, négatif ou nul », ou une « grandeur non vectorielle ». A propos de mouvements dont la vitesse est de norme constante et la trajectoire non rectiligne, ils ont ainsi tendance à considérer qu'une grandeur vectorielle est constante pour peu que son intensité ou sa mesure ne varie pas.

Lounis (1989) montre que les difficultés liées à la composition des forces sont plus importantes que celles sur la comparaison ou l'addition vectorielles. Les critères de comparaison mis en œuvre relèvent d'une perception différenciée des caractéristiques vectorielles ; souvent une seule d'entre elles, bien qu'insuffisante, est prise en compte dans le cadre de conceptions ne couvrant que partiellement le modèle vectoriel (Lounis 1989, p.101). Les élèves ou les étudiants trouvent que deux vecteurs sont égaux alors que seulement leurs modules sont égaux ou bien ils ne prennent en compte que la direction des vecteurs mais pas le sens. D'autres utilisent module et direction ; c'est le sens qui semble être le critère le moins utilisé (Lounis, 1989 ; Genin et al., 1987).

White (1983) a constaté que les élèves ont des difficultés à utiliser les propriétés vectorielles de la vitesse pour faire des inférences. En général les élèves utilisent leurs connaissances de l'arithmétique scalaire pour travailler sur la composition des vitesses. A un niveau plus élaboré, la plupart des élèves et des étudiants présente de sérieuses difficultés pour déterminer la direction de l'accélération ainsi que son module car ils lient l'accélération au changement du module de la vitesse et non pas au changement du vecteur vitesse. Dans le cas où la vitesse est constante en module, ils infèrent que l'accélération est nulle sans examiner une éventuelle modification de la direction. Par contre, ils sont capables de déterminer l'accélération dans le cas typique du mouvement circulaire uniforme. Si l'objet est en mouvement circulaire, ils infèrent que l'accélération est vers le centre sans examiner le module de la vitesse (en reconduisant, sans vérification du domaine de validité, le résultat du mouvement circulaire uniforme) (Labudde et al. 1988).

Quelques études se sont centrées sur la compréhension par les élèves des représentations graphiques de la vitesse. McDermott et al. (1987) rapportent un certain nombre de difficultés rencontrées par les élèves lorsqu'ils font des liens entre les concepts de cinématique, leurs représentations graphiques et les mouvements d'objets réels.

Raisonnement

A travers différents travaux sur le sujet, nous nous centrons sur deux types de raisonnement qu'on peut voir dans le cadre de notre travail : raisonnement naturel et raisonnement aristotélicienne.

Raisonnement naturel

Laurence Viennot (1996), dans *Raisonnement en physique, la part du sens commun*, parle de "raisonnement naturel". Viennot montre que les conceptions ne sont pas toujours des idées communes issues de l'expérience courante, chacune attachée à un domaine particulier de la physique, mais correspondent aussi à des formes de raisonnement relativement homogènes et stables d'un domaine de la physique à l'autre.

Les travaux sur lesquels elle s'appuie sont pratiquement tous effectués auprès d'élèves et d'étudiants ayant déjà subi un enseignement scientifique. C'est à partir des erreurs analysées, en référence aux savoirs scientifiques, que les caractéristiques d'un raisonnement naturel sont établies. Pour Viennot (1996), l'expression "raisonnement

naturel" renvoie "à un ensemble relativement organisé de raisonnements très répandus, généralement tenaces et d'origine non exclusivement scolaire" (p.20) et si elle parle de « raisonnement naturel » au singulier, « ce n'est pas pour signifier qu'il est inné ni encore moins universellement partagé ».

Ce « raisonnement naturel » possède les caractéristiques suivantes :

- tendance à la réduction fonctionnelle ; lorsque, dans l'analyse d'une situation faite dans le cadre de la physique, plusieurs aspects (ou paramètres) évoluent simultanément, la tendance commune est de n'envisager qu'un seul de ces aspects (ou paramètres) à la fois ou d'en confondre plusieurs. L'élève met en œuvre des procédures de réduction fonctionnelle en diminuant le nombre de variables prises en compte.
- séquentialisation ; dans l'analyse que l'élève fait des phénomènes, il a tendance à privilégier une interprétation séquentielle dans le temps en termes d'une histoire de l'objet. Il y a interférence dans les explications du niveau logique et du niveau chronologique. Un tel type de raisonnement est essentiellement local en ce sens qu'il ne prend pas comme objet d'étude un système caractérisé par son état et ses interactions mais une entité (« chaleur », « électricité », « signal »...) qui subit en général un déplacement et qui rencontre des obstacles au cours du celui-ci.
- causalité simple ; le raisonnement linéaire causal repose sur l'utilisation de la causalité simple. Il a été identifié dans les raisonnements spontanés des élèves, des étudiants et enseignants dans l'analyse qu'ils font des évolutions de systèmes « quasi-statiques » dans de nombreux domaines de la physique.

Raisonnement aristotélicien

Les jeunes enfants emploient, spontanément, des raisonnements ayant des traits communs avec ceux qui étaient utilisés avant Galilée. La physique d'Aristote et une analyse aristotélicienne des causes ont dominé la physique jusqu'au début de XVIIe siècle (Kuhn, 1971). Selon Aristote, tout changement, y compris ceux qui sont en train de se produire, a quatre causes : matérielle, efficiente, formelle et finale :

- la causalité matérielle : quand, par exemple, on affirme que le matériau qui constitue un objet est la cause de propriétés ou d'actions de l'objet ; ainsi le bois un isolant « parce que c'est du bois » ;
- la causalité efficiente : une cause produit un effet, par exemple, une bille permet à l'ampoule d'éclairer ou une balle immobile heurtée par une autre balle en mouvement se met en mouvement de la première balle ;
- les causalités formelle et finale : cette dernière s'oppose à la causalité efficiente, ces deux catégories sont souvent utilisées ensemble ; ce type de causalité est utilisé par exemple quand les élèves invoquent la fonction d'un objet pour prédire ou interpréter : parce qu'une cafetière est faite en métal, le métal gardera quelque chose chaud (Tiberghien, 1994, p.76-77).

Raisonnement scientifique

Nous n'aborderons pas ici cet immense champ d'étude. Nous voulons juste noter que dans la séquence d'enseignement Outils, le raisonnement scientifique consistant à partir d'un principe posé comme vrai pour analyser une situation est largement favorisé. Il est donc important de le prendre en compte dans nos analyses.

Chapitre 3 Analyse de la séquence d'enseignement

Nous présentons la séquence de manière générale puis nous faisons une analyse par partie et activités.

La séquence conçue par le groupe Outils a respecté globalement la progression et la cohérence du programme officiel de 1^{ère} S. (voir annexe 1, programme officiel). Cependant, le programme officiel, pour le « mouvement d'un solide indéformable », évoque un solide indéformable et ensuite pour « les forces macroscopiques s'exerçant sur un solide » il considère les déformations. Dans la séquence d'enseignement, le groupe Outils n'aborde pas les déformations pour des raisons de cohérence interne. Il met l'accent sur le concept de système et sa représentation par un point qui n'est pas un modèle adéquat pour étudier la déformation. Pour la force, le programme officiel introduit la force par ses effets (même choix que pour la seconde). En revanche la séquence s'appuie sur celle élaborée pour la seconde où la force est introduite comme un modèle de l'action exercée sur un système.

Notons que le terme « activité » a été utilisé dans la séquence proposée par le groupe outils dans la mouvance de la pratique actuelle de l'enseignement. Du point de vue de la recherche nous devrions utiliser le terme « tâche » mais ce changement de terme aurait amené à trop de confusion, nous conservons donc le terme « activité ».

Présentation d'ensemble de la séquence

La référence de la modélisation choisie dans l'élaboration de la séquence conduit à proposer aux élèves :

la manipulation de modèles qui vont constituer un cadre d'analyse, de description, d'interprétation, de prévision et d'explication.

la confrontation permanente de ce formalisme avec les situations qui mettent en œuvre les objets et les événements.

Dans cette séquence, deux modèles sont proposés : le modèle du mouvement d'un solide et le modèle des lois de la mécanique. Chacun permet d'interpréter le champ expérimental étudié. Le modèle du mouvement d'un solide est présenté successivement selon différents points, l'ensemble du modèle des lois de mécanique est donné en une fois. Dans les deux cas, les élèves devront utiliser ces textes pour modéliser des

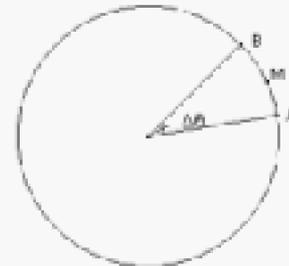
1. Mouvement d'un solide (on se limite aux solides indéformables)

1°) Mouvement de rotation autour d'un axe fixe

Vitesse angulaire

On considère un point M animé d'un mouvement circulaire de centre C par rapport à un référentiel donné.

La vitesse moyenne angulaire du point M lorsqu'il passe d'un point A à un point B est égale au quotient de l'angle θ balayé par le rayon CM lorsque le point passe de point A et B par la durée Δt qu'il met pour aller de A à B .



$$\omega = \frac{\theta}{\Delta t} \quad \text{On l'exprime en radians par seconde (rad.s⁻¹).$$

Relation entre la vitesse v et la vitesse angulaire ω (à compléter après l'activité 4)

2°) Mouvement de translation

On admet un mouvement de translation et seulement si, à un même instant, tous ses points ont la même vitesse

Tableau 2 : modèle Forces et mouvements

Forces et Mouvement

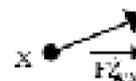
Force et somme des forces

Quand un système X est en interaction avec un système A , on appelle *force exercée par A sur X* l'action de A sur X .

Pour représenter une force, on représente souvent le système sur lequel elle s'exerce par son centre d'inertie auquel on attribue la masse du système.

On fait figure ensuite la force exercée par A sur X par le représentant d'un vecteur accompagné du symbole ci-contre et dont les caractéristiques sont les suivantes :

- son origine est le point représentant le système ;
- sa direction et son sens sont ceux de la force ;
- sa longueur est proportionnelle à l'intensité de la force.



L'ensemble des forces exercées par différents systèmes sur le système X est équivalente à une force unique qui s'exerce sur le système X . Cette force unique s'appelle *somme des forces*.

Le vecteur qui représente cette force unique est la somme des vecteurs représentant chacune des forces. L'origine de tous ces vecteurs est au point représentant le système X .

Principe d'inertie ou premier loi de Newton

Par rapport à certains référentiels :

- si la vitesse du centre d'inertie d'un système est un vecteur constant alors la somme des forces qui s'exercent sur le système est nulle ;
- si la somme des forces qui s'exercent sur un système est nulle alors la vitesse du centre d'inertie du système est un vecteur constant.

De tels référentiels sont appelés « référentiels galiléens ».

Pour la plupart des situations que nous étudions, la Terre pourra être considérée comme un référentiel galiléen.

Relation de la dynamique ou deuxième loi de Newton

Lorsque le mouvement d'un système est étudié par rapport à un référentiel galiléen :

- si la somme des forces qui s'exercent sur ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle ;
- si la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle alors la vitesse du centre d'inertie varie.

La variation de la vitesse du centre d'inertie calculée sur un intervalle de temps de faible durée et la somme des forces qui s'exercent sur le système pendant cet intervalle sont colinéaires et de même sens.

Principe des actions réciproques ou troisième loi de Newton

Quand deux systèmes A et X sont en interaction, la force exercée par A sur X et la force exercée par X sur A ont des intensités égales et des sens opposés.

Une interaction est modélisée par deux forces qui sont, pour toutes les situations et dont tout les cas, d'intensité égales et de sens opposés. Les vecteurs qui les représentent sont sur la même droite.

Tableau 2 : modèle Forces et mouvements

Dans le cadre de ces deux modèles, les situations expérimentales présentent les propriétés suivantes. Elles font partie de l'univers empirique quotidien des élèves, elles concernent un petit nombre d'objets et d'événements généralement familiers ; ainsi, elles ne nécessitant pas pour les élèves un long moment d'appropriation. Les élèves peuvent sans difficulté décrire et fournir des explications sur ces situations même avant tout enseignement de mécanique. Ces explications pourront, suivant les élèves et suivant les situations, venir contredire les explications construites dans le cadre du modèle.

Analyse par parties et activités

La séquence est composée de deux parties associées à chacun des modèles : mouvement d'un solide et lois de la mécanique. Dans chaque partie, cinq activités d'enseignement sont proposées (voir tableau 3).

Tableau 3: Les activités d'enseignement

Partie	Activité	
P1 Mouvement d'un solide indéformable	1	Etude du mouvement d'une bille
	2	Analyser le mouvement d'un skieur de fond
	3	Détermination d'un point d'un solide dont le mouvement est plus simple à étudier
	4	Quelle nouvelle grandeur définir pour décrire le mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe ?
	5	Mouvement de translation pour un solide
P2 Forces et mouvement	1	Lancer et réception d'un médecine-ball
	2	Variation de la vitesse du centre d'inertie d'un projectile
	3	Modèle des lois de la mécanique appliqué à un jouet retenu par un fil
	4	Pousser sur un mur
	5	Utilisation (inhabituelle) d'un pèse-personne

Nous détaillons les deux modèles proposés, ainsi que les activités organisées pour les élèves impliquant leur utilisation.

Partie 1 « Mouvement d'un solide »

Les cinq activités proposées mettent l'accent particulièrement sur la conceptualisation de la vitesse instantanée et de la vitesse angulaire. Cela nécessite de distinguer la vitesse instantanée de la vitesse moyenne ainsi que d'établir des relations entre la vitesse angulaire et la vitesse instantanée. Ces concepts doivent être mis en œuvre pour différents types de mouvement. Le tableau 4 présente la structure de cette partie 1.

Tableau 4 : Structure de la partie 1, mouvement d'un solide

Activités	Objets, Evénements	Eléments de Modélisation
Etude du mouvement d'une bille	Une bille Mouvement rectiligne à vitesse uniforme	Système Point matériel Trajectoire Vitesse instantanée d'un point d'un solide Vitesse constante Mouvement rectiligne uniforme
Analyser le mouvement d'un skieur de fond	Un skieur Mouvement quelconque	Système Point matériel Trajectoire Vitesse moyenne Vitesse instantanée d'un point d'un solide
Détermination d'un point d'un solide dont le mouvement est plus simple à étudier	Une plaque rectangulaire Mouvement parabolique Une plaque de forme quelconque Mouvement parabolique	Système Point matériel Trajectoire Centre d'inertie Centre de gravité
Quelle nouvelle grandeur définir pour décrire le mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe ?	Une règle Mouvement circulaire Mouvement de rotation	Système Mouvement de rotation Vitesse angulaire Relation entre vitesse instantanée et vitesse angulaire
Mouvement de translation pour un solide	Une personne, un planeur Mouvement de translation	Mouvement de translation Vitesse instantanée d'un point d'un solide

· **Activité 1 Etude du mouvement d'une bille**

Cette activité (voir texte annexe 2) a pour objectif d'introduire la vitesse instantanée et la représentation vectorielle de cette vitesse. Notons que la définition quantitative de la vitesse instantanée comme une limite n'est pas introduite.

Cette activité comporte deux parties. Dans un premier temps, les élèves font une expérience, il s'agit d'effectuer des mesures de temps et de distance pour une bille qui roule sur une gouttière et d'exploiter chaque série de mesures. Dans un deuxième temps, les élèves doivent utiliser les points 1, 2 et 3 du modèle du mouvement d'un solide (tableau 1). Les élèves doivent ainsi faire des va-et-vient entre l'expérience, les mesures et le modèle.

· **Activité 2 Analyser le mouvement d'un skieur de fond**

Dans cette activité, il s'agit d'analyser le mouvement d'un skieur, en exploitant les positions d'un skieur à intervalles de temps constant. Pour la vitesse instantanée, il s'agit de l'introduction du passage à la tangente de la trajectoire.

· **Activité 3 Détermination d'un point d'un solide dont le mouvement est plus simple à étudier**

Il s'agit de l'introduction du centre d'inertie et de la détermination de celui-ci en utilisant

des objets lancés en l'air. Le but est de faire comprendre que d'une part on simplifie l'étude du mouvement, et que d'autre part en réduisant le solide à son centre d'inertie entraîne une perte d'information sur son mouvement. Pour cette activité les élèves disposent du point 4 du texte du modèle du mouvement d'un solide (tableau 1).

- Activité 4 Quelle nouvelle grandeur définir pour décrire le mouvement de rotation d'un solide autour d'un axe fixe ?

Il s'agit de l'introduction de la vitesse angulaire et d'établir la relation entre la vitesse instantanée et la vitesse angulaire. Pour la première fois les élèves mettent en œuvre la vitesse instantanée dans le cas d'un mouvement circulaire, ils doivent donc faire des constructions vectorielles. C'est une occasion pour eux de renforcer les notions de direction et de sens de la vitesse instantanée.

Les élèves doivent également enrichir leur notion de mouvement : ils doivent construire le mouvement de rotation autour d'un axe fixe à partir du mouvement circulaire. Ils doivent ensuite compléter le modèle pour la définition du mouvement de rotation.

En ce qui concerne la vitesse angulaire, les élèves apprennent à la calculer à partir de la définition donnée dans le texte du modèle. Ils doivent également faire la relation entre vitesse angulaire et vitesse instantanée et compléter le texte du modèle.

- Activité 5 Mouvement de translation pour un solide

Cette activité demande aux élèves de partir d'une définition théorique du mouvement de translation et de proposer des exemples. Les élèves doivent également mettre en œuvre des représentations vectorielles de la vitesse. Ils sont ensuite amenés à sélectionner parmi une variété de mouvements, les mouvements de translation en justifiant cette sélection par des éléments théoriques.

Partie 2 - Forces et mouvements

Cette deuxième partie, qui porte sur les lois de la mécanique, met l'accent sur « la somme des forces est dans le sens de variation de vitesse ». Dans les deux premières activités, cette relation entre force et variation de la vitesse doit être mise en œuvre dans le cas d'un mouvement rectiligne et d'un mouvement parabolique. Avec la troisième activité les élèves abordent le cas du mouvement circulaire en lien avec les forces ; ils doivent également mettre en œuvre les conclusions établies lors des deux premières activités. La quatrième activité demande de mettre en œuvre l'ensemble des lois de la mécanique ; la dernière activité porte sur le concept de système. Pour les cinq activités, les élèves disposent de la totalité du texte du modèle (tableau 2). Le tableau 5 présente la structure de cette partie.

Tableau 5 : Structure de la partie 2 forces et mouvements

Activités	Objets, Evénements	Eléments de Modélisation
Lancer et réception d'un médecine-ball	- Un médecine-ball - Mise en mouvement - Mouvement rectiligne accéléré, ralenti	- Système - Point matériel - Inventaire des forces - Somme des forces - Inventaire de vitesse - Variation de la vitesse - Variation de la vitesse <input type="checkbox"/> Non-compensation des forces
Variation de la vitesse du centre d'inertie d'un projectile	- Une balle - Mouvement parabolique	- Point matériel - Inventaire de forces - Variation de la vitesse - Variation de la vitesse <input type="checkbox"/> Non-compensation des forces
Modèle des lois de la mécanique applique un jouet retenu par un fil	- Un petit véhicule - Mouvement rectiligne-uniforme - Mouvement circulaire	- Système - Point matériel - Inventaire des forces - Somme des forces - Vitesse <input type="checkbox"/> Compensation des forces - Variation de la vitesse <input type="checkbox"/> Non-compensation des forces
Pousser sur un mur	- L'élève - Immobilité - l'élève+une planche à roulettes - Mise en mouvement	- Système - Point matériel - Inventaire des forces - Somme des forces - Point matériel - Non-variation de la vitesse <input type="checkbox"/> Compensation des forces - Point matériel - Somme des forces - Variation de la vitesse <input type="checkbox"/> Non-compensation des forces
Utilisation (inhabituelle) d'un pèse-personne	- L'élève+un bâton+ un pèse-personne - Immobilité	- Système - Principe des Actions Réciproques

- Activité 1 Lancer et réception d'un médecine-ball

Lors de cette activité, les élèves doivent :

- déterminer les moments où les élèves exercent une action sur le médecine-ball, le sens et la direction de celle-ci et découper le mouvement en différentes phases en précisant, pour chacune, l'évolution de la vitesse ;
- représenter les forces exercées sur le médecine-ball au cours des quatre phases du mouvement ainsi que le vecteur vitesse.
- faire un premier lien, dans le cas d'un mouvement rectiligne, entre le sens de la somme des forces qui s'exercent sur un système et la variation de la valeur de la vitesse du système ; il s'agit de lutter contre une erreur classique consistant à considérer que, pour qu'il y ait mouvement, il faut qu'une force s'exerce dans le sens du mouvement ;

Le savoir visé porte sur la relation entre la variation de la vitesse et la somme des forces exercées sur le système. La situation à étudier est choisie pour que les élèves n'aient pas à faire une composition vectorielle complexe (une seule direction est en jeu). La variation de la vitesse est décrite en termes « qualitatifs » comme augmente, diminue, reste

pareille.

- Activité 2 Variation de la vitesse du centre d'inertie d'un projectile

Dans cette activité le mouvement est parabolique ; c'est la première fois que les élèves doivent faire appel à une représentation vectorielle de la variation de la vitesse et c'est également la première fois qu'ils établissent une relation entre le vecteur variation de la vitesse et le vecteur force, une seule force étant appliquée (le poids).

- Activité 3 Modèle des lois de la mécanique appliqué à un jouet retenu par un fil

Ici le mouvement est circulaire. Cette activité ne demande pas aux élèves de mettre en œuvre de nouveaux concepts, mais c'est la première fois que les élèves doivent composer des forces multidirectionnelles pour mettre en relation leur somme avec la variation de la vitesse (les 3 forces appliquées au système : le poids, le sol, le fil ont des directions différentes). C'est la dernière activité pour laquelle la relation de colinéarité et de sens entre le vecteur somme des forces et le vecteur variation de la vitesse est établie.

- Activité 4 Pousser sur un mur

Les élèves doivent pour la première fois étudier les lois de la mécanique pour une situation où les objets sont immobiles et où il y a une mise en mouvement. Cette activité met aussi en jeu le principe des actions réciproques. Les élèves doivent donc à la fois utiliser ce principe, le principe d'inertie et la relation fondamentale (entre variation de vitesse et somme des forces).

- Activité 5 Utilisation (inhabituelle) d'un pèse-personne

Cette activité fait travailler les élèves sur le choix du système. C'est la première fois que les élèves ont l'initiative du choix du système, dans les activités précédentes le système était imposé. Cette situation n'a pas été analysée (voir données récoltées).

Analyse liés aux représentations sémiotiques

Dans la séquence, les élèves sont amenés à mettre en œuvre différents types de registres sémiotiques et différentes activités internes aux registres sémiotiques.

On distingue généralement quatre registres différents

- représentation symbolique (symboles v , w , $F_{A/X}$... et formules mathématiques)
- représentation graphique
- représentation vectorielle (la vitesse, la force)
- représentation langage naturel

Nous présentons succinctement les registres utilisés dans l'enseignement.

Représentation d'un système par un point

Dans la séquence, le système est représenté par un point, il s'agit d'une représentation graphique. Le champ expérimental de référence du modèle ne comprend pas de situations de déformation.

Représentation vectorielle de la vitesse instantanée

Dans le texte du modèle, la représentation vectorielle de la vitesse instantanée a été illustrée. Cette illustration montre que la représentation de la vitesse instantanée met en jeu trois registres différents ainsi que le langage naturel (voir tableau 1 point I,2) :

- langage symbolique : v , AB , Δt , $m.s^{-1}$, m/s
- une formule algébrique : $v = AB/\Delta t$
- un schéma qui indique à la fois la représentation vectorielle de la vitesse instantanée et le sens du mouvement,
- langage naturel : la direction, le sens, la valeur et les conditions d'application ce vecteur, ont été décrit en langage naturel.

Représentation de la vitesse angulaire

Dans le texte du modèle, la vitesse angulaire a été définie (voir tableau 1 point II, 1) .

La vitesse angulaire a été illustrée en utilisant trois registres différents ainsi que le langage naturel :

- langage symbolique : α , $\Delta\alpha$, Δt , $rad.s^{-1}$
- une formule algébrique : $\alpha = \Delta\alpha / \Delta t$
- un schéma qui indique à la fois la représentation vectorielle de la vitesse instantanée et le sens du mouvement, $\Delta\alpha$, M , A , B
- langage naturel : la définition, le type de mouvement et les relations entre la définition de la vitesse angulaire et le schéma ont été donnée en langage naturel.

Représentation vectorielle de force

Dans le texte du modèle, la force est définie et représentée par un vecteur (tableau 2). Pour la représentation vectorielle de la force, 3 registres sémiotiques ont été utilisés :

- langage symbolique , \vec{F}_{AX} .

- représentation vectorielle, et la direction, le sens, la valeur,
- représentation du système par un point qui a été décrite en langage naturel.

Le diagramme système - interaction

L'intérêt principal des diagramme système-interactions est d'effectuer une partition de la

réalité expérimentale en systèmes en vue de faire le recensement des interactions de contact et à distance dans lesquelles est impliqué le système en jeu (Dumas-Carré et Goffard, 1997, Guillaud, 1998) .

Dans le diagramme d'interaction, le système est représenté et conceptualisé selon les interactions qu'il entretient avec les systèmes qui l'environnent. Le système n'est représenté que dans son rapport à l'extérieur et délimité mentalement par une espèce d'enveloppe séparant l'intérieur de l'extérieur du système (Tenneignan et Weil Barais, 1993, p 43, Guillaud, 98, p 107) Dans le cadre du modèle, un système est représenté par une « bulle », le nom du système est écrit à l'intérieur de la bulle  Toute interaction est représentée par une double flèche joignant deux bulles, chaque fois qu'il y a contact entre deux systèmes,

l'interaction est représentée par une double flèche en traits pleins < > une interaction à distance est, quant à elle représentée en pointillés 

Les Passages entre différents registres

Dans la séquence, nous demandons de réaliser les transformations concernant l'activité de traitement ou l'activité de conversion. Un traitement est une transformation qui s'effectue à l'intérieur d'un même registre, celui dont les règles de fonctionnement sont utilisées : un traitement ne mobilise qu'un seul registre de représentation.

Concernant le traitement, il s'agit de la représentation vectorielle de la variation de la vitesse, la représentation de la somme de force et la représentation de la composition des forces.

Concernant la conversion, dans le cadre de la séquence, il s'agit de conversion entre plusieurs types de registres et la langue naturelle :

- la représentation vectorielle des forces et la symbolisation de $F_{A/B}$ (La symbolisation $F_{A/}$ avec le double indicage, qui oblige à se poser la question de savoir qui exerce une force et sur quoi)
- la représentation vectorielle des forces et la langue naturelle.

Partie C. Méthodologie

Introduction

Dans cette partie, il s'agit de présenter la méthodologie utilisée au cours de notre étude et de montrer les liens entre la méthodologie employée et nos questions de recherches.

Rappelons que notre objectif est d'étudier les processus d'évolution conceptuelle des élèves au cours d'une séquence d'enseignement. Pour cela nous avons choisi une méthodologie d'étude de cas avec une perspective de description. Comme nous l'avons montré dans le cadre théorique, les connaissances actuelles sur l'évolution des élèves au cours d'un enseignement sur une période de temps de quelques semaines nécessite encore de construire des moyens de caractérisation de l'évolution des connaissances des élèves. Nous nous situons dans cette perspective (Becu-Robinault 1997, Buty 2000, Givry 2004).

Nous décrivons les méthodologies de recueil, de traitement et d'analyse de données.

Recueil des données

Nous présentons tout d'abord le contexte de ce recueil, le choix des élèves puis les données récoltées.

Contexte

Les données ont été récoltées dans une classe de première scientifique d'un lycée lyonnais. Il s'agit d'un lycée d'enseignement général et technique (LEGT). Cet établissement a au total 1500 élèves. Il comporte une section d'enseignement professionnel (SEC) d'environ 500 élèves, un lycée d'environ 600 élèves, des classes préparatoires et des BTS d'environ 200 élèves. Le nombre de garçons est très majoritaire dans ce lycée. Ce lycée se situe dans une zone d'immeubles et de pavillons.

Les élèves de la classe observée sont âgés de 15-16 ans. Il y avait 25 élèves. Du point de vue du professeur le niveau de la classe était bon.

Notre observation a duré pendant l'enseignement de la mécanique soit 3 semaines (4h30 par semaine). Cet enseignement correspond au programme officiel, mais il s'appuie sur une séquence conçue par le groupe « Outils » regroupant des enseignants et des chercheurs de notre équipe de recherche.

Traditionnellement, dans l'enseignement de la physique au lycée, l'organisation des séances est différente quand les élèves travaillent en classe entière ou en demi-classe. Dans l'enseignement habituel, en classe entière, le professeur fait cours avec une présentation plutôt magistrale, les élèves travaillent peu souvent en binômes ; en revanche les travaux pratiques se font en demi-classe par binômes. Cette pratique n'est pas celle du professeur de la classe observée. Celui-ci fait partie du groupe Outils qui a conçu la séquence. Il suit les choix faits par les concepteurs de la séquence qui rompent avec cette tradition de cours et de travaux pratiques. Le professeur garde tout le temps le même type d'organisation de la classe en mettant en jeu un cycle "travail en binôme - correction en classe entière – travail en binôme". De fait, au cours de la séquence d'enseignement observée, les élèves de cette classe ont travaillé en binôme (sauf l'activité 1 de partie 1, les élèves ont travaillé en quatre). Une activité (n°2 de la partie 2) a été réalisée en classe entière.

Le professeur de la classe observé enseigne dans ce lycée depuis longtemps, il a une très grande expérience professionnelle et de plus, il a une connaissance approfondie de la didactique de la physique.

Choix des élèves

Pour cette étude nous nous sommes limités à un binôme d'élèves. Nous avons choisi ce binôme avec la collaboration du professeur. La prise de donnée ayant commencé au tout début de l'année scolaire, le professeur ne connaissait pas les élèves. Nous avons alors suivi la procédure suivante : juste une séance avant de commencer la prise de données, le professeur a expliqué le but de notre recherche et a demandé clairement des élèves volontaires pour être filmés. Les élèves ont formé les binômes eux-mêmes, comme c'est l'habitude avec ce professeur.

La prise de données en situation naturelle, ici filmer des élèves dans une classe réelle conduit à des difficultés comme l'absence de l'élève, le changement de la classe, les changements entre les binômes ; le manque de temps pour l'installation de caméras

(le mardi et le jeudi nous avons 5 minutes pour l'installation entre le cours de physique et les autres cours), etc.. De fait, nous avons rencontré une difficulté, à la fin de la 5^{ème} séance, l'élève N du binôme filmé a dû quitter la classe pour des raisons d'organisation liées aux langues choisies (en raison du changement de l'heure du cours d'allemand). Un autre élève A l'a remplacé.

Prise de données

L'utilisation des caméras dans une classe réelle pose des questions méthodologiques concernant leurs effets sur le climat de la classe et sur le binôme enregistré. En classe entière le binôme filmé était devant, alors qu'en demi-classe il était au fond.

Notre choix de garder la caméra fixe, sans une personne qui soit en permanence derrière la caméra, vise à limiter l'influence de cette prise de données. Il faut cependant noter que nous avons bougé la caméra quand l'un des deux élèves du binôme filmé était un tableau.

Nous étions présent dans la classe au cours de la prise de données comme un observateur passif. Nous ne sommes pas intervenu auprès des élèves.

Données récoltées

Au cours de la séquence d'enseignement, nous avons filmé un binôme pendant 3 semaines (4h 30 h par semaine). Les dates et les durées des séances d'enseignement sont données dans le tableau 1. A la fin de chaque séance nous avons photocopié les productions écrites des élèves observés. Nous leur avons demandé de ne pas gommer leurs productions écrites mais, plusieurs fois, nous n'avons pas eu de copies avec des productions erronées simplement rayées.

Tableau 2 : Les dates et les durées de la séquence (* CE : classe entière, DE : demi-classe).

Numéro séances	Org. Classe*	Date	Durée Prévue	Durée Réelle	Partie	Binômes
1	D C	12/09/01	2h	01:48	P1	NL
2	CE	13/09	1h 30	01:18	P1	NL
3	CE	18/09	1h	00:44	P1	NL
4	DC	19/09	2h	01 : 24	P2	NL
5	CE	20/09	1h 30	00 : 54	P2	NL
6	CE	25/09	1h	00 : 47	P2	AL
7	DC	26/09	2h	01 : 53	P2	AL
8£	CE	27/09	1h 30	01 : 22	P2	AL
9	CE	2/10	1h	00:43	P2	AL

En résumé, pour cette étude, nous avons récolté:

- 13 heures 30 minutes d'enregistrement ;
- les productions écrites des élèves pour toutes les activités de la séquence (voir

annexe 5) ;

- les textes des activités et les textes des modèles distribués aux élèves (annexe 2).

Traitement des données

Le traitement des enregistrements vidéo a été réalisé en deux étapes. La première étape consiste à transcrire les productions verbales ainsi qu'une partie des productions non-verbales, para-verbales, des élèves. La deuxième étape porte sur le découpage de cette transcription que nous appelons périodisation (Buty, 2000) et que nous présentons ci-dessous.

Transcriptions

Nous avons choisi de transcrire toutes les séances d'enseignement. Nous avons utilisé les critères déterminés au sein de l'équipe Coast donnés dans l'annexe 3, le choix des critères s'appuie très largement sur le travail de Traverso (1999). Nous expliquons brièvement la structure de nos transcriptions.

Nous avons choisi de transcrire toutes les productions (verbale, non-verbale, para-verbale) des élèves sauf pour les moments où les élèves parlent de sujets hors tâche : vacances, autres élèves, autres cours, etc. Quand nous ne transcrivons pas, nous l'avons noté : [...]. En général, pour transcrire 15 min d'enregistrement, on met 2 h.

Au cours des phases de travail en binôme au sein d'une classe : le professeur parle avec les autres élèves, les autres élèves parlent entre eux, le professeur parle à la classe afin de rappeler le temps, le fonctionnement du groupe, la façon de rédiger etc. Nous ne prenons pas en compte tous ces événements dans la transcription.

Du fait de nos choix pour le positionnement des caméras (caméra fixe sauf, lors de la phase de correction, quand l'un de deux élèves du binôme est un tableau) il n'est pas toujours possible de comprendre toutes les paroles de professeur (quand il parle un peu loin de caméra) ou de discriminer les différents élèves qui parlent au cours de la correction. C'est pourquoi, dans les transcriptions nous avons utilisé « E » pour désigner tous les autres élèves de la classe.

Toutes les transcriptions sont présentées sous forme de tableau qui consiste en quatre colonnes (tableau 2):

- numéro du tour de paroles (de 0 à n) : un numéro pour chaque changement de locuteur ;
- temps (en minutes) : temps indiqué toutes les minutes, 00:00 pour le tour de parole 0,
- locuteur : chaque locuteur a un acronyme par exemple N, L, P etc. ;
- récepteur(s) : chaque récepteur a un acronyme, quand le locuteur s'adresse à plusieurs récepteurs en même temps, on indique tous les récepteurs en les séparant par une virgule ou on définit des notations pour les groupes (par exemple C pour classe entière, Es pour plusieurs élèves). ;

- dialogues, productions vocales et autres productions sonores, gestes.

Tableau 3 : exemple d'un tableau de transcription

Numéro du tour de parole	Temps (min)	Locuteur	Récepteur(s)	Dialogues, productions vocales et autres productions sonores, gestes
0	00:00	A	B	
.....	
n	21:37	B	A, C	

Nous avons mis l'ensemble des transcriptions dans l'annexe 3.

Découpage

Le découpage des transcriptions est un traitement des données qui est directement en lien avec nos hypothèses de recherche, en particulier celle relative aux différentes échelles de temps sur lesquelles nous étudions les changements dans les connaissances mises en jeu dans les verbalisations des élèves (H3). Cette hypothèse considère qu'en situation, les élèves mobilisent leurs connaissances dans un temps court (de l'ordre de la seconde) et qu'on peut ainsi trouver de changements internes à l'unité la plus petite de notre découpage ou entre unité.

Notre découpage doit donc permettre d'étudier les changements à des échelles de temps courtes de façon à pouvoir étudier l'évolution à l'échelle de la séquence.

Pour cela, l'outil employé est « la périodisation » inspiré par le travail de Buty (2000). Nous partons tout d'abord de la structure du savoir proposé dans la séquence d'enseignement du groupe Outils qui a été suivie par le professeur. Cette séquence comporte deux parties, la partie 1 « mouvement d'un solide indéformable » et la partie 2 « forces et mouvement ». Au sein de cette séquence d'enseignement, 9 séances d'enseignement ont été mises en oeuvre. La figure 1, donne l'exemple de la structuration de la partie 2 jusqu'au niveau de chaque activité.

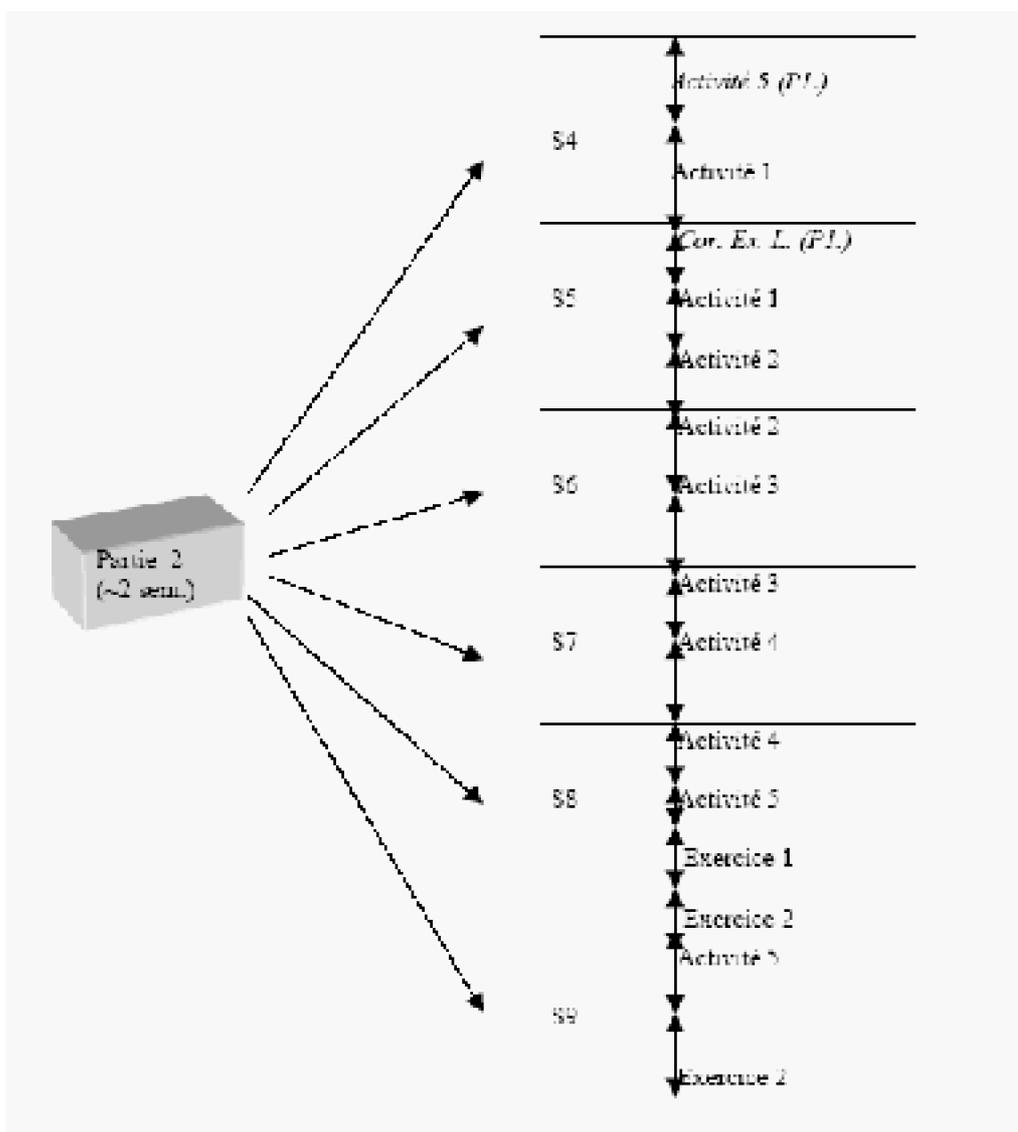


Figure 7 : La structuration jusqu'au niveau activité au sein d'une partie (partie 2)

Cette structuration se fait sous la responsabilité de l'enseignant.

Pour le découpage au sein de chaque activité, nous avons choisi deux niveaux : l'épisode et l'étape.

L'épisode est défini par rapport à la progression proposée en général par une série de questions dans la consigne d'une activité. Chaque épisode a un but précis au cours de réalisation de l'activité ; ce but est donné par la consigne.

L'étape est définie par rapport aux progressions du binôme d'élèves au sein d'un épisode. La détermination d'une étape est faite en utilisant à la fois les transcriptions et les enregistrements vidéo. Nous avons utilisé trois critères : premièrement les interlocuteurs, quand il y a un changement d'interlocuteur, nous sommes passés à une autre étape ; deuxièmement le thème, dès qu'il y a un changement de thèmes nous sommes passés à une autre étape en essayant de tenir compte du sens donné par le contexte. Troisièmement, si c'est nécessaire, dans le cas d'étapes très longues (plus de

20-25 tours de paroles), nous avons regardé les tâches réalisées par les élèves : lire, écrire, manipuler. La durée d'une étape est de l'ordre de la minute.

Dans sa thèse, Buty (2000) met l'accent sur l'importance du passage entre les différents niveaux. Pour lui « il faut insister sur le basculement que constitue le passage entre activité/épisode et étape: la succession des activités, et des épisodes à l'intérieur d'une activité, reflète la façon dont l'enseignant planifie la progression de son enseignement ; la succession des étapes à l'intérieur d'un épisode reconstruit la façon dont l'élève traite le problème pour répondre à ce qu'on lui demande de faire (ou plus exactement à ce qu'il pense qu'on lui demande de faire). La plupart du temps, l'enseignant n'a qu'une connaissance assez vague de cette succession d'étapes, parce qu'il doit gérer sa classe tout entière et ne peut assurer la continuité du suivi d'un seul groupe » Buty (2000, p.84).

Nous reprenons à notre compte cette analyse. Ainsi le niveau activité est sous l'initiative de professeur. Par contre, même si les épisodes sont définis a priori avant l'enseignement par les questions, le passage d'un épisode à un autre peut montrer quelques différences. En général, ce passage est sous l'initiative du professeur, mais par exemple quand les élèves traitent ensemble deux questions ou modifient l'ordre des questions, il est sous l'initiative de l'élève ou du binôme. Le passage d'une étape à une autre est sous l'initiative de l'élève, sauf en cas d'intervention d'un tiers concernant le contenu.

Les étapes sont les éléments de base pour lesquels nous déterminons des changements. Comme nous l'avons précisé dans le cadre théorique, nous caractérisons ces changements à partir des facettes. Nous précisons ci-dessous comment les facettes ont été élaborées.

Construction de la liste des facettes

Nous avons construit une liste de facettes pour chacun des types de connaissances : conceptuelles, sur le monde matériel, langagières, liées aux représentations symboliques ainsi que les processus généraux.

Cette liste est essentielle pour uniformiser nos constructions sur les connaissances en jeu. Elle permet

- à une même échelle de temps, de comparer entre étapes les connaissances mobilisées par un même élève ou par différents élèves ;
- pour différentes échelles de temps, de passer d'un changement observé à l'intérieur d'une étape à une évolution sur une échelle de temps plus grande (activité, séance ou séquence).

La construction de cette liste est à la fois théorique et empirique. Tout d'abord nous avons défini des groupes de facettes que nous appelons « grandes facettes » à partir d'une analyse épistémologique du savoir à enseigner correspondant à la séquence d'enseignement « outils » (voir chapitre précédent). Au sien de chaque « grande facette »,

nous avons construit une liste de facettes.

Grandes facettes

La séquence d'enseignement (analysée dans la partie précédente) a montré que, pour chacune des deux parties, les activités proposées aux élèves étaient élaborées autour d'un modèle théorique. Les grandes facettes ont été construites à partir de ces textes.

Facettes

Ces facettes sont directement liées aux connaissances mobilisées / construites par les élèves. Pour construire cette liste nous avons procédé tout d'abord de manière théorique au sens où nous avons listé les connaissances à utiliser pour réaliser les activités proposées en nous basant sur les textes des modèles. Bien évidemment, les élèves peuvent mobiliser d'autres connaissances, nous avons alors procédé de manière empirique. Pour ajouter une facette à partir des productions verbales des élèves nous avons pris trois critères : (1) la production de l'élève ne doit pas relever d'un simple fait, mais doit correspondre à un des types de connaissances que nous avons choisis (conceptuelles, représentationnelles,...) ; (2) la production de l'élève doit pouvoir être liée à une grande facette, il s'agit d'un contrôle interne : (3) la production de l'élève ne doit pas être trop spécifique, la facette construite doit pouvoir correspondre à d'autres productions verbales, ce critère est économique il faut empêcher l'alourdissement de la liste.

Chaque facette de la liste est numérotée et repérée par rapport à la grande facette à laquelle elle appartient. Les tableaux 3 et 4 donnent la liste des facettes pour chacune des deux parties cinématique et dynamique

Partie 1 : Facettes-Cinématique

- Mouvement
 - C-1 Un objet est en mouvement quand l'objet ou une partie de l'objet bouge
 - C-2 Un objet est en mouvement quand l'objet se déplace
 - C-3 Un objet est en mouvement quand l'un des points de l'objet se déplace
 - C-4 Un objet ne peut pas être en mouvement si il n'y a pas une cause (moteur, force etc.)
 - C-5 Le mouvement est une caractéristique d'un objet
 - C-6 Un objet ne peut pas à la fois être immobile et en mouvement
 - C-7 L'objet en mouvement a une direction
 - C-8 L'objet en mouvement a un sens

- Référentiel
 - C-11 Un référentiel est un objet qui permet de repérer les positions successives

d'un point d'un solide dont on étudie le mouvement

- C-12 Le mouvement d'un objet est pareil pour tous les référentiels
- C-13 La distance est la même pour tous les référentiels
- C-14 La trajectoire est la même pour tous les référentiels
- C-15 La valeur de la vitesse est pareille pour tous les référentiels
- C-16 Le vecteur vitesse est pareil pour tous les référentiels

· Trajectoire

- C-21 La trajectoire d'un point du solide est l'ensemble des positions occupées par le point au cours de son mouvement.
- C-22 La trajectoire est le chemin suivi par l'objet
- C-23 L'ensemble des positions occupées par le centre de gravité est la trajectoire de l'objet
- C-24 La distance est l'intervalle d'espace qui sépare deux points distincts à un instant donné
- C-25 Un objet ne peut pas avoir deux trajectoires différentes

· Les types de mouvement (quand l'élève raisonne en termes du point)

- C-31 Le mouvement du point est rectiligne quand sa trajectoire est une droite
- C-32 Le mouvement du point est rectiligne quand son vecteur vitesse garde la même direction
- C-33 Le mouvement du point est circulaire quand sa trajectoire est un cercle.
- C-34 Le mouvement du point est circulaire quand sa trajectoire est une portion de cercle.
- C-35 Le mouvement du point est uniforme quand la valeur de sa vitesse ne change pas.
- C-36 Le mouvement du point est rectiligne uniforme quand son vecteur vitesse est constant

· Les types de mouvement (quand l'élève raisonne en termes de l'objet)

- C-41 Dans un mouvement rectiligne uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas
- C-42 Le mouvement de l'objet est rectiligne quand son vecteur vitesse garde la même direction
- C-43 Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas
- C-44 Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse de l'objet varie

- C-45 Dans un mouvement circulaire uniforme la valeur de la vitesse ne varie pas
- C-46 Le mouvement de l'objet est uniforme quand la valeur de sa vitesse ne change pas.
- C-47 Le mouvement de l'objet est rectiligne uniforme quand son vecteur vitesse est constant
- C-48 Le mouvement du solide est un mouvement de translation quand, au même instant, tous les points du solide ont le même vecteur vitesse
- C-49 Le mouvement du solide est un mouvement de rotation autour d'un axe fixe quand la trajectoire de tous les points de ce solide est un cercle
- C-50 Le mouvement de l'objet est circulaire quand sa trajectoire est un cercle (ou l'inverse)
- C-50-a Le mouvement d'objet est rectiligne quand sa trajectoire est une droite
- C-50-b Dans un mouvement rectiligne uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas
- C-50-c Dans un mouvement uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas
- C-50-d Dans un mouvement circulaire uniforme le point de l'objet parcourt la même distance en même temps
- C-50-e Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse varie quand la direction de la vitesse change, ça veut dire que la vitesse varie
- C-50-f Dans un mouvement circulaire, le longueur des vecteurs de la variation de la vitesse sont pareils

· Le centre d'inertie

- C-51 Le centre d'inertie d'un objet est le point dont le mouvement par rapport à la Terre est plus simple que celui des autres points
- C-52 Le centre d'inertie d'un objet est confondu avec le centre de gravité du solide.
- C-53 Le centre de gravité fait un mouvement plus simple qu'autres points d'un objet
- C-54 Le centre de gravité se trouve toujours dans le centre géométrique de l'objet
- C-55 Le centre de gravité ne se trouve pas toujours dans le centre géométrique de l'objet
- C-55b Le centre de gravité se trouve dans le centre géométrique de l'objet si la forme de l'objet n'est pas très loin de la forme originale de l'objet
- C-56 Quand on a fait tourner l'objet, il tourne autour du centre de gravité
- C-57 Quand on représente l'objet par le centre de gravité on perd le mouvement propre à l'objet

· La vitesse moyenne

-
- C-61 La vitesse moyenne est la longueur de la trajectoire divisée par la durée mise pour parcourir cette trajectoire
 - C-62 La vitesse moyenne est la distance divisée par la durée mise pour parcourir cette distance (la distance entre le point de départ et le point d'arrivée)
 - C-63 La vitesse moyenne est la rapidité d'un mouvement sur une trajectoire
 - C-64 La vitesse moyenne ne rend pas compte de ce qui se passe à chaque instant entre le début et la fin de trajectoire
 - C-65 La vitesse moyenne suppose que l'objet garde la même valeur de la vitesse au cours de la trajectoire

- La vitesse instantanée

- C-71 La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné
- C-72 Le vecteur vitesse instantanée d'un point a une direction, un sens, une valeur
- C-73 La vitesse instantanée du point est la vitesse en un point sur la trajectoire et en un instant donné.
- C-74 La vitesse est une caractéristique d'un objet ---
- C-75 La vitesse est la rapidité de l'objet
- C-76 Les objets plus puissants, plus grands ont une vitesse plus grande
- C-77 Deux objets ont la même vitesse au moment où l'un dépasse l'autre
- C-78 En physique, on dit la vitesse pour le vecteur vitesse instantanée d'un point
- C-79 En physique, on dit la vitesse pour la valeur de la vitesse instantanée d'un point
- C-80 La vitesse est un vecteur

- La vitesse angulaire

- C-81 La vitesse angulaire moyenne d'un point est l'angle de rotation du solide divisée par la durée mise pour parcourir cet angle
- C-82 Tous les points d'un solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe ont la même vitesse angulaire
- C-83 Tous les points du solide en mouvement de rotation autour d'un axe fixe n'ont pas la même vitesse instantanée du point
- C-84 En mouvement de rotation, la vitesse angulaire d'un point est la vitesse instantanée de ce point divisée par la distance du point à l'axe de rotation

- Variation de la vitesse

- C-91 Accélérer est aller de plus en plus vite
- C-92 Ralentir est aller de moins en moins vite
- C-92-a Décélération est d'aller de moins en moins vite
- C-93 Accélérer est mettre moins de temps pour parcourir la même longueur de la trajectoire
- C-94 Accélérer est mettre moins de temps pour parcourir la même distance
- C-95 Ralentir est mettre plus de temps pour parcourir la même longueur de la trajectoire
- C-96 Ralentir est mettre plus de temps pour parcourir la même distance
- C-97 Aller à la vitesse constante est avoir toujours la même valeur au cours de la trajectoire
- C-98 Aller à la vitesse constante est mettre le même temps pour parcourir la même longueur de la trajectoire
- C-99 Si la valeur de la vitesse varie, il s'agit d'un changement de la vitesse
- C-100 Si la direction de la vitesse varie mais la valeur de la vitesse ne varie pas, il n'y a pas de changement de la vitesse
- C-101 Si la direction du mouvement varie mais la valeur de la vitesse ne varie pas, il y a de changement de la vitesse
- C-102 Aller plutôt vite est parcourir plus de distance à l'intervalle de temps régulier

Représentations-Unités

- C-120 La vitesse est représentée par une flèche
- C-121 La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse
- C-123 La direction de la flèche représente la direction du mouvement
- C-124 La direction de la flèche est représentée en prenant la tangente
- C-125 Le sens de la flèche représente le sens du mouvement
- C-126 La vitesse moyenne est représentée par v_{moy}
- C-127 La vitesse est représentée par v
- C-128 La longueur de la trajectoire est représentée AB ($\square x$ etc.)
- C-129 La durée mise pour parcourir une trajectoire est représentée par $\square t$
- C-130 L'unité de la vitesse est m/s (ou km/h)
- C-131 La vitesse angulaire moyenne est représentée par \square_{moy}
- C-132 La vitesse angulaire est représentée par \square
- C-133 L'angle de rotation du solide est représenté par $\square \square$
- C-134 L'angle de rotation est calculé en radian

- C-135 La distance du point à l'axe de rotation est représentée par r
- C-136 L'unité de la vitesse angulaire est rad/s
- C-137 La variation de la vitesse est représenté par une flèche
- C-138 La variation de la vitesse est trouvée par un calcul vectoriel
- C-140 On calcule la vitesse angulaire en divisant l'angle en radian par le temps
- C-141 On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent plus près de ce point
- C-142 On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent plus près de ce point, si il n'y a pas de ces deux positions alors on trouve la distance en mesurant la distance entre le deux points et on le multiplie cette valeur par deux
- C-143 On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps
- C-144 La conversion $\text{mm/s} = \dots \text{m/s}$
- C-145 $\Delta v = \Delta x / \Delta t$
- C-150 On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs
- C-151 Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur
- C-152 Le vecteur vitesse est constant quand il a la même direction, le même sens, la même longueur
- C-160 Dans un mouvement circulaire, le longueur des vecteurs de la variation de la vitesse sont pareils
- C-161 Si il n'y a pas de frottement la vitesse de l'objet ne change pas
- C-162 La relation dynamique est «le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens»
- C-170 On peut utiliser le principe d'inertie pour le mouvement rectiligne uniforme
- C-171 On ne peut pas utiliser le principe d'inertie pour le mouvement circulaire uniforme
- C-180 Le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens

· Connaissances Langagières

- L-1 Bouger \square Agir
- Pousser

Partie 2 : Facettes – Dynamique

1.1. Facettes Connaissances Conceptuelles

1.1.1. FORCE

- D-1 La force est une caractéristique des objets
- D-2 La force « décrit » l'action entre d'un objet sur l'autre
- D-3 La force a une direction
- D-4 La force a un sens
- D-5 La force a une intensité
- D-6 La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- D-7 Les objets animés ou actifs peuvent exercer des forces ou des actions
- D-8 Les objets passifs ne peuvent pas exercer des forces ou des actions
- D-9 Les objets qui servent à quelque chose. ou font quelque chose. peuvent exercer des forces ou des actions
- D-10 Les objets acquièrent une « force » grâce à une action sur eux.
- D-10-a La force acquise diminue au cours du mouvement
- D-11 Une force se transmet aux objets par contact direct
- D-12 Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets
- D-13 La Terre exerce toujours une force sur les autres objets
- D-14 La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas
- D-15 Les objets en contact et à distance exercent des forces sur les autres objets
- D-16 La compensation nécessite plusieurs forces
- D-17 La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigé vers le bas
- D-18 Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B
- D-19 La force exercée par la Terre et la force exercée par le sol ne sont pas les mêmes forces

1.1.2. FORCE –MOUVEMENT

- D-21 Si il y a un mouvement, les forces exercées sur l'objet ne se compensent pas
- D-22 Si il y a un mouvement, il y a des forces exercées sur l'objet
- D-23 Si il y a un mouvement, il y a des forces exercées sur l'objet mais particulièrement il y a une force exercée dans le sens du mouvement
- D-24 Si il y a un mouvement, il y a des forces exercées sur l'objet mais il n'y a pas

toujours une force dans le sens du mouvement

- D-25 Si il y a de mouvement il y a des forces qui s'exercent l'objet et ces forces ne se compensent pas
- D-26 Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent l'objet fait un mouvement rectiligne uniforme
- D-27 Si il n'y a pas de mouvement il n'y a pas des forces exercées sur l'objet
- D-28 Si il n'y a pas de mouvement il y a des forces qui s'exercent sur l'objet
- D-29 Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent
- D-30 Pour les deux forces (unidirectionnelle) qui s'exercent sur l'objet, l'intensité de la force qui s'exerce sur l'objet dans le sens du mouvement est plus grande que celle de l'autre force
- D-31 On peut utiliser le principe d'inertie pour le mouvement rectiligne uniforme
- D-32 On ne peut pas utiliser le principe d'inertie pour le mouvement circulaire uniforme
- D-33 Les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent selon le principe d'inertie
- D-34 Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent, soit le mouvement est rectiligne uniforme, soit l'objet est immobile

1.1.3. FORCE –VITESSE

- D-41 Une force constante produit une vitesse constante
- D-42 Si la force augmente alors la vitesse augmente
- D-43 Si la force diminue alors la vitesse diminue
- D-44 Si la force reste constante alors la vitesse reste constante
- D-45 Si la vitesse d'un objet est nulle, les forces exercées sur l'objet se compensent
- D-46 Si il y a une vitesse, les forces exercées sur l'objet ne se compensent pas (Si la (net) force est nulle alors la vitesse est nulle)
- D-47 Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et le sens de la vitesse
- D-48 Il y a un lien entre la somme de forces exercées et le changement de sens de la vitesse
- D-49 Si les forces exercées sur l'objet se compensent la vitesse de l'objet constante

1.1.4. FORCE - VARIATION DE LA VITESSE

- D-50 La relation dynamique est « si la vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle»
- D-51 Si la vitesse de l'objet ne change pas, les forces exercées sur l'objet se compensent

- D-52 Si la vitesse (v) de l'objet ne change pas, les forces exercées sur l'objet se compensent
- D-53 Si la valeur de la vitesse ne change pas, la somme de forces est nulle
- D-54 Si la vitesse (v) de l'objet ne change pas, la somme de forces est nulle
- D-55 Si il y a une variation de la vitesse (accélération, décélération) les forces exercées sur l'objet ne se compensent pas
- D-56 Si il y a une variation de la vitesse (accélération, décélération), la somme de forces n'est pas nulle
- D-57 Si il y a une variation de la vitesse (v), la somme de forces n'est pas nulle
- D-58 Si les forces exercées sur l'objet se compensent la vitesse de l'objet constante
- D-59 La vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle
- D-60a Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la variation de la vitesse
- D-60b Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la valeur de la vitesse
- D-60c Le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens
- D-60d La relation dynamique est «le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens»

1.1.5. INTERACTION

- D-61 Il y a deux types d'interaction entre les objets ; de contact et à distance
- D-62 Quand deux objets en contact il y a une interaction de contact
- D-63 Entre la Terre et les objets, il y a une interaction à distance
- D-64 Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité)
- D-65 Si un objet A exerce une force sur B, B n'exerce pas nécessairement une force sur A
- D-66 Si un objet A exerce une force sur B, B exerce simultanément une force sur A
- D-67 Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A mais pas simultanément
- D-68 Si un objet A exerce une force sur B, alors B exerce une force sur A et ils se compensent.
- D-69 Les intensités des forces exercées mutuellement ne sont pas égales
- D-70 Les objets plus grands, plus actifs, plus énergétiques, plus lourds exercent une force plus intense que celle qu'ils subissent
- D-71 Les intensités des forces exercées mutuellement sont égales
- D-72 Les sens des forces exercées mutuellement sont opposés

-
- D-73 Deux forces exercées sur le même objet, constituent une paire d'action-réaction dont souvent un des partenaires est le poids de l'objet .

1.2. Représentations - Unités

- D-81 L'interaction de contact est représentée par une double flèche en traits pleins
- D-82 L'interaction à distance est représentée par une double flèche en pointillés
- D-83 Un objet est représenté par une bulle.
- D-84 La force est représentée par une flèche
- D-85 L'objet est représenté par un point
- D-86 La longueur de la flèche représente l'intensité de la force
- D-87 Le sens de la flèche représente le sens de la force
- D-88 La direction de la flèche représente la direction de la force
- D-89 L'unité de force est N
- D-90 La force est représentée par $F_{A/B}$
- D-91 L'ensemble des forces exercées sur l'objet est trouvé par un calcul vectoriel
- D-92 L'ensemble des forces exercées sur l'objet est appelé par la somme des forces
- D-93 Le centre d'inertie d'un objet est représenté par un point
- D-94 Un vecteur peut décomposer en deux axes
- D-95 La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent
- D-96 La force est représentée par une flèche en traits pleins à la fois pour représenter l'interaction à distance et de contact
- D-100 La somme des forces est l'addition vectorielle des forces exercées sur l'objet
- D-101 Quand il y a des bulles et double flèche c'est le diagramme d'interaction
- D-102 Quand il y a des flèches c'est le diagramme de forces
- D-103 Il y a des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance
- D-104 Un vecteur peut décomposer en deux axes
- D-105 La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent
- D-106 Il n'y a pas des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance.
- D-107 Il y a des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance.
- D-108 La compensation nécessite plusieurs forces
- D-109 Le centre d'inertie d'un objet est représenté par un point

1.3. Raisonnement

- R-1 Causalité

1.1. Matérielle

1.2. Efficente

- R-2 Raisonnement Plus Plus
- R-3 Raisonnement Scientifique

3.1. Raisonner à partir d'un principe

- R-4 Raisonnement à partir des informations perceptibles
- Connaissances Langagières

L1_Le principe d'inertie et la première loi de Newton veulent dire la même chose

Partie D. Analyse et Conclusion

Introduction

Nous présentons successivement l'analyse des productions des élèves en termes de facettes pour chacune des activités de la partie 2 relative à la dynamique. Dans le premier chapitre, nous présentons le cas des activités 1 et 2. La deuxième activité donne lieu à une analyse succincte car elle a été réalisée en classe entière et les élèves observés ont peu parlé. Nous présentons dans les deux chapitres suivants l'analyse des activités 3 et 4. Nous donnons nos analyses détaillées des parties 1 et 2 dans l'annexe 4.

Chapitre 1 Analyse des activités 1 et 2

Comme nous l'avons présenté dans la méthodologie, nous avons décomposé en étapes l'activité de résolution des élèves. Nous présentons notre méthode pour passer de la transcription aux facettes dans le cas des deux premières étapes de l'activité 1.

Notre analyse est présentée succinctement au sein de chaque étape et à la fin de la présentation de l'activité.

Activité 1 : Lancer et réception d'un médecine-ball

Énoncé

Lancer le médecine-ball à la verticale et le rattraper.

1°. Repérer et noter le (ou les) moment(s) où vous exercez une action sur le médecine-ball, préciser chaque fois dans quelle direction et dans quel sens s'exerce cette action sur le médecine-ball.

2°. Repérer différentes phases dans le mouvement du médecine-ball et les décrire (on se contente d'étudier le mouvement de son centre). Pour chacune des phases, préciser comment varie la valeur de la vitesse du médecine-ball.

3°. On s'intéresse à la phase de lancer du médecine-ball (tant que les mains sont en contact avec le médecine-ball).

a) Faire le diagramme médecine-ball interactions. b) En vous aidant de vos sensations, faire le schéma des forces qui s'exercent sur le médecine-ball (on ne demande pas d'utiliser une échelle précise mais on indiquera les différences éventuelles d'intensité des forces par des longueurs différentes). On pourra négliger les frottements de l'air et représenter le médecine-ball et son centre d'inertie. c) Indiquer sur un autre schéma la direction et le sens du vecteur vitesse durant cette phase. d) Indiquer comment évolue la valeur de la vitesse durant cette phase (augmente, diminue ou reste constante).

4. Compléter le tableau ci-dessous en répondant aux mêmes questions pour les trois autres phases du mouvement du médecine-ball.

	Lancer	Montée	Descente	Réception
Représentation des forces				
Représentation de la vitesse				
Variation de la valeur de la vitesse (augmente, diminue ou reste constante)				

5° Conclusion : en utilisant la partie « somme des forces » du modèle, répondre à la question suivante : parmi les liens proposés ci-dessous entre la somme des forces exercées et le mouvement, indiquer celui (ou ceux) qui vous semble(nt) en accord avec le tableau.

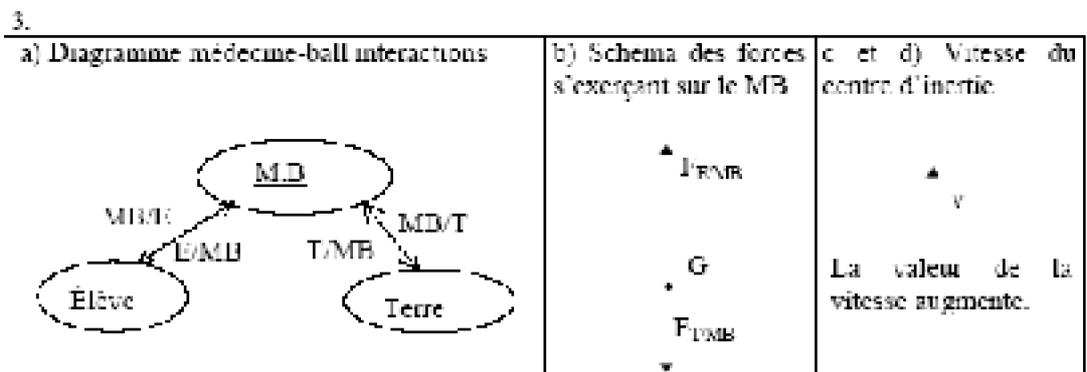
La somme des forces est liée a) au sens de la vitesse b) à la valeur de la vitesse c) au changement de sens de la vitesse. d) à la variation de la valeur de la vitesse.

Réponse attendue

est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

1. Il y a deux moments où s'exerce une action sur le médecine-ball : lancer et réception et pour dans le deux cas l'action est verticale, vers le haut.

2. Le découpage consiste à faire correspondre à chaque changement de vitesse une phase du mouvement. L'arrêt au sommet de la trajectoire n'est pas considéré comme une phase du mouvement parce que la vitesse ne varie pas. Dans ce cas, il y a quatre phases dans le mouvement : lancer (vertical vers le haut, augmente), montée (vertical vers le haut, diminue), descente (vertical vers le bas, diminue), réception (vertical vers le bas, augmente).



4.

	Lancer	Ascension	Descente	Réception
Représentation des forces				
Représentation de la vitesse				
Variation de la valeur de la vitesse	augmente	diminue	augmente	diminue

5. Conclusion

a) Le tableau permet d'affirmer que la somme des forces ne semble pas liée au sens de la vitesse car, pour (I) et (III) les deux vecteurs sont de même sens alors que pour (II) et (IV), ils sont de sens opposés.

b) Le tableau ne permet pas d'affirmer que la somme des forces est liée à la valeur de la vitesse car il n'y est jamais fait allusion.

c) Le seul changement de sens de la vitesse a lieu lorsque le centre d'inertie du médecine-ball passe par le point le plus élevé de sa trajectoire. La somme des forces ne change pas. Le tableau ne permet pas de conclure autre chose que, lorsque ce changement se produit, le sens de la vitesse est finalement le même que celui de la somme des forces.

d) Le tableau permet de lier somme des forces et variation de la valeur de la vitesse. Si les vecteurs somme des forces et vitesse sont :

- de même sens, la valeur de la vitesse augmente [phases(I) et (III)] ;
- de sens contraires, la valeur de la vitesse diminue [phases(II) et (IV)].

Réponses des élèves et analyse

Nous présentons les réponses des élèves par épisodes qui, de fait, correspondent à chacune des questions. Certains épisodes correspondent à une étape, d'autres à plusieurs. Nous détaillons notre analyse dans le cas de deux premières étapes pour montrer comment les facettes sont construites.

Episode 1

Cet épisode correspond à trois étapes mais une seule étape donne lieu à des facettes, les autres étapes correspondent soit à une répétition du fait de l'intervention du professeur soit à une explicitation du fait de l'écriture de la réponse. Nous ne présentons ici que les étapes qui conduisent à des facettes. L'analyse complète est donnée dans l'annexe 4.

28 :24-28 : 53 (temps sur la bande vidéo)

L : repérer et noter les moments où vous exercez // t'as vu la première question

N : quoi (?) quelle partie (?)

L : où vous exercez une action sur le médecine-ball donc c'est au départ pour lancer on met une force vers le haut [

N : [ouais après

L : pour le rattraper on exerce une force vers le bas

N : mm mm non une force vers le haut quand on le rattrape une force toujours vers le haut

L : - *il fait l'expérience*- vers le haut comme ça - *il fait l'expérience*-

N : ouais mais quand on le rattrape tu exerce une force vers le haut aussi

L : mais tu amortis – *il fait l'expérience*-

N : ouais bon –*il prend le médecine-ball*- tu fais –*il fait l'expérience*- je suis désolé je bouge pas

L : quand tu fais ça tu bouges- *il fait l'expérience*-

N : ouais mais ouais

N et L repèrent les moments où ils exercent une action sur le médecine-ball. En ce

qui concerne le sens et la direction de ces actions, ils sont d'accord sur la direction mais pas pour le sens. Pour L, l'action exercée est vers le haut pendant la phase de lancer et vers le bas pendant la phase de réception. Pour N, l'action exercée est vers le haut dans les deux cas. Il y a une discussion au sein de groupe. Pendant la discussion, on voit que les deux élèves n'utilisent pas le mot « action ». En revanche, dans leurs productions écrites ils mettent le mot l'action (voir annexe 5).

Dans cette étape, L affirme deux fois qu'il y a une force quand on lance le médecine-ball (intervention 3) et quand on le rattrape (intervention 5). Nous inférons deux facettes

La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets.

La première facette correspond aux productions verbales explicites du sens de la force vers le haut et vers le bas (même si c'est incorrect). La deuxième facette est induite car on suppose que, pour l'élève, il y a contact au moment du lancer et de la réception. Il faut noter que la direction de l'action vers le bas n'a pas été maintenue par L ultérieurement même si les facettes ne le montrent pas explicitement. En effet sur son cahier le sens est vers le haut pour la réception et ultérieurement il trace la force vers le haut.

Episode 2

Dans cet épisode, il s'agit de repérer différentes phases dans le mouvement du médecine-ball et de les décrire en précisant comment varie la valeur de la vitesse du médecine-ball. Nous l'avons décomposé en deux étapes. En effet, l'objet de la discussion est modifié ; dans l'étape 2.1 il porte sur les différentes phases du mouvement alors qu'il est centré sur l'arrêt dans l'étape 2.2.

Etape 2.1

N : donc il fait un mouvement rectiligne et il retombe

L : mais il faut définir les parties aussi il y en a quatre c'est endroit

N : ouais ah ouais on l'a fait ça y'est l'année dernière

L : oui

N : ils veulent l'accélération décélération arrêt accélération arrêt

L : hi

N : cinq parties accélér= montée accélération [

L : [tient (L donne la balle à N)

N : montée accélération arrêt ça fait deuxième partie redescend et décélération

...

L : attends attends un peu/ repérer les différentes phases on a quoi (?) lancer la

montée la descente[

N : [l'arrêt et la descend / la descente et la réception regardes – *il écrit la réponse-* (3s) l'arrêt et la descente (2s) quatrième partie la réception /

N et L repèrent cinq phases du mouvement, lancer, montée, arrêt, descente et réception. Pour L aucune facette n'est prise pour cette étape.

Etape 2.2

N : on avait fait ça l'année dernière aussi

L : on n'avait pas mis cinq (?)

N : si tu considères que l'arrêt c'est une partie (?)

L : ben l'arrêt y a presque plus de (::) [

N : [ben l'arrêt\

L : [c'est pas les mêmes forces

N : [c'est pas c'est pas les mêmes forces de (inaud.) / ça diminue

L : ouais les deux trucs elles se compensent

N : voilà + c'était dans le modèle l'année dernière

L : donc on a combien (?) quatre partie quand même (?)

N : si un objet (inaud.) la force est nulle

Il y a une discussion sur l'arrêt au sommet de la trajectoire au sein du binôme. N et L décident ne pas le prendre comme une phase. La raison de ce choix est très intéressante : pour cette phase ils font une analyse dynamique en termes de force, alors que pour les autres phases ils ont fait (étape précédente) leurs analyses en termes de la variation de la vitesse.

En ce qui concerne la variation de vitesse pour ces phases, on voit la verbalisation de N sur ce sujet, il nous semble L est d'accord. Il n'y a pas de discussion là-dessus. L considère que lorsque le médecine-ball est en haut à l'arrêt deux forces s'exercent, si l'une est son poids alors l'autre est la force acquise lors du lancer. De plus, L accepte la proposition de N que la force diminue quand le médecine-ball monte. Ceci nous conduit aux facettes suivantes ;

- Les objets acquièrent une « force » grâce à une action sur eux.
- La force acquise diminue pendant le mouvement
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigé vers le bas.

Episode 3

La construction du diagramme médecine-ball interactions pour la phase de lancer ne pose pas de problèmes aux élèves. Ils le font correctement. Il n'y a pas de discussion sur ce point, chaque élève le fait de son côté.

Pour la phase de lancer, N et L représentent la force exercée par la Terre et la force exercée par les mains sur le médecine-ball. Les deux forces sont représentées, avec la bonne direction, le bon sens et le symbole permettant de les identifier.

Etape 3.1

En ce qui concerne les longueurs des flèches, L regarde la production de N et il y a une discussion.

L : mais sauf sauf que oui la force de la force du (4s) il faut faire la force de la main plus grande

N : c'est ce que j'ai fait / non il ne faut pas faire la force de la main plus grande\

L : si

N : il faut faire la Terre plus petite

Pour les deux élèves, il faut représenter la force exercée par les mains plus longue que la force exercée par la Terre.

Etape 3.2

Pour la représentation vectorielle, N confond deux types de représentations. Dans le diagramme médecine-ball/interactions, l'interaction entre la Terre et le médecine-ball a été représentée par un double flèche en pointillé, N représente la force exercée par la Terre en pointillé.

N : il faut le faire en continue (?)

L : mim mim c'est parce que tu confonds avec l'autre

Concernant la représentation vectorielle de la vitesse et l'évolution de la valeur de la vitesse pendant la phase de lancer, il n'y a pas de discussion au sein du binôme. A partir de leurs productions écrites, nous voyons qu'ils donnent la réponse correcte.

Pour L, nous avons sélectionné les facettes suivantes :

- Si il y a un mouvement, les forces qui s'exercent sur l'objet ne se compensent pas
- Pour les deux forces (unidirectionnelle) qui s'exercent sur l'objet, l'intensité de la force qui s'exerce sur l'objet dans le sens du mouvement est plus grande que celle de l'autre force
- L'interaction à distance est représentée par une double flèche en pointillés
- La force est représentée par une flèche en traits pleins à la fois pour représenter l'interaction à distance et de contact

Episode 4

La discussion porte sur les représentations de la vitesse et des forces exercées pour les phases de montée, de descente et de réception. Pour la phase de montée, N et L représentent la force exercée par la Terre et la force transmise par les mains sur le

médecine-ball (à partir des traces écrites sur leur cahier, cf. annexe 5). Pour la phase de descente, ils représentent correctement la force exercée par la Terre.

Quant à la représentation vectorielle des forces exercées pendant la phase de réception, il y a une différence entre L et N. Tous les deux représentent la force exercée par les mains et la force exercée par la Terre. Pour les directions et les sens de ces vecteurs, il n'y a pas de problème. En ce qui concerne les longueurs de ces vecteurs, il y a une différence entre les deux. Pour L, les longueurs de ces deux vecteurs ne sont pas pareilles, l'intensité de la force exercée par la main est plus grande que l'intensité de la force exercée par la Terre. Pour N, les longueurs de ces deux vecteurs sont pareilles, l'intensité de la force exercée par les mains est égale à l'intensité de la force exercée par la Terre. Pendant la phase de correction, le professeur dit que « l'intensité de la force exercée par les mains est plus grande que l'intensité de la force exercée par la Terre ».

Au sein de binôme, il y a une discussion sur ce sujet, au cours de la phase de correction, en deux étapes :

Etape 4.1

N : représentation de la vitesse c'est quoi (?) gv (?)

L : et ouais

N : la variation de la vitesse plus moins plus zéro

L : non elle diminue à la fin

N : elle diminue (?)

L : comme début elle était elle était nulle elle augmente (3s) voilà

N et L sont d'accord au sujet de la variation de la vitesse pour les phases de lancer, montée et descente. En ce qui concerne la phase de réception, pour N la variation de la vitesse est nulle, pour L la valeur de la vitesse diminue.

Etape 4.2

P : est-ce que vous êtes en train de me dire ce que vous si vous exercez une force moins intense sur le médecine-ball que fait alors dans ce cas là dites-moi bien la vitesse du médecine-ball

N : il ralentit

P : est-ce qu'il ralentit (?)

N : il est freiné du moins

P : si il est freiné on peut dire qu'il ralentit un peu (:)

E : on exerce toujours le même force en sens contraire forcément ça va ralentir

N : ouais mais c'est le problème si c'est qu'on prend un point la force est plus grande normalement il doit monter

Etape 4.3

P : si vous arrivez à être d'accord si j'exerce une force très peu intense un vecteur faible longueur est-ce que vous pensez que je vais le ralentir (?)

L : non

N : elle se stabilise sa vitesse

L : non c'est plus faible que le poids si elle est égale au poids tu vas stabiliser si il pèse trois kilos tu exerces trois kilos tu vas stabiliser tu pourras=il pourra pas accélérer il pourra pas ralentir il fait un mouvement rectiligne uniforme.

Dans sa dernière intervention, L manifeste une maîtrise du principe d'inertie.

Concernant les représentations de la vitesse pour les phases de montée, de descente et de réception. Il n'y a pas une discussion au sein du binôme. Ils représentent correctement les vecteurs vitesse, pour ces trois phases.

Nous avons sélectionné les 4 facettes suivantes pour L :

- L'interaction à distance est représentée par une double flèche en pointillés
- La force est représentée par une flèche en traits pleins à la fois pour représenter l'interaction à distance et de contact
- Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent l'objet fait un mouvement rectiligne uniforme

Episode 5

Ils répondent à la question 5 (conclusion) après la correction des questions précédentes, il y a une discussion au sein de binôme.

Etape 5.1

L : tiens donc on va regarder le truc alors en utilisant la partie somme des forces

N : je comprends pas ce que tu voulais faire

L : pour qu'on=parce qu'ils disent répondre à la question c'est (:) en accord avec le tableau donc il faut bien avoir le tableau sous les yeux (8 secondes) j'en suis sûr maintenant tu es un Stephan Noir (15s) avec le tableau la somme des forces

N : la somme des forces –lit le texte du modèle-

L : tient regarde ici ça monte la c'est sera vrai pour la d à la variation de la valeur de la vitesse sauf que

N : (inaud.)

L : ici c'est faux ici c'est vrai ici c'est faux donc je dirais c'est pas c'est pas le d

N : him au sens de la vitesse

L : au sens de la vitesse/ sens non parce que là c'est comme ça elle sera là

N : la valeur de la vitesse

L : et là y a rien et là ça descend à la direction ça dit rien au changement de la sens de la vitesse/ changement de sens j'en sais rien peut être/ la valeur de la vitesse non regarde

N : hi

L : la valeur de la vitesse là c'est logique parce que ça doit être zéro la valeur de la vitesse là ça doit descendre et là elle monte/ c'est se trouve c'est le changement de sens en fait j'en sais rien du tout on peut dire c'est le changement de sens regarde toutes les autres y a tous les arguments contre

Après plusieurs positions contradictoires, L commence à envisager que la somme des forces est liée au changement de sens de la vitesse. Quant à N, on ne sait pas.

Nous avons sélectionné les facettes suivantes :

- Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la variation de la vitesse
- Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la valeur de la vitesse
- Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et le sens de la vitesse
- Il y a un lien entre la somme de forces exercées et le changement de sens de la vitesse

Les Facettes en jeu au cours de l'activité 1

La liste ci-dessous (tableau 1) donne les facettes dans leur ordre d'utilisation au cours de l'activité 1.

Les codes permettent de repérer les grandes facettes :

- F_D pour Force (D pour partie dynamique) ;
- TM pour type de mouvement ;
- FM pour les relations entre forces et mouvement ;
- Fdv pour les relations entre forces et variation de la vitesse;
- Fv pour les relations entre forces et variation de la vitesse ;
- Rc et Rd pour représentation cinématique ou dynamique.

A1 Q1	20. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets. 21. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D12 F_D6
A1 Q2	22. Les objets acquièrent une « force » grâce à une action sur eux 23. La force acquise diminue pendant le mouvement 24. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas	F_D16 F_D10a F_D17
A1 Q3-b	25. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets 26. La Terre exerce une force sur l'objet 27. Si il y a un mouvement, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent pas 28. Pour les deux forces (unidirectionnelle) qui s'exercent sur l'objet, l'intensité de la force qui s'exerce sur l'objet dans le sens du mouvement est plus grande que celle de l'autre force 29. Pour les deux forces (unidirectionnelle) qui s'exercent sur l'objet, l'intensité de la force qui s'exerce sur l'objet dans le sens du mouvement est plus grande que celle de l'autre force 30. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 31. La force est représentée par une flèche en traits pleins à la fois pour représenter l'interaction à distance et de contact	F_D12 F_D13 FM_D21 FM_D30 FM_D30 F_D6 Rd_D96
A1 Q4	32. L'interaction à distance est représentée par une double flèche en pointillés 33. La force est représentée par une flèche en traits pleins à la fois pour représenter l'interaction à distance et de contact 34. Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent l'objet fait un mouvement rectiligne uniforme.	Rd_D82 Rd_D96 FM_D26
A1 Q5	35. Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la variation de la vitesse 36. Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la valeur de la vitesse 37. Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et le sens de la vitesse 38. Il y a un lien entre la somme de forces exercées et le changement de sens de la vitesse	FDv_D60a FDv_D60b Fv_D17 Fv_D48

Tableau 1 : facettes dans leur ordre d'utilisation par L au cours de l'activité 1.

Les grandes facettes mises en jeu

Pour L, les facettes relèvent de la force, de la relation force-mouvement, plus particulièrement de la relation de force-variation de la vitesse ; ainsi trois grandes facettes sont en jeu. L met aussi en œuvre des représentations vectorielles de la vitesse et de la force. La liste ci-dessus montre aussi que trois des cinq questions (1, 2, 3, 5) conduit L à mobiliser des facettes relevant essentiellement d'un domaine. Seule la question Q3-b, qui demande de passer des sensations au schéma des forces, le conduit à une assez grande variété (tableau 1). On peut considérer que L a des connaissances initiales de la mécanique acquises l'année précédente (il y fait référence plusieurs fois dans cette partie).

En ce qui concerne le changement, on peut considérer que L amorce un changement lors de la dernière étape ; sinon il n'y a aucun changement ni à l'intérieur des douze

étapes ni entre les étapes. En revanche, nous signalons qu'il y a un changement chez N au cours de la question 4 pour la phase de réception. Il est intéressant de remarquer que L met en œuvre une variété de facettes relevant aussi bien du mouvement que de la force.

Importance respective des conceptions et des connaissances enseignées

Nous avons listé les facettes utilisés une ou plusieurs fois en distinguant celles qui relèvent des conceptions et celles qui relèvent du savoir enseigné (tableau 2). Cette liste montre que L met en jeu des conceptions concernant « le capital de forces » ou « la force acquise ». L'activité proposée (lancer et réceptionner une balle) est propice à la mise en œuvre de cette conception. Cependant cette conception ne l'empêche pas d'utiliser correctement le principe d'inertie pour un objet immobile.

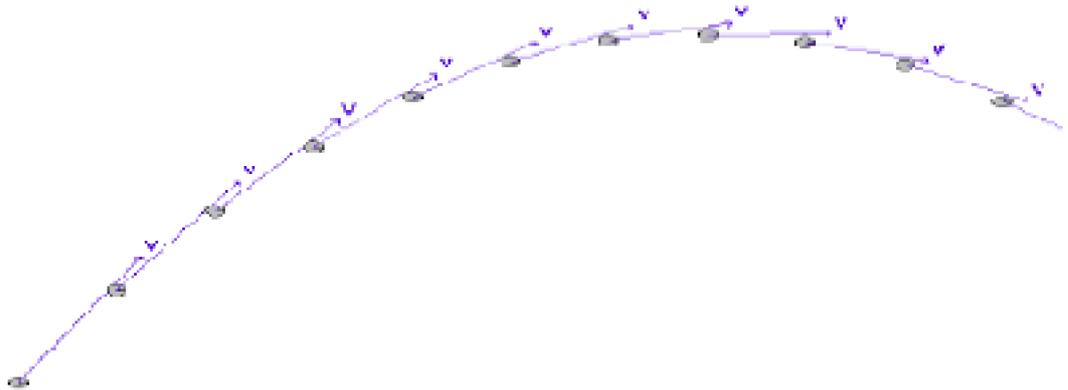
<p><i>Force</i></p> <p>Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B Les objets acquièrent une « force » grâce à une action sur eux. La force acquise diminue pendant le mouvement La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigé verticalement vers le bas La Terre exerce toujours une force sur les autres l'objet</p> <p><i>Force-Mouvement</i></p> <p>Si il y a un mouvement, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent pas Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent l'objet fait un mouvement rectiligne uniforme Pour les deux forces (unidirectionnelle) qui s'exercent sur l'objet, l'intensité de la force qui s'exerce sur l'objet dans le sens du mouvement est plus grande que celle de l'autre force</p> <p><i>Force-Vitesse</i></p> <p>Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la valeur de la vitesse</p> <p><i>Force-Variation de la Vitesse</i></p> <p>Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la variation de la vitesse</p>
--

Tableau 2 : liste des facettes utilisées par L (une ou plusieurs fois) au cours de l'activité 1

Activité 2 : La variation vectorielle de la vitesse

Énoncé

On lance une balle. Un logiciel permet de tracer différentes positions de cette balle à des intervalles de temps réguliers ainsi que la vitesse de la balle pour chacune de ces positions (voir document ci-dessous).



1°. Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le système « balle ». En faire la représentation en position 4.

2°. a) Tracer le vecteur « variation de vitesse » $\Delta \mathbf{v}$ entre les positions 1 et 2 : $\Delta \mathbf{v} = \mathbf{v}_2 - \mathbf{v}_1$. Tracer de la même façon $\mathbf{v}_3 - \mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_4 - \mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_5 - \mathbf{v}_1$, $\mathbf{v}_6 - \mathbf{v}_1$, puis la variation de vitesse entre n'importe quelles positions i et j . Que peut-on dire des différents vecteurs $\Delta \mathbf{v}$?

3°. Comparer la direction et le sens des vecteurs "variation de vitesse" avec la direction et le sens du vecteur "somme des forces" et vérifier que ceci précise la conclusion de l'activité 1.

Réponse attendue

1. la force exercée par la Terre est la seule force qui s'exerce sur la balle.

2. les différents vecteurs $\Delta \mathbf{v}$ sont colinéaires et de même sens.

3. La variation de la vitesse du centre d'inertie de la balle entre deux positions (et donc entre deux dates) est colinéaire et de même sens que la somme des forces qui s'exercent sur la balle.

Cela précise la conclusion de l'activité 1 car pour cette situation la direction de la vitesse restait la même et nous n'avions conclu qu'à propos de la variation de la valeur de la vitesse. Nous montrerons dans l'exercice ci-dessous comment la conclusion plus générale tirée de l'activité 2 s'applique également la situation de l'activité 1.1. La force exercée par la Terre est la seule force qui s'exerce sur la balle.

Réponses des élèves et analyse

est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

Episode 1

Cette question est traitée en classe entière. Pendant cette discussion, on voit quelques verbalisations de N mais pour L on ne sait rien.

P : lisez la première question et puis oralement vous me dites ce que vous répondez par écrit plus tard faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le système « balle ».

E : la Terre

P : l'action exercée par la Terre sur la balle

E : l'air

P : l'air on va négliger est-ce qu'il y a d'autres actions (?)

N : non

E : les mains

N : en position quatre les mains elles ne touchent plus

Sauf la Terre, si il y a deux objets qui sont en contact, l'un des ces objets exerce une force sur l'autre objet, sinon l'objet n'exerce pas une force à distance sur l'autre objet

Episode 2

Pour cette question, ils ne savent pas tracer le vecteur variation de vitesse.

L : tracer le vecteur variation de vitesse $\square v$ entre les positions 1 et 2/ on fait quoi (?)

N : ben tu mesures qu'est que tu penses

...

N : attends je ne sais pas comment le faire

L : 3 virgule 5 j'ai mesuré

Le professeur explique au tableau l'addition vectorielle dans le cas de deux vecteurs. N et L l'appliquent pour les vecteurs vitesses v_2 et v_1

Chapitre 2 Analyse de l'activité 3 Modèle des lois de la mécanique appliqué à un jouet retenu par un fil

Enoncé

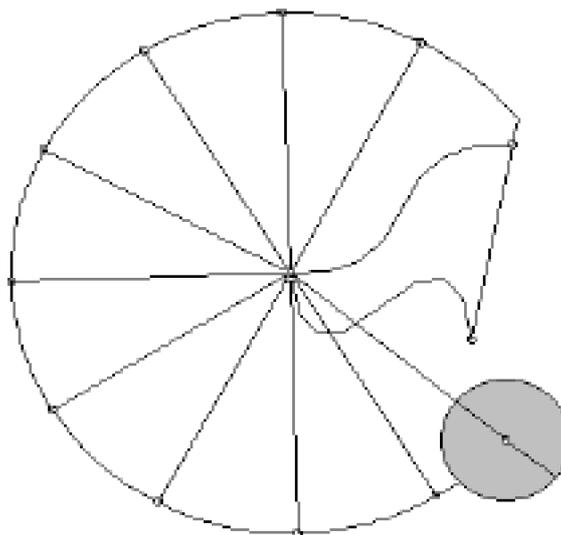
On lance maintenant un petit véhicule roulant accroché à un fil. Le fil est d'abord détendu puis se tend. On néglige les frottements.

1°. Faire un schéma des forces qui s'exercent sur le véhicule avant que le fil soit tendu

est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

Faire un schéma des forces qui s'exercent sur le véhicule après que le fil soit tendu
2°. Étude du mouvement Décrire les deux phases du mouvement.

Un logiciel de simulation a permis de tracer la trajectoire et différentes positions du véhicule à des intervalles de temps réguliers. Les frottements n'ont pas été simulés. Le résultat est fourni ci-dessous. L'échelle est égale à 1 et la durée entre deux positions successives est de 64 ms.

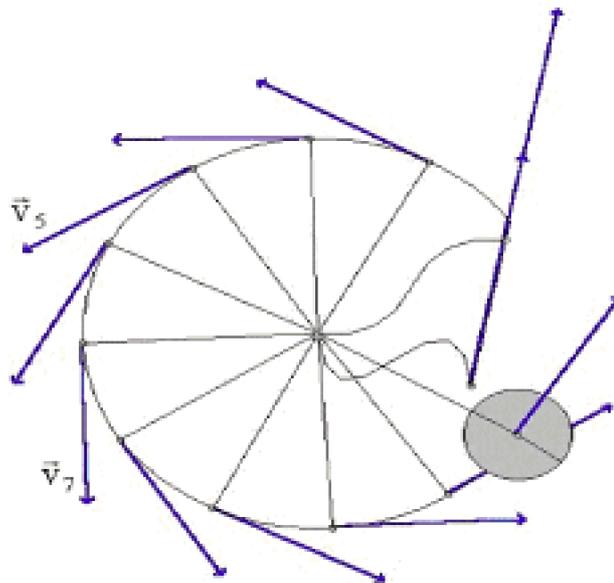


3°. Tracer un vecteur vitesse du véhicule en un point de la première partie de trajectoire.

4°. Tracer deux vecteurs vitesse en deux points différents de la deuxième phase de la trajectoire.

5°. Somme des forces et mouvement

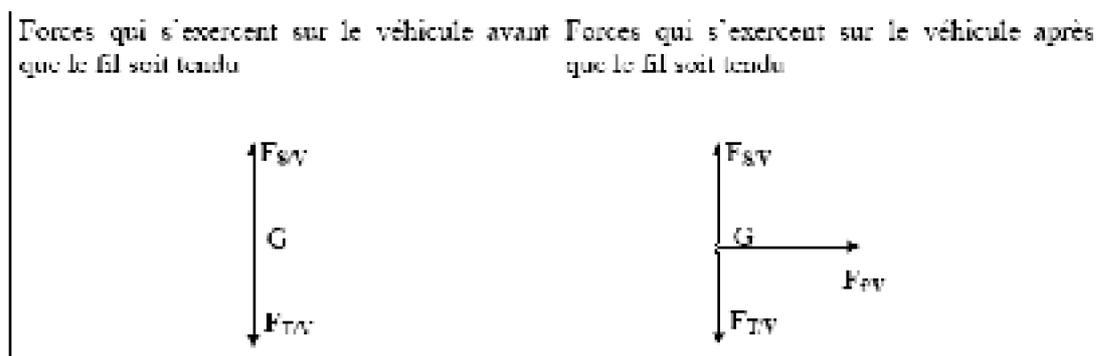
Le logiciel de simulation permet de tracer précisément la vitesse en chaque point. Le résultat est fourni dans le document distribué.



- a) Tracer à partir de la position 6, le vecteur "variation de vitesse" Δv entre les positions 5 et 7 : $\Delta v = v_7 - v_5$
- b) Indiquer le sens et la direction du vecteur "somme des forces" à la position 6.
- c) Comparer la direction et le sens des deux vecteurs "variation de vitesse" et "somme des forces" et vérifier que ceci généralise la conclusion de l'activité 2.

Réponse attendue

1. a) Pour cette question il s'agit de l'analyse dynamique de deux phases du mouvement. En ce qui concerne le schéma des forces qui s'exercent sur le véhicule avant que le fil soit tendu. Il y a deux forces qui s'exercent sur le système, la force exercée par le sol et la force exercée par la Terre.

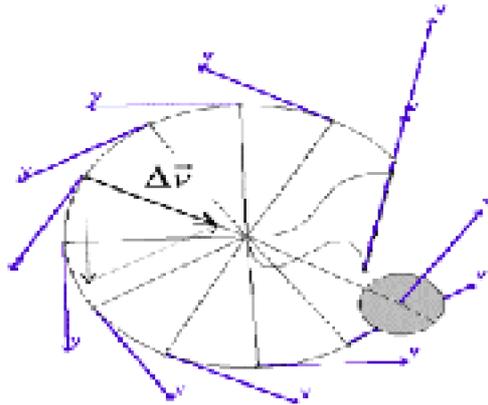


b) Pour la phase après que le fil soit tendu, il y a trois forces exercées sur le véhicule : la force exercée par la Terre, la force exercée par le sol, la force exercée par le fil.

1. L'analyse doit se faire en termes de mouvement. Pendant la première phase du

mouvement, le centre d'inertie du véhicule est animé d'un mouvement rectiligne uniforme (ce n'est pas l'enregistrement qui permet de l'affirmer mais l'analyse dynamique). Pendant la seconde phase, il est animé d'un mouvement circulaire uniforme (c'est l'enregistrement qui permet de l'affirmer). Il s'agit d'analyser la situation en termes de mouvement. Avant que le fil soit tendu, le véhicule fait un mouvement rectiligne uniforme, après que le fil soit tendu, le véhicule fait un mouvement circulaire uniforme.

3.a



3.b La somme des forces qui s'exercent sur le système se réduit à la force exercée par le fil sur le véhicule.

3.c La somme des forces et la variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens.

Réponses des élèves et analyse

Signalons qu'à partir de cette activité l'élève A a remplacé l'élève N.

Episode 1a

Dans cet épisode, il s'agit de représenter les forces qui s'exercent sur le véhicule avant que le fil soit tendu. L commence à répondre à la question (Etape 1a-1) en disant « alors avant que le fil soit tendu / la Terre ». Il n'y a pas de discussion au sein du binôme.

Etape 1a-2

Le professeur passe à la correction et il dessine le schéma des forces au tableau.

P : d'ailleurs le système est donc soumis à deux forces la première est donc la force exercée par la terre sur le système l'autre c'est

L : par le fil

P : non avant que le fil ne soit tendu

E : c'est le sol

L : ah oui

P : le sol le support la première force c'est la force exercée par la terre sur l'eu :h système et la deuxième force c'est la force exercée par le support

A partir des verbalisations de L, pendant la phase de correction, nous avons l'impression que concernant la force exercée par le fil sur le véhicule, L n'a pas d'idées très claires, puisque le fil est en contact avec le véhicule. La force exercée par le fil n'est pas prise en compte par le fil comme si cela relevait de l'évidence.

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- La Terre exerce toujours une force sur les autres objets
- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets.
- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets mais on ne prend pas en compte toujours.

Pour A qui vient juste d'arriver, il s'approprie le fonctionnement de la classe, c'est pourquoi nous ne proposons pas de facette.

Episode 1b

Dans cet épisode, il s'agit de faire un schéma des forces qui s'exercent sur le véhicule après que le fil soit tendu. Nous avons deux étapes.

Etape 1b-1

A: donc maintenant il faut qu'on fasse quand le fil est tendu

L : oui le fil est tendu y a l'action du fil (2s)

A: [le fil est tendu

L : [qui est en contact

A: l'action du fil et le sol

L : il y a toujours la terre qui agit

A : oui mais c'est le sol la terre

L : non c'est différent

A : pourquoi (?)

L : ben le sol c'est quand c'est en contact la terre c'est une action qui était tout le temps

A : oui oui j'ai compris oui oui c'est parce que euh c'est la la l'activité [

L : [le ballon quand il est en l'air il subit quand même l'attraction de la terre

L et A font l'inventaire des forces exercées sur le véhicule, A a un problème concernant la distinction de la force exercée par la Terre et la force exercée par le sol. Pendant la discussion entre L et A, A accepte la distinction la force exercée par la Terre et par le sol.

Etape 1b-2

Leur discussion concernant la représentation vectorielle des forces exercées par la Terre

est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

et par le sol, montre que L et A n'ont pas de difficultés. En revanche, la représentation de la force exercée par le fil pose des problèmes :

A : comment tu dessines tu représentes

L : de quoi (?)

A : quand il y a trois forces

L : ben tu les représentes comme ça et la troisième le :: fil:: je pense qu'il est comme ça la force ouais le fil il va

par là ()

A : ça ça représente le véhicule là

L : attends

A : comment on les représente (?)

L : ben les deux elles sont comme avant

A : ben oui mais c'est la troisième qui chi :: fait chier

L : la troisième ça dépend

A n'arrive pas à représenter la force exercée par le fil. Quant à L il a des hésitations, cependant il fait un geste en indiquant le sens et la direction de la force exercée par le fil, ses indications sont correctes.

Etape 1b-3

Dans cet épisode L fait un court résumé de ce qu'ils ont vu dans la partie 1 concernant la vitesse :

L : d'accord (12s) donc tu vois y a ce qu'on avait vu avant aussi on avait vu par exemple la vitesse à un point donc par exemple la vitesse pour ce point tu te tu tra=traces là la distance entre les deux pour calculer le vecteur vitesse

A : ouais

L : tu mesures

A : ouais

L : tu divises par le temps si tu le connais

A : oui

L : parce que généralement ils nous disaient [c'est millisecondes après tu divise par le temps

A : attends attends je vais le marquer attends

L : c'est noté de toute façon

A : ça longueur c'est (*il trace un droit*) la distance entre les deux positions ça

L : il ne faut pas le faire encore

A : ah oui

L : c'est dans le cours voilà comme ça tu divises par le temps ça te fait la vitesse du point après tu peux tracer le vecteur tu connais le sens et le vecteur tu fais la droite parallèle là t'as la droite et le vecteur il est parallèle

A : oui d'accord

L : et la vitesse angulaire ça fait pareil tu prends l'angle et radian ici et tu divises par le temps

A : ou là là

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigé vers le bas
- La Terre exerce toujours une force sur les autres objets
- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets
- La force exercée par la Terre et la force exercée par le sol ne sont pas les mêmes forces
- La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné
- La vitesse moyenne est la distance divisée par la durée mise pour parcourir cette distance
- La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné
- Le vecteur vitesse instantanée d'un point a une direction, un sens, une valeur
- Le sens de la flèche représente le sens du mouvement
- La direction de la flèche est représentée en prenant la tangente
- On calcule la vitesse angulaire en divisant l'angle en radian par le temps
- La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigé vers le bas

La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B

Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigé vers le bas
- La Terre exerce toujours une force sur les autres objets
- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets
- La force exercée par la Terre et la force exercée par le sol ne sont pas les mêmes

forces

Episode 2

Il n'y a pas de discussion au sein du groupe, pour les deux élèves, le véhicule fait un mouvement rectiligne puis un mouvement circulaire.

Etape 2.1

L : regarde il fait un mouvement rectiligne après circulaire

A : d'abord d'abord un mouvement circulaire après rectiligne

Il n'y a pas de discussion, concernant la variation de la valeur de la vitesse pour les deux phases du mouvement.

Dans cet épisode L et A mettent en jeu les facettes suivantes :

- Le mouvement d'objet est rectiligne quand sa trajectoire est une droite
- Le mouvement d'objet est circulaire quand sa trajectoire est un cercle

Episode 3/4

L et A ont traité les questions 3 et 4 ensemble, nous les avons donc regroupées. Dans la question 3, il s'agit de tracer le vecteur vitesse du véhicule en un point de la première partie de trajectoire. Dans la question 4, il s'agit de tracer deux vecteurs vitesse en deux points différents de la deuxième phase de la trajectoire. Pour ces deux questions, ils tracent les trois vecteurs en même temps, au début ils font les calculs après ils les tracent.

Etape 3/4.1

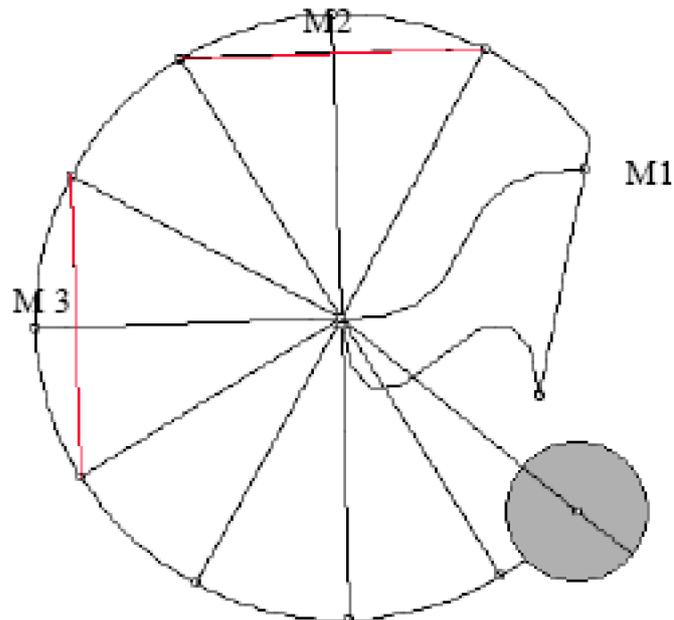
Ils commencent à discuter comment ils vont représenter les vecteurs vitesse, ils indiquent les points.

A : comment tu fais pour tracer le vecteur vitesse (?)

L : le vecteur vitesse tu prends le point ici après tu fais

A : attends je vais le marquer/ tu marques comment ce point tu as marqué M2

L : après tu fais ça



A : je pense il faut commencer par celui-là celui-là (*il montre une position dans la partie rectiligne*)

L : de toute façon ça va être pareil

A : celui-là par celui-là il me semble

L : il faut tout calculer

A : pourquoi (?)

L : tracer deux vecteurs vitesse en deux points différents de la deuxième phase

A : ouais un mouvement rectiligne

Les représentations faites par L et A pour la partie rectiligne sont les mêmes.

Etape 3/4.2

Nous constatons que pour la partie rectiligne, L commence à calculer la vitesse en un point et il explique ce qu'il faut faire à A. Ceci montre sa maîtrise de la procédure de calcul.

A : je ne peux pas t'aider moi

L : si tu multiplies la distance par deux (?) tu mesures ici (*entre les positions une et deux*) tu multiplies le temps par deux voilà

A : il faut essayer il faut essayer trente-deux trente-deux millimètres tu multiplies par deux (?) ça nous donne quoi (?)

L : tu multiplies par deux tu le divises par deux fois le temps

A : hein (?)

L : deux fois le temps

A : soixante-quatre divisé par deux fois soixante-quatre

L : il faut qu'on prenne en mètre seconde [

A : [ben

L : non mais on convertira après

A : (*il calcule*) zéro cinq

L : zéro cinq millimètre par milliseconde maintenant il faut convertir

A : d'abord ouais ça fait attends trente-deux millimètres égale (inaud.) (CHUCHOTE) ça y est c'est bon j'ai le résultat en mètres tu l'as fait la conversion (?) t'es sûr que c'est zéro :: virgule trois (inaud) ça fait zéro zéro soixante-quatre

L : oui c'est ça (*il fait calcul*)

A : donc là ça nous fait (inaud.)+ divisé (inaud.)zéro cinq zéro cinq mètres seconde

L : zéro cinq (?)

A : oui tu le marques où ça (?) c'est quelle vitesse (?)

L : la vitesse de M1 (*la deuxième position dans la partie rectiligne*)

Ils mesurent la distance parcourue entre les deux positions et multiplient par deux. Le temps a été donné dans la consigne, ils multiplient les temps par deux aussi. Ils divisent la distance parcourue en temps.

Etape 3/4.3

L n'est pas sûr de la façon de calculer la vitesse et il pose la question au professeur.

L : monsieur il faut calculer la distance du point ou

P : où

L : ou la distance entre les deux intervalles

P : il vaut mieux dire que la vitesse ici c'est la vitesse moyenne sur l'intervalle [

L : ouais ouais

P : qui précède et qui suit c'est plus précis

L : oui mais par exemple pour ici on fait deux fois que ça après on divise par deux fois le temps

P : ben là là là tu ne peux pas puisque t'as qu'un intervalle

L : donc on prend la vitesse moyenne

P : voilà en plus en plus c'est une vitesse constante la vitesse moyenne est égale à la vitesse de n'importe point là on est sauvé là c'est une approximation tu te souviens on prend le point du milieu mais on prend la corde ainsi réalisé

A l'étape suivante, ils corrigent leur réponse.

Etape 3/4.4

A : et après une fois que t'as mesuré ça tu fais comment (?)

L : donc là c'est divisé par deux

A : ah bon ah donc on s'est planté

L : oui

A : ah ! non c'est zéro zéro trente-deux

L : oui ben ça fait pareil de toute façon

A : là c'est là et là c'est trente-deux millimètres

L : (inaud.)c'est cette distance-là

A : oui ça fait toujours zéro cinq mètres seconde

Etape 3/4.5

Ils passent à la mesure et au calcul de la valeur de la vitesse pour la partie circulaire.

A : comment tu fais pour les autres (?)

L : tu prend là tu la mesure et après tu divise par deux fois le l'intervalle de temps ici et ici

A : c'est quoi l'intervalle de temps (?)

L : 64 ms

A : ah ouais alors attends il faut que je marque là (10 s) ça fait quarante deux divise par (inaud.)

L : 0, 3 (*L fait des calculs*)

L : ça fait 4,2 (*il mesure la distance pour la position V7*)

A: ouais 4,2

L mesure la distance entre les deux positions, il ne calcule pas la distance parcourue.

Etape 3/4.6

L : alors (4s) ça fait 50 cm/ l'échelle (*il montre le tableau*)

A : échelle un c'est quoi échelle un (?) il faut que tu fasses quoi (?)

L : /c'est l'échelle un ça veut dire que quand tu vas mesurer tu vas pas multiplier pour avoir le résultat direct/ la distance (inaud.)

A : oui mais d'accord pourquoi tu changes le résultat (?)

L : tu convertis c'est tout

A : tu convertis en quoi (?)

L : en centimètres par seconde

A : ah (!) d'accord et pourquoi en centimètres par seconde (?)

L : parce que il nous a donner l'échelle au tableau un cm de notre vecteur ça va représenter 10 cm par seconde de la vitesse parce que tu sais en physique la vitesse est un vecteur

A : ah parce que les vitesses il faut qu'on les trace à l'échelle

L : oui alors regarde là il faut tracer un vecteur de 5 cm

A : ah d'accord je comprends

Pour représenter les vecteurs à l'échelle, ils convertissent les résultats du calcul.

Etape 3/4.7

Ils tracent les vecteurs vitesses, ils discutent concernant la direction et le sens du vecteur vitesse. L donne des explications à A.

A : dans quel sens tu le traces (?)

L : celui là (?)

A : oui

L : il faut le tracer dans le sens

A : M (?)

L : oui l'autre tu le traces à partir de M2/ tu fais un droit parallèle à à la corde

A : (inaud)

L : parce que c'est la vitesse de ce point là (position 4 ou 7)

A : pourquoi celui-ci tu le fais dans l'autre sens (?) (*position 1*)

L : parce que (*il indique le sens du mouvement avec sa main*)

A : celui-là il va descendre comme ça (*position 7*)

L : ouais il va descendre

A : et tu fais parallèle à ça (*position 1*)

L : oui

A : d'accord je commence à comprendre

L prend la tangente à la trajectoire et trace le vecteur vitesse en l'orientant dans le sens du mouvement.

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- Dans un mouvement rectiligne uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas
- On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps
- On trouve la distance en mesurant la distance entre les positions qui se trouvent plus près de ce point
- On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent

plus près de ce point, si il n'y a pas de ces deux positions alors on trouve la distance en mesurant la distance entre le deux points et on le multiplie cette valeur par deux, dans ce cas on multiplie le temps par deux

- L'unité de la vitesse est m/s
- La conversion $\text{mm/s} = \dots \text{m/s}$
- On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps
- On trouve la distance en mesurant la distance entre les positions qui se trouvent plus près de ce point
- La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné
- La vitesse moyenne suppose que l'objet garde la même valeur de la vitesse au cours de la trajectoire
- L'unité de la vitesse est m/s
- La conversion $\text{mm/s} = \dots \text{m/s}$
- La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse
- La vitesse est un vecteur
- La direction de la flèche est représentée en prenant la tangente
- Le sens de la flèche représente le sens du mouvement
- On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs
- Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur
- On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs
- Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur

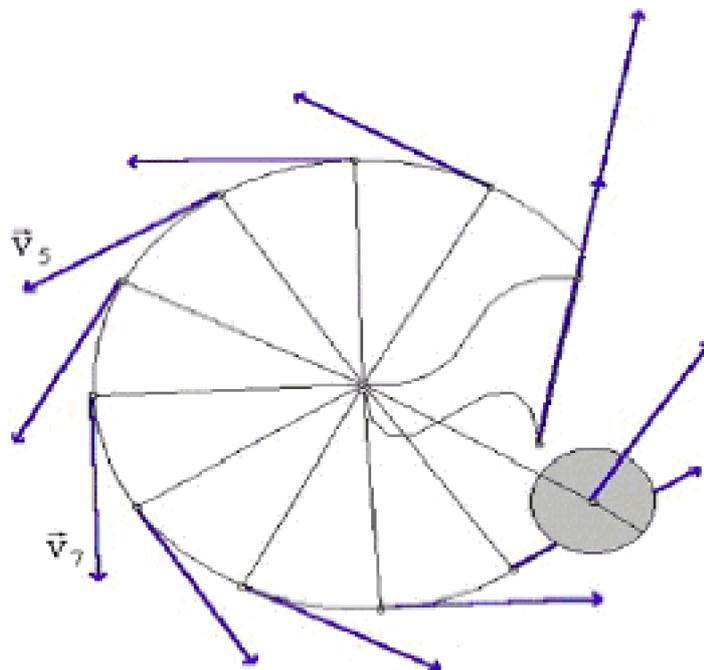
Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- Dans un mouvement rectiligne la vitesse de l'objet ne varie pas
- On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps
- On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent plus près de ce point
- L'unité de la vitesse est m/s
- La conversion $\text{mm/s} = \dots \text{m/s}$
- On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps
- L'unité de la vitesse est m/s
- La conversion $\text{mm/s} = \dots \text{m/s}$
- (Absence) La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse/ La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse

- On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs
- Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur
- On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs
- Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur

Episode 5a

Avant de répondre à cette question les élèves ont eu la correction de la question précédente.



Dans cette question, il s'agit de tracer à partir de la position 6, le vecteur "variation de vitesse" Δv entre les positions 5 et 7 $\Delta v = v_7 - v_5$

Etape 5a.1

A : (*lit la question*) ou là comment on trace le vecteur de la variation vitesse

L : tracer à partir de la position 6/ le vecteur variation de la vitesse delta v entre les positions 5 et 7

A : oui mais comment on fait pour calculer (?)

L : pour calculer c'est comme on a vu/ tu traces le moins vecteur V_5 en fait tu soustraites le vecteur V_7

A : eh ben ça fait/ ça fait comme ça

L : euh non

A : ben si V5 il est comme ça tu fait V7 moins V5 il est comme ça

L explique comment ils tracent le vecteur « la variation de la vitesse ». A propose de prendre le moins vecteur 5 et le mettre au bout de vecteur 7 mais L n'accepte pas.

Etape 5a.2

L : le vecteur de la variation de la vitesse il est là si on veut tracer à partir de la position 6 ouais c'est ça tracer à partir de la position 6 le vecteur moins V5 et tracer la variation de la vitesse

A : est-ce que V5 il est comme ça (?) il faut faire comme ça (?)

L : (inaud.) tracez à partir de la position six donc en fait (inaud.)

A : je crois qu'il faut faire ça parce que sinon c'est pas possible c'est pas faisable parce qu'après t'as une trop mauvaise précision sinon

L : tracer à partir de la position 6/ à partir de 6 il nous demande

A : je crois qu'il faut faire ça parce que sinon c'est pas possible c'est pas faisable parce qu'après t'as une trop mauvaise précision sinon (10s) putain comment on fait (?) (15s) et ben on va dire tu fais vecteur sept moins vecteur cinq ça te fait un point par là et après et après tu fais tu traces

Pour L, il faut représenter la variation de la vitesse en position 6, il sait faire la soustraction des deux vecteurs, il l'explique même s'il a des difficultés en particulier il ne trouve pas tout de suite où prendre l'origine des vecteurs. Néanmoins il obtient le vecteur variation de la vitesse.

Etape 5a.3

L : monsieur est-ce que pour pour des raisons de précision on peut tracer le vecteur moins V5 ici comme ça on a tiré le delta V et là on fait la parallèle

P : oui

L : ici (?)

P : absolument c'est une bonne façon oui je suis d'accord oui

A : parce que sinon si on fait direct la position six pour remettre [le vecteur sept

P : [oui voilà

A : et le vecteur cinq ça va être tro : :p imprécis

Ils demandent au professeur son avis sur la proposition de A concernant la soustraction vectorielle.

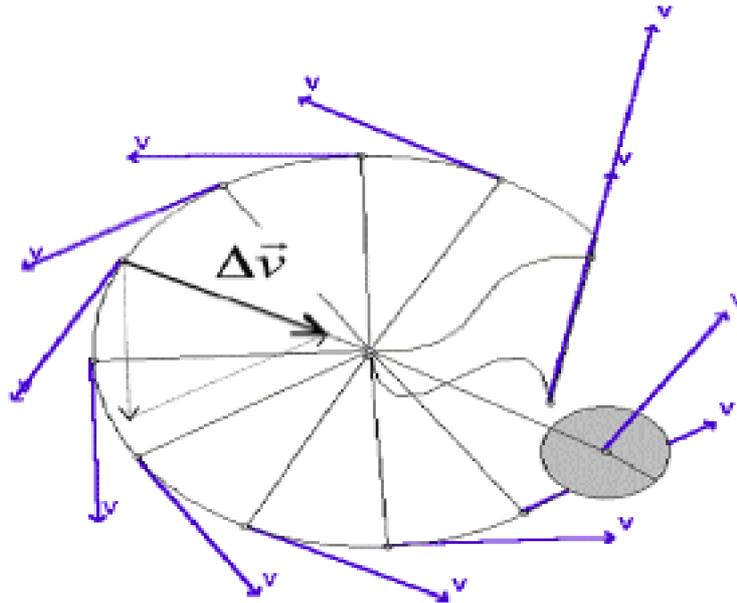
Dans cet épisode L et A mettent en jeu les facettes suivantes :

- On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs

- Pour la soustraction vectorielle on prendre le moins vecteur

Episode 5b

Avant de passer à cette question, le professeur donne la réponse de la question précédente. Dans cette question, il s'agit d'indiquer le sens et la direction du vecteur "somme des forces" à la position 6.



Etape 5b.1

A : qu'est-ce que tu fais (?)

L : je me demande où se trouve la somme de forces 3 5/ 3 5

A : apparemment ils sont tous pareils si c'est circulaire (?)

L : 3 5 (l)

A : trois cinq trois cinq trois cinq oui parce que si c'est fait sous un coup tel qu'il n'y a pas de frottements il ne va pas ralentir donc ça va tourner toujours pareil

L cherche à trouver la somme de forces, il mesure les longueurs des vecteurs vitesses. Pour A les longueurs des vecteurs vitesses sont pareilles parce qu'il n'y a pas de frottements.

Etape 5b.2

L : c'est pour tracer le vecteur du somme des forces indiquer le sens et la direction

A : la somme des forces c'est quoi la somme des forces (?)

L : c'est la somme de toutes ces forces ici

Nous constatons que A ne connaît pas la somme des forces, L l'explique.

Etape 5b.3

L : la relation de la dynamique et ben c'est ça c'est la relation de la dynamique monsieur/ tiens regarde la relation de la dynamique nous on ne peut pas l'utiliser parce que ça soit= et puis le principe d'inertie c'est le vecteur rectiligne uniforme regarde ici si la vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle

A : mais elle varie pas la vitesse du centre d'inertie

L : oui ah

A : enfin elle varie en fait entre là et là et après elle ne varie plus

L : mais elle ne varie pas c'est un cercle c'est ça monsieur

A : non mais regarde là de là jusqu'à là elle varie

L : mais là c'est un instant à partir de que le fil soit tendu ça ne varie plus monsieur

Ils discutent sur la variation de la vitesse pour le mouvement circulaire. Pour L et A la vitesse de l'objet ne varie pas au cours du mouvement circulaire uniforme. Il faut remarquer que lors de l'épisode 5a L et A ont tracé le vecteur variation de la vitesse. Ici ils affirment que la vitesse ne change pas. Ainsi, ils n'établissent aucun lien avec leur construction vectorielle de la variation de la vitesse faite quelques minutes auparavant.

Etape 5b.4

L : monsieur est-ce que là pour indiquer le sens et la direction du vecteur somme des forces

P : oui

L : est-ce qu'on peut utiliser la relation de dynamique (?) si la vitesse du centre d'inertie elle varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle

P : oui

L : et si la vitesse du centre d'inertie ne varie pas / on peut dire que la somme des forces elle est nulle

P : [c'est pour ça que

L : [ben c'est ce qui passe (?) parce que on ne peut pas utiliser le principe d'inertie c'est pas rectiligne uniforme mais c'est circulaire uniforme

P : oui mais est-ce que la vitesse varie (?)

A : [ben elle varie de là à là

L : [elle ne varie pas

P : non non mais dans le mouvement uniforme (?)

A : et ben non

P : la vitesse au sens de la physique pas au sens de[

L : [le vecteur vitesse il ne varie pas il est toujours= ah non non il change

P : il change de direction ça suffit pour dire qu'il varie en physique

A: ah d'accord

P : la vitesse en physique n'a pas le même sens que la vitesse dans la vie de tous les jours on parle pas de vecteur dans la vie de tous les jours

Ils discutent sur la variation de la vitesse pour le mouvement circulaire uniforme. Il semble qu'ils prennent en compte que la valeur de la vitesse ne varie pas mais que la direction de la vitesse change dans un mouvement circulaire uniforme.

Etape5b-5

Ils avaient déjà représenté les forces exercées sur le véhicule dans la question 1, mais L les représente encore une fois.

L : ben la somme des forces elle va vers l'intérieur non

A : alors je ne sais pas / je ne sais pas du tout ce que c'est le vecteur du somme des forces

L : elle est vers l'intérieur/ pareil en fait la somme des forces est les vecteurs forces (inaud.) parce que regarde quand on va le tracer si tu veux

le sol qui

A : [qui :: agit

L : [qui :: s'annule avec la terre il reste plus que la force exercée par le fil et logiquement ça va être dans ce sens (6s) au moins que après vérifier que ceci généralise la conclusion de l'activité 1

Episode 5c

Il s'agit de comparer la direction et le sens des deux vecteurs "variation de vitesse" et "somme des forces" et de vérifier que ceci généralise la conclusion de l'activité 2.

Etape 5c.1

L : monsieur le vecteur là le vecteur de la somme des forces y a sol qui s'annule un peu avec la terre

P : pas un peu carrément

L : oui qui s'annule avec la terre

P : exactement

L : il y a le il y a le il y a le

A : il y a plus que la force du fil

P : la force exercée PAR le fil

L : par le fil

P : oui c'est ça

L : donc ils sont confondus les deux vecteurs

P : pas confondus mais (?)

L : ben ils sont quoi

P : colinéaires et de même sens

L : oui colinéaires et de même sens

P : est-ce que ça correspond à une loi qui te dit quelque chose (?)

L : ouais

A : colinéaires et de même sens

P : c'est quelle loi qui dit ça dans le modèle (?)

Après la représentation vectorielle de la vitesse, pour L les deux vecteurs sont confondus.

Etape 5c.2

A : oui j'ai fait ça hier non je ne l'ai pas eu

L : ah ça justement c'est ce qu'on a vu ici avec les tracés

A : c'est avant les lois de la mécanique (20secondes)

P : ah oui oui oui alors on n'a pas été clair c'est pas la conclusion de l'activité un c'est la conclusion de l'activité deux sur la fin de la question

A : la conclusion de l'activité deux elle est là vecteur V1 sur vecteur V2 la somme des forces colinéaires et de même sens (inaud.)deuxième loi de Newton c'est ce que j'ai rattrapé hier

L : ah ouais c'est la relation du dynamique c'est l'exemplaire monsieur

A : donc t'avais raison depuis le début tu dis ça tu sais le truc que je n'ai pas il faut que je le demande

Ils lisent la conclusion de l'activité 2 et le texte du modèle. Pour L et A, ils voient qu'il s'agit du relation dynamique.

Les Facettes en jeu au cours de l'activité 3

Les deux listes ci-dessous donnent les facettes dans leur ordre d'utilisation par les élèves L et par A (tableaux 1 et 2)

A3 Q1	20. La Terre exerce toujours une force sur les autres objets	F_D13
	21. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets.	F_D12
	22. Le mouvement de l'objet est circulaire quand sa trajectoire est un cercle	TM_C50 F_D12
	23. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets	F_D6
	24. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D14
	25. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas	F_D12
	26. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets.	F_D13
	27. La Terre exerce toujours une force sur les autres objets	F_D6
	28. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D14
	29. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas	F_D13
	30. La Terre exerce toujours une force sur les autres objets	F_D12
	31. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets	Vi_C71
	32. La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné	Vm_C62
	33. La vitesse moyenne est la distance divisée par la durée mise pour parcourir cette distance	Vi_C71
	34. La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné	Vi_C62
	35. Le vecteur vitesse instantanée d'un point a une direction, un sens, une valeur	Rc_C125 Rc_C123 Rc_C140
	36. Le sens de la flèche représente le sens du mouvement	F_D17
	37. La direction de la flèche est représentée en prenant la tangente	F_D6
	38. On calcule la vitesse angulaire en divisant l'angle en radian par le temps	F_D17
39. La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas	F_D17	

Tableau 1 : facettes dans leur ordre d'utilisation par L au cours de l'activité 3.

A1 Q2	<p>40. La force dont A exerce une action sur B détermine l'intensité du sens de la force exercée par A sur B.</p> <p>41. La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas.</p> <p>42. La force dont A exerce une action sur B détermine l'intensité du sens de la force exercée par A sur B.</p> <p>43. Le mouvement de l'objet est uniforme quand la valeur de sa vitesse ne change pas.</p> <p>44. Le mouvement d'objet est rectiligne quand sa trajectoire est une droite.</p> <p>45. Le mouvement d'objet est circulaire quand sa trajectoire est un cercle.</p>	<p>F_116</p> <p>TM_C06</p> <p>TM_C50a</p> <p>TM_C50</p>
Q3 Q4	<p>46. Dans un mouvement rectiligne uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas.</p> <p>47. On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps.</p> <p>48. On trouve la distance en mesurant la distance entre les positions qui se trouvent plus près de ce point.</p> <p>49. On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent plus près de ce point, si il n'y a pas de ces deux positions alors on trouve la distance en mesurant la distance entre le deux points et on le multiplie cette valeur par deux, dans ce cas on multiplie le temps par deux.</p> <p>50. L'unité de la vitesse est m/s.</p> <p>51. La conversion m/s en ... m/s.</p> <p>52. On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps.</p> <p>53. On mesure la distance en mesurant la distance entre les positions qui se trouvent plus près de ce point.</p> <p>54. La valeur de la vitesse instantanée d'un point est la valeur de sa vitesse moyenne calculée entre deux instants très proches et voisins d'un instant donné.</p> <p>55. La vitesse moyenne suppose que l'objet garde la même valeur de la vitesse au cours de la trajectoire.</p> <p>56. L'unité de la vitesse est m/s.</p> <p>57. La conversion m/s en ... m/s.</p> <p>58. La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse.</p> <p>59. La vitesse est un vecteur.</p> <p>60. La direction de la flèche est représentée en prenant la tangente.</p> <p>61. Le sens de la flèche représente le sens du mouvement.</p> <p>62. On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs.</p> <p>63. Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur.</p> <p>64. On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs.</p> <p>65. Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur.</p>	<p>TM_C01</p> <p>Ra_C143</p> <p>Ra_C141</p> <p>Ra_C142</p> <p>Ra_C139</p> <p>Ra_C141</p> <p>Ra_C143</p> <p>Ra_C141</p> <p>M_C01</p> <p>Via_C05</p> <p>Ra_C130</p> <p>Ra_C144</p> <p>Ra_C121</p> <p>M_C00</p> <p>Ra_C120</p> <p>Ra_C119</p> <p>Ra_C150</p> <p>Ra_C151</p> <p>Ra_C150</p> <p>Ra_C151</p>
A3 Q5 h	<p>66. La somme de forces est l'addition vectorielle des forces exercées sur l'objet.</p> <p>67. La vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle.</p> <p>68. Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse de l'objet ne varie</p>	<p>Ra_D100</p> <p>LDa_D00</p> <p>TM_C10</p>

pas	FDv_D50
69. La relation dynamique est « si la vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle»	FM_D31
70. On peut utiliser le principe d'inertie pour le mouvement rectiligne uniforme	FM_D32
71. On ne peut pas utiliser le principe d'inertie pour le mouvement circulaire uniforme	TM_C43 TM_C50e
72. Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse ne varie pas	
73. Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse varie quand la direction de la vitesse change, ça veut dire que la vitesse varie	FDv_D50c
74. Le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens	FDv_D50e
75. Le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens	FDv_D50d
76. La relation dynamique est «le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens»	

Tableau 2 : facettes dans leur ordre d'utilisation par A au cours de l'activité 3.

	A	
A3 Q1	1. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 2. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas 3. La Terre exerce toujours une force sur les autres objets 4. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets 5. La force exercée par la Terre et la force exercée par le sol ne sont pas les mêmes forces 6. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D6 F_D14 F_D13 F_D12 F-D19 F_D6
A3 Q2	7. Le mouvement d'objet est rectiligne quand sa trajectoire est une droite 8. Le mouvement d'objet est circulaire quand sa trajectoire est un cercle	TM_C50a TM_C50
A3 Q4	9. Dans un mouvement rectiligne la vitesse de l'objet ne varie pas 10. On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps 11. (Absence) On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent plus près de ce point / On trouve la distance en mesurant la distance entre les deux positions qui se trouvent plus près de ce point 12. L'unité de la vitesse est m/s 13. La conversion mm/s = ... m/s 14. On calcule la vitesse d'un point en divisant la distance par le temps 15. L'unité de la vitesse est m/s 16. La conversion mm/s = ... m/s 17. (Absence) La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse/ La longueur de la flèche représente la valeur de la vitesse. 18. On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la	TM_C41 Re_C143 Re_C141 Re_C130 Re_C144 Re_C143 Re_C130 Re_C144 Re_C121 Re_C150

Tableau 2 : facettes dans leur ordre d'utilisation par A au cours de l'activité 3.

	<p>soustraction des deux vecteurs</p> <p>19. Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur</p> <p>20. On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs</p> <p>21. Pour la soustraction vectorielle on prend le moins vecteur</p>	<p>Rc_C151</p> <p>Rc_C150</p> <p>Rc_C151</p>
A3 Q3-b	<p>22. Dans un mouvement circulaire, le longueur des vecteurs de la variation de la vitesse sont pareils</p> <p>23. Si il n'y a pas de frottement la vitesse de l'objet ne change pas</p> <p>24. Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse de l'objet ne varie pas</p> <p>25. Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse varie quand la direction de la vitesse change, ça veut dire que la vitesse varie</p> <p>26. Le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens</p> <p>27. La relation dynamique est «le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens»</p>	<p>TM_C50F</p> <p>-</p> <p>TM_C43</p> <p>TM_C50e</p> <p>FDv_D50c</p> <p>FDv_D50d</p>

Le tableau 1 montre que L utilise une variété de connaissances dans les question Q1 et Q5b. Cependant dans la question 1, il n'y pas de facette mettant en jeu des relations entre force et vitesse ou variation de la vitesse alors que la question Q5b favorise les relations entre force et variation de la vitesse. Les questions 2, 3, et 4 favorisent la mise en œuvre des représentations vectorielles. On voit que, dans toutes les questions, L met en œuvre le mouvement, soit son type (TM) soit sa relation avec la force (FM)

Le tableau 2 montre que A mobilise une moins grande variété de connaissances et que chaque question est associée quasiment à une seule « grande facette ». On peut penser que les relations entre facettes sont moins fortes (voire inexistante) chez A que chez L.

Importance respective des conceptions et des connaissances enseignées

Il ressort de la liste du tableau 3 qu'aucune des facettes mobilisées ne relèvent des conceptions dans le domaine de la dynamique. Cette activité ne met pas en jeu une situation matérielle complexe, les premières questions portent sur les représentations vectorielles de la vitesse, de sa variation et de la force et les questions suivantes portent sur les relations entre les vecteurs. Cependant, comme nous l'avons noté, L et A utilise la conception cinématique que dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse ne varie pas (épisode 5b3) alors que quelques minutes avant (épisode 5a) ils ont construit le vecteur variation de la vitesse. Cette conception paraît donc suffisamment prégnante pour ne pas établir de lien avec leur réalisation antérieure.

<p>Force</p> <p>Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigé verticalement vers le bas La Terre exerce toujours une force sur les autres l'objet</p> <p>Type de Mouvement</p> <p>Le mouvement d'objet est rectiligne quand sa trajectoire est une droite Le mouvement de l'objet est circulaire quand sa trajectoire est un cercle <i>Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse ne varie pas</i> <i>Dans un mouvement circulaire uniforme la vitesse varie quand la direction de la vitesse change, ça veut dire que la vitesse varie</i></p> <p>Force et la variation de la vitesse</p> <p>La vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle La relation dynamique est « si la vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle » La relation dynamique est « le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens ».</p>
--

Tableau 3 : facettes utilisées par L et A au cours de l'activité 3.

Les évolutions repérées au cours de l'activité 3

Dans l'activité 3, il y a des évolutions pour les deux élèves.

Cas de L

Pour L, nous constatons une évolution à l'étape 5b.4 qu'on identifie à partir de l'étape précédente. Lors de l'étape 5b.3 L considère que la vitesse ne varie pas dans un mouvement circulaire. Dans cette étape (5b.4) il commence par proposer la même chose puis il change d'avis en prenant en compte la direction. Ainsi à la fin de cette étape, L considère que la variation de la vitesse n'est pas seulement le changement de la valeur de la vitesse mais aussi le changement de la direction de la vitesse.

Cas de A

Comme nous l'avons déjà précisé, A vient de changer de classe. Au cours de cette activité, nous constatons des changements internes à une étape et des évolutions entre étapes.

- A fait une distinction entre la force exercée par la Terre et la force exercée par le sol dans l'épisode 1b – étape 1.

- A ne sait pas représenter le vecteur vitesse. Au cours de l'épisode 3-4 il apparaît les points suivants :

est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

- à travers les étapes 3-4.1, 3-4.2 et 3-4.3, A évolue en termes de mesure et de calcul de la valeur de la vitesse en un point,
 - à l'étape 3-4.4, A modifie les relations entre la valeur de la vitesse et la longueur du vecteur,
 - à l'étape 3-4.5, A modifie la façon de représenter la direction du vecteur vitesse,
 - à l'étape 3-4.5, A établit une nouvelle relation entre le sens du vecteur vitesse et le sens du mouvement de l'objet.
- A ne sait pas représenter le vecteur de variation de la vitesse. A l'étape 5a.1, il évolue concernant la représentation de la variation de la vitesse il fait une soustraction de deux vecteurs en prenant le « vecteur moins ».
- A donne un nouveaux sens à la variation de la vitesse. A l'étape 5b.4, il considère que la variation de la vitesse n'est pas seulement le changement de la valeur de la vitesse mais aussi le changement de la direction de la vitesse.
- A ne sait pas ce qui veut dire la somme des forces. A l'étape 5c.1, il évolue concernant la somme des forces.
- A évolue concernant la relation dynamique à travers les étapes 5c.1, 5c.2 en considérant que le vecteur de la variation de la vitesse et la somme de forces sont colinéaires et de même sens, il s'agit de la relation de la dynamique

Chapitre 3 Analyse de l'activité 4 : Pousser sur un mur

Enoncé

Dans cette activité, un élève pousse sur un mur, il s'agit de demander l'explication de l'immobilité de l'élève (une situation de mise en mouvement a été faite par les élèves à la maison).

Situation Un élève, debout sur le sol, pousse horizontalement sur un mur (vertical)^{1°}. Réaliser l'expérience (vous avez le droit de pousser fort !) et décrivez en quelques phrases ce que vous ressentez

2°. a) Faire le diagramme élève – interactions

b) Faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le système «élève ». Nommer chacune des forces en précisant quel système exerce et quel subit chacune d'elles.

3°. En vous servant de l'expérience que vous venez de faire, proposer une représentation de la force exercée par le sol sur l'élève en expliquant ce qui vous a poussé à proposer cette réponse.

4°. En utilisant les lois de la mécanique, dites si les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent ou si elles ne se compensent pas. Indiquer la (ou les) loi(s) au(x)quel(les)

vous vous référez pour répondre.

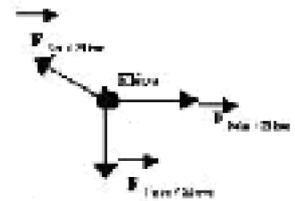
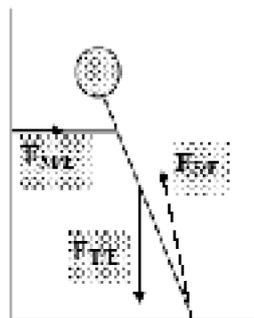
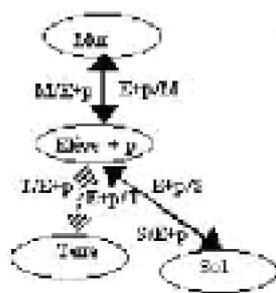
5°. (Attention, pour répondre à cette question vous devrez prendre en compte vos réponses précédentes). Représenter (à une échelle que vous indiquerez) toutes les forces qui s'exercent sur l'élève. Vous pourrez donner successivement deux réponses :

- pour l'une, l'élève sera schématisé (les pieds joints) et vous représenterez les forces en tenant compte de l'endroit où elles s'exercent,
- pour l'autre, l'élève sera représenté par son centre d'inertie et tous les vecteurs auront cette origine.

Réponse attendue

1. Cette question a le but de se familiariser avec la situation et permettre aux élèves d'analyser cette situation en termes des actions exercées et des sensations.

Questions 2 : diagramme élève - Question 5 représentation des forces interactions



Réponses des élèves et analyse

Episode 1

L et A font l'expérience, et ils discutent sur leurs sensations.

L : réaliser l'expérience

A : tu sens le poids du corps sur les bras déjà

L : sur les mains déjà tu sens la pression

A : ouais mais tu sens ouais tu sens le poids du corps sur les bras

L : oui (.) tu sens aussi=tu sens aussi sur les mains

A : oui mais attends il faut qu'on fasse ça ordonné

L : sur les jambes aussi tu le sens/ sur les jambes tu le sens

A : non justement moi je dirais que tout le poids du corps arrive sur les bras

L : ah bon (!)

A : ah ben ouais

L : comment tu résistes sans tes jambes tu trouves pas le corps à l'extrême droit et faire [

A : grâce à tes jambes c'est tes jambes qui renvoient le poids de ton corps sur les bras/ mais si c'est ça tu es pas d'accord (?)

L : non tu as aussi la force dans les jambes

A : refais-le tu verras quand tu pousses ça va sur les bras

L : oui c'est clair mais t'en as encore dans les jambes

A : oui mais le poids du jambes=la force du jambes renvoie le poids du corps sur le bras

Pour A, les sensations distinctives sont surtout celles ressenties sur les bras et en deuxième lieu celles ressenties dans les mains. Pour L, les jambes interviennent aussi, de plus les jambes expliquent les sensations ressenties sur les bras.

Episode 2a

Il s'agit de faire le diagramme élève – interactions.

Etape 2a.1

En ce qui concerne le diagramme élève-interactions, L représente correctement le diagramme interactions. A a des difficultés, il ne connaît pas le diagramme-interaction :

A : c'est quoi ça (?) c'est le diagramme (?) c'est quoi ça (?) (*il regarde la feuille de L*)

L : oui c'est comme ça on fait le diagramme interactions

A : alors c'est quoi quand on met des flèches et tout

L : ça c'est le diagramme des forces

A : il y a rien d'autre je crois

L : ah si il y doit avoir le sol

L construit le diagramme élève – interactions. A partir de leurs productions écrites on voit que L représente correctement le diagramme élève – interactions. Quant à A, on peut dire qu'il fait une distinction entre le diagramme système-interactions et le schéma des forces.

Etape 2a.2

A copie la feuille de L, nous constatons que A ne prend pas en compte la différence entre la représentation de l'interaction de contact et la représentation de l'interaction à distance.

CH : pourquoi vous avez mis= tout est en pointillés

A : oui

L : ben oui c'est pas des pointillés

A : pourquoi (?)

L : parce que ça c'est la distance/ la terre et ça c'est un contact direct t'es en contact direct avec le sol t'es en contact direct avec le mur

A : j'en sais rien moi

CH : et toi comment t'as fait (?)

L : comme ça

CH : d'accord

A : et ben moi je ne l'ai pas fait ça l'année dernière / voilà (2s) fais voir (3s) et ben c'est pareil

L : non mais il faut le faire

A fait la distinction entre la représentation de l'interaction de contact et la représentation de l'interaction à distance à partir d'une question posée par un autre élève et de l'explication de L.

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- Quand il y a des bulles et double flèche c'est le diagramme d'interaction
- Quand il y a des flèches c'est le diagramme de forces.
- Quand deux objets en contact, il s'agit d'une interaction de contact.
- Il y a deux types d'interaction ; de contact et à distance
- Quand deux objets sont en contact il s'agit d'une interaction de contact
- Il y a des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance
- Entre la Terre et les objets, il s'agit d'une interaction à distance
- L'interaction de contact est représentée par une double flèche en traits pleins
- L'interaction à distance est représentée par une double flèche en pointillés

Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- Quand il y a des bulles et double flèche c'est le diagramme d'interaction
- Quand il y a des flèches c'est le diagramme de forces.
- Il y a des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance.

Episode 2b

Il s'agit de faire l'inventaire des forces qui s'exercent sur le système « élève » et de nommer chacune des forces en précisant celui qui système exerce la force et celui qui la subit.

Etape 2b.1

est protégé en vertu de la loi du droit d'auteur.

Concernant les forces qui s'exercent sur l'élève, L et A n'ont pas de difficulté. Ils font l'inventaire des forces en disant ;

L : ici regarde la force de la terre et la force du mur

A : [la force du sol

L : [la force du sol

Etape 2b.2

Concernant la précision des systèmes en termes de « *quel système exerce et quel subit* », L se pose des questions.

L : monsieur nommer chacune des forces en précisant quel système exerce et quel système subit

P : quel système subit oui

L : oui mais [

P : [quel système exerce et quel système oui [

L : [oui le système qui [

P : [ce que je veux que tu me dises c'est la force exercée PAR SUR tu me dis pas [

L : [mais c'est les deux les deux ils exercent

A : non

L : les deux ils subissent

P : ouais mais [

L : [mais si c'est ça / ça va [

A : [oui mais je pense que le mur il exerce une plus grande force parce que on a vraiment :: nous on subit tes bras ils subissent

L : ben tu subis la force de la terre

P : exercée PAR la terre tu as écrit ça dans ton ton compte-rendu (?)

L : oui quand on fait=on exerce une force sur le mur

P : alors qu'est-ce que je te demande (?) de me nommer les forces que tu exerces ou les forces que tu subis (?)

L : qui s'exercent

P : voilà SUR l'élève

L : oui mais ici quel système exerce et quel système subit

P : je te parle des forces que subit l'élève donc tu vas me dire à chaque fois que c'est subi par l'élève voilà tu me dis qui exerce et qui subit c'est ça que je veux que tu me dises parce que vous avez tendance à me dire force de la terre quand tu dis ça c'est que [

A : [ça ne veut rien dire

P : d'une certaine façon tu le penses ça ne veut rien dire oui il faut que tu dises la

force exercée PAR un système sur un autre en physique en tout cas

A : donc le mur exerce une force sur l'élève / le sol exerce une force sur l'élève etc.

Nous constatons que L raisonne en termes d'interaction, nous avons l'impression qu'il ne comprend pas l'énoncé.

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets
- La Terre exerce une force sur les autres objets
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigé vers le bas.
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B

Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité)

Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets
- La Terre exerce une force sur les autres objets
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas.
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Si un objet A exerce une force sur B, B n'exerce pas nécessairement une force sur A
- Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité)
- Les intensités des forces exercées mutuellement ne sont pas égales

Episode 3

Il s'agit de proposer une représentation de la force exercée par le sol sur l'élève en expliquant les raisons de cette réponse.

Etape 3.1

Les élèves représentent la force exercée par le sol sur l'élève. Pour L et A, la force exercée par le sol sur l'élève est verticale, vers le haut, ils sont d'accord sur la direction et sur le sens.

L : en vous servant de l'expérience que vous venez de faire proposer une représentation de la force exercée par le sol sur l'élève

A : ah ben c'est pas dur

L : ben la force

A : oui (.) (3s) non dans le sol si tu mets le sol là attend

L : regarde le tableau

A : là regarde c'est comme ça

L : oui le sol sur l'élève

A : ah oui d'accord j'ai cru que tu me disais dans l'autre sens j'ai eu peur

Etape 3.2

Concernant l'explication de cette représentation :

L : en expliquant en expliquant ce qui vous a poussé à proposer cette réponse

A : c'est le sol qui pousse l'élève qui pousse le mur

L : donc là t'es comme ça on va représenter les flèches vers le haut et après il faut dire pourquoi on peut dire que l'élève exerce une force sur le sol vers le bas parce qu'on pose dessus et le sol [

A : [ouais on le pousse on pousse sur le sol

L : et le sol lui il fait l'inverse elles se compensent voilà

A : ben ouais (.)

L : voilà

A : donc

L : c'est comme ça

A : donc comment on fait (?)

L : déjà on dessine le les vecteurs

L explique cette représentation en prenant les paires des forces d'interaction.

Etape 3.3

A : monsieur monsieur monsieur c'est où qu'il faut faire le mur et le sol là (?)

P : dans la représentation que je sache c'est sur le sol ça (?)

A : oui

L : le sol sur l'élève

P : bon voilà non oui non (inaud.) ce que je veux c'est que tu me montres qu'il y a un mur ici qu'il n'y ait pas d'ambiguïté c'est ça que tu fais (?)

A : oui

P : voilà c'est tout / voilà

Il s'agit d'une discussion concernant la représentation schématique.

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité)

- Les intensités des forces exercées mutuellement sont égales
- Le sens de la flèche représente le sens de la force

La direction de la flèche représente la direction de la force

Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Une force se transmet aux objets par contact direct
- L'objet est représenté par un point
- Le sens de la flèche représente le sens de la force
- La direction de la flèche représente la direction de la force

Episode 4

Il s'agit de dire, en utilisant les lois de la mécanique, si les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent ou si elles ne se compensent pas et d'indiquer la (ou les) loi(s) au(x)quel(les) ils se sont référé (es).

Etape 4.1

Nous constatons que pour L, les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent mais pour A ne se compensent pas. Pour L, il s'agit du principe d'inertie.

A : donc il faut qu'on passe à la quatre mais c'est les lois de la mécanique et moi je n'ai pas le truc

L : mais si c'est ça/ c'est l'autre peut-être

A : sur Newton (?)

L : ouais c'est la première loi de Newton

A : ah d'accord

L : en utilisant les lois de la mécanique dites si les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent ou si elles ne se compensent pas/ se compensent

A : non

L : si

A : non

L : si

A : non parce que tu ressens pas la force du sol mais tu ressens la force du mur

L : mais regarde moi je vais citer un truc c'est

A : non tu ressens pas la force non

L : principe d'inertie/ si la vitesse / euh si la somme des forces non/ si la vitesse du

centre d'inertie d'un système (lit le texte du modèle)

A : et comment tu le sais ça (?)

L : la somme des force qui s'exercent sur le système est nulle/ si la somme des forces qui s'exerce sur le système ah ben oui mais non

A : ouais mais tu n'en sais rien ça

L : non mais non mais il y a un autre truc c'est[

A : [c'est là les forces sont d'intensité égale et de sens opposé

L : non

A : si / la force exercée par A sur X et la force exercée par X sur A sont d'intensités égales et de sens opposé / deux forces

L : oui c'est ce qu'on a expliqué

A : non non c'est autre chose –il continue à le lire-

Etape 4.2

L : monsieur pour là pour ::

P : en utilisant les lois de mécanique oui

L : pour le principe là c'est le principe d'inertie non (?)

P : mm

L : dans le principe d'inertie y a pas si une condition qu'il dit que si la vitesse du centre d'inertie elle est nulle on dit (inaud.) les forces se compensent

P : nulle c'est un cas particulier dans les vecteurs constants

L : ah ouais

P : si la constante et nulle

L : ah bon c'est ça

L cherche le relation entre l'immobilité et les sommes des forces en utilisant le texte du modèle où principe d'inertie a été mis comme « si la vitesse du centre d'inertie d'un système est un vecteur constant alors la somme des forces qui s'exercent sur le système est nulle ; si la somme des forces qui s'exercent sur un système est nulle alors la vitesse du centre d'inertie du système est un vecteur constant ».

Etape 4.3

A : donc en fait là on a le poids du corps quoi et la force exercée :

L : quand toi tu pousses comme ça [

A : la force du mur et du sol s'annulent

L : en fait tu es là comme ça il y a/ l'année dernière on avait vu le principe d'inertie c'était soit euh :: les forces elles se compensaient soit l'objet il ne bougeait pas comme là

les forces elles se compensent soit il y a un mouvement rectiligne uniforme/ donc c'est à dire si le vecteur il est constant c'est-à-dire le même direction le même sens même longueur c'était/ il nous a dit/ là aussi le vecteur là/ on peut noter si la vitesse du centre d'inertie d'un système est un vecteur constant alors la somme des forces qui s'exerce sur le système est nulle ici le vecteur constant est nul

A : mais ça veut dire que en fait toutes les forces il reste plus que la force de la terre

L : non même pas toutes les forces elles s'annulent

A : pouff attends il faut que je relises le résumé (10s) en effet en effet mais je ne suis pas sûr que :: je me demande s'il n'y a pas une force qui s'annule pas

L : mais si les forces/ là regarde/ est un vecteur constant alors LA SOMME des forces qui s'exercent sur le système s'annule

A : donc toutes les forces s'annulent donc t'as raison donc c'est ::

L : toutes les forces qui s'annulent

A : bon ben d'accord / c'est par rapport à la à la premier loi de Newton

L : le principe d'inertie

A : non parce qu'ils disent indiquez la loi et les lois auxquels vous vous référez

L : le principe d'inertie c'est une loi/

L explique à A les conditions de dire que les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent.

Etape 4-4

Il y a une discussion au sein du binôme concernant la façon d'écrire la réponse. Il apparaît que L reprend le changement réalisé dans l'étape 4-2 sur les conditions du principe d'inertie concernant la vitesse : la vitesse nulle est un cas particulier de la vitesse constante.

L : alors d'après le principe d'inertie si la vitesse du centre d'inertie est un vecteur constant ici est un vecteur nul alors la somme des forces regarde la somme des forces qui s'exerce sur le système est nulle d'accord (?)

A : je mets d'après le principe d'inertie ou la première loi de Newton (4s) on peut dire que que toutes les forces s'annulent

L : mais non tu prend le truc ici

A : non non moi je vais pas lui recopier son truc il le connaît il faut que tu lui expliques/ comment tu l'expliques toi parce que c'est lui qui a fait le cours donc il le connaît son truc on ne vas pas copier son truc ben fais comme tu veux mais moi je vais pas lui recopier son truc il le connaît

L : ben ouais

Etape 4-5

L continue à expliquer pourquoi ils réfèrent au principe d'inertie.

L : ici c'est un vecteur constant et nul

A : non (inaud.)

L : il est un vecteur constant et nul/ regarde d'après le principe d'inertie nous on sait que les forces se compensent donc on s'en foute donc la vitesse du centre d'inertie d'un système donc là de l'élève c'est un vecteur constant sauf que ici c'est vecteur constant il est nul

A : et pourquoi (?)

L : parce que tu bouges pas t'es vecteur constant ça va être ça ça ça sinon le vecteur constant s'il était uniforme il serait toujours comme ça comme ça comme ça avec le même longueur toujours le même sens le même direction

A : donc si nous on ne bouge pas le vecteur il est nul

L : ouais

A : mais si on bougerait en même temps si on poussait en avançant sera un vecteur comment (?)

L : ben si tu pousses mais là tu pousses pas tu n'avances pas

A : oui mais

L : ben ça serait pas ça serait pas justement tu seras pas =tu pourrais pas utiliser le principe d'inertie mais quand tu pousses le mur généralement tu bouges pas/ là regarde il nous demande après/ sur le sol (inaud.)

A : donc là/ donc/ donc le vecteur/ la vitesse du centre d'inertie est un vecteur nul non c'est CAR la vitesse

L : ouais

A : non c'est car la vitesse

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent
- Les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent selon le principe d'inertie
- Si la vitesse d'un objet est nulle, les forces exercées sur l'objet se compensent
- Si la vitesse (v) de l'objet ne change pas, la somme de forces est nulle
- Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent, soit le mouvement est rectiligne uniforme, soit l'objet est immobile
- Le vecteur vitesse est constant quand il a la même direction, le même sens, la même longueur
- Le principe d'inertie et la première loi de Newton veulent dire la même chose
- Un objet est en mouvement quand l'objet se déplace

Si la vitesse (v) de l'objet ne change pas, la somme de forces est nulle

Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- La compensation nécessite plusieurs forces
- Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent
- Le principe d'inertie et la première loi de Newton veulent dire la même chose
- Les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent selon le principe d'inertie
- Un objet est en mouvement quand l'objet ou une partie de l'objet bouge
- Un objet est en mouvement quand l'objet se déplace

Episode 5

Il s'agit de la représenter toutes les forces qui s'exercent sur l'élève en deux façons : pour l'une, l'élève sera schématisé (les pieds joints), pour l'autre, l'élève sera représenté par son centre d'inertie.

Etape 5.1

L : attention pour répondre à cette question vous devrez prendre en compte vos réponses précédentes

A : donc pour un schéma on va faire

L : attends

A : on va faire un truc à peu près comme ça pour l'autre ça sera juste un point

L : ouais

A : d'accord et l'échelle [

Ils lisent la question, pour A on voit que la représentation par le centre d'inertie veut dire représenter l'élève par un point.

Etape 5.2

L : [donc les forces elles s'exercent ici ici

A : et là encore là la Terre

L : ouais mais la Terre justement je ne sais pas une distance je ne sais pas

A : je pense qu'il faut prendre là au milieu

L : au milieu peut-être non mais la Terre elle exerce partout (3s) ah ouais c'est ça l'outil mathématique (3s) donc[

A : [non c'est pas ça [

L : [le sol non attends regarde le sol il va vers le haut

A : le mur ben il va comme ça la terre elle va comme ça

L : la Terre elle va comme ça disons que à la fin il faut qu'on obtient au moins que on pousse le mur on pousse comme ça tu pousse comme ça il faut que le sol est comme ça

Nous constatons que L a des hésitations sur direction de la force exercée par la Terre, en disant que la Terre exerce partout une force à distance.

Etape 5.3

Pour L, il faut que les forces exercées sur l'élève se compensent. Il n'accepte pas la proposition de A parce que les forces ne se compensent pas.

A : mais non regarde ça nous fait le sol le mur la Terre ça fait un rectiligne

L : ouais mais il y a trois trucs il faut le faire de façon qu'elles se compensent parce que tu fais ça tu vas obtenir un vecteur force comme ça () le vecteur de somme de forces comme ça la somme de forces est nulle

A : c'est pour ça que la Terre elle fait comme ça

L : oui je pense on va faire comme ça on le fait au brouillon on demande après pour la vérification

A : oui attends justement attends brouillon

L : mais attends on fait pour l'élève on fait on fera les deux

Etape 5.4

Nous constatons que L tente de chercher des informations auprès de professeur.

L : monsieur comment on représente l'élève comme ça les pieds joints

P : tu les mets joints ouais

L : ouais mais la force de la Terre

P : force exercée par la Terre

L : ouais force exercée par la Terre

P : tu la mets au milieu de son ventre c'est à peu près au niveau de nombril

Dans les étapes suivantes, nous constatons que L et A cherchent à faire que les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent. Enfin ils expliquent leur représentation au professeur.

Etape 5.5

P : alors

A : on va vous demander on prend le mur soit la force du mur sur l'élève comme ça l'élève il est là

L : la force du sol elle va vers le haut

A : la force du sol elle va comme ça

P : exercée par le sol

A : la force exercée par la Terre elle ait comme ça (?)

P : pourquoi tu la représentes comme ça (?)

A : parce que che pas

L : parce qu'elles se compensent

P : c'est très bien que vous me dites ça juste un petit erreur il y a une chose que quand même on va rectifier pour pas[

A : non non elle vas comme ça

L : non si si

A : si si elle est comme ça elle va dans l'autre sens

L : elle est comme ça

P : d'accord je suis d'accord mais quand même est-ce que vous avez des connaissances concernant la façon de la Terre exerce son action sur n'importe quel objet qui se situe dans son voisinage qu'est ce qu'on sait sur la direction le sens même l'intensité vous avez vu en seconde

L : l'action de la Terre (?)

P : oui donc

L : le sens si on est penché comme ça le sol il va exercer une force comme ça sauf que l'action de la Terre ça sera comme ça

P : mais le centre de la Terre il est où là par rapport à nous (?)

L : ben au-dessus

P : bon si tu exerces[

L : si on se penche [elle sera comme ça

A : [donc la Terre elle exerce comme ça

P : ouais comment (?)

A : elle exerce comme ça la Terre

P : voilà

A : et le sol il exerce comme ça

P : là maintenant vous raisonnez exactement aussi juste que tout à l'heure mais avec ce nouveau vecteur exercée tu représentes la force exercée par la Terre

A : comme ça

P : voilà voilà vous avez[

L : [la Terre elle va comme ça

A : [ça fait comme ça [comme ça comme ça

P : je sens que vous avez trouvé

L : non parce que [elles se compensent pas

P : [parce que la somme des forces eh non

A : non c'est bizarre

P : allez vous y êtes presque

L : [le sol

A : [donc c'est le sol c'est le sol

L : le sol il va bien vers le haut (?) le sol il va vers le haut (?) la force du sol il va vers le haut (?)

A : attends

P : je ne vais pas donner la réponse il faut la somme de forces soit nulle

A : comme ça comme ça

P : vous avez une contrainte

Après la discussion avec le professeur à propos de « la force exercée par la Terre est un vecteur dirigé vers le bas », A représente correctement les forces exercées sur l'élève.

Etape 5.6

L : ouais mais il y a un truc ça m'embête là

A : de quoi (?)

L : le truc ici (?)

A : pourquoi (?)

L : parce que le sol on présentait vers le haut

A : ah ben oui mais c'est au fur et mesure tu (:) tu améiores ta réponse ça c'est normal on fait des erreurs au début et tu les corriges a(:) la suite au fur et mesure

Dans la question 3, ils avaient représenté la force exercée par le sol verticalement vers le haut. Cette réponse dérange L.

Etape 5.7

L : là en fait on représente les vecteurs (inaud.) celui là et celui là il fait celui là celui là et celui là il fait celui là

A : non mais c'est bon là

L : him him

A : donc là il nous reste quoi à faire en fait dans le 5

L : donc il faut faire le pieds joints et[

A : ah ouais à l'échelle

L : t'as dit l'échelle tu dis attends (:) à une échelle que vous indiquerez toutes les forces qui s'exercent sur l'élève

A : ah ouais pour qu'elles se compensent effectivement sur le dessin en fait/ donc là on fait des axes quand même (?) on fait(:)

L : toutes les forces exercées

Etape 5.8

A : comment tu représentes le sol (?) le sol ça part d'en bas jusqu'au pied

L : ah bon (?)

A : ah ouais // ah il marche pas d'accord

L : monsieur monsieur le sol (2s) le sol sur l'élève c'est comme ça ou à partir de (::)

P : non non c'est comme ça là tu mets un point à l'origine de ces vecteurs là où s'exercent

A : donc c'est toi qui a raison

Ils discutent les longueurs des forces exercées pour pouvoir représenter correctement la compensation des forces et le point d'origine de la force exercée par le sol.

Dans cet épisode L met en jeu les facettes suivantes :

- La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas
- Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent
- Si les forces exercées sur l'objet se compensent la vitesse de l'objet constante
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Un vecteur peut décomposer en deux axes
- La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent
- La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas.
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B

- La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent

Dans cet épisode A met en jeu les facettes suivantes :

- L'objet est représenté par un point
- Le centre d'inertie d'un objet est représenté par un point
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent
- La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas
- La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas.
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent
- La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B
- Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B
- La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se composent

Les Facettes en jeu au cours de activité 4

Les deux listes ci-dessous donne les facettes dans leur ordre d'utilisation (tableaux 1 et 2)

Pour L

<p>A4 Q2-a</p>	<p>77. Quand il y a des bulles et double flèche c'est le diagramme d'interaction 78. Quand il y a des flèches c'est le diagramme de forces. 79. Quand deux objets en contact, il s'agit d'une interaction de contact. 80. Il y a deux types d'interaction ; de contact et à distance 81. Quand deux objets en contact il s'agit d'une interaction de contact 82. Il y a des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance 83. Entre la Terre et les objets, il s'agit d'une interaction à distance 84. L'interaction de contact est représentée par une double flèche en traits pleins 85. L'interaction à distance est représentée par une double flèche en pointillés</p>	<p>Rd_D101 Rd_D102 F_D12 I_D61 I_D62 Rd_D103 I_D63 Rd_D81 Rd_D82</p>
<p>A4 Q2 b</p>	<p>86. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets 87. La Terre exerce une force sur les autres objets 88. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigé vers le bas 89. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 90. Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité)</p>	<p>F_D12 F_D13 F_D17 F_D6 I_D64 I_D68</p>

Tableau 1 : facettes dans leur ordre d'utilisation par L au cours de l'activité 4

	91. Si un objet A exerce une force sur B, alors B exerce une force sur A et ils se compensent		
A4 Q5	92. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D6	
	93. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D6	
	94. Les intensités des forces exercées mutuellement sont égales	F_D71	
	95. L'objet est représenté par un point	Rd_D85	
	96. Le sens de la flèche représente le sens de la force	Rd_D88	
A4 Q1	98. Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent	FD_D25 FM_D43	
	99. Les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent selon le principe d'inertie	F_D45	
	100. Si la vitesse d'un objet est nulle, les forces exercées sur l'objet se compensent	FD_D45	
	101. Si la vitesse d'un objet est nulle, les forces exercées sur l'objet se compensent	FD_D41 FM_D34	
	102. Si la vitesse (v) de l'objet ne change pas, la somme de forces est nulle	Rd_D52	
	103. Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent, soit le mouvement est rectiligne uniforme, soit l'objet est immobile	LI	
	104. Le vecteur vitesse est constant quand il a la même direction, la même sens, la même longueur	M_C3	
	105. Le principe d'inertie et la première loi de Newton veulent dire la même chose	FD_D34	
	106. Un objet est en mouvement quand l'objet se déplace		
	107. Si la vitesse (v) de l'objet ne change pas, la somme de forces est nulle		
	A4 Q5	108. La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas	F_D11
		109. Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent	FM_D25
110. Si les forces exercées sur l'objet se compensent la vitesse de l'objet est constante		F_D19	
111. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B		F_D6	
112. Un vecteur peut décomposer en deux axes		Rd_D104 F_D17	
113. La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas		F_D6	
114. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B		Rd_D106	
115. La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se compensent		F_D11	
116. La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigée vers le bas		F_D14	
117. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas		F_D6	
118. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du		Rd_D105	

sens de la force exercée par A sur B	
119. La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se compensent	F_D5
120. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	F_D18
121. Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B	Rd_D105
122. La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axes se compensent	

Tableau 2 : facettes dans leur ordre d'utilisation par A au cours de l'activité 4

Pour A

A4 Q2-a	28. Quand il y a des bulles et double flèche c'est le diagramme d'interaction 29. Quand il y a des flèches c'est le diagramme de forces. 30. Il n'y a pas des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance. 31. Il y a des différences entre la représentation d'interaction de contact et l'interaction à distance	Rd_D101 Rd_D102 Rd_D106 Rd_D107
A4 Q2-b	32. Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets 33. La Terre exerce une force sur les autres objets 34. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas. 35. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 36. Si un objet A exerce une force sur B, B n'exerce pas nécessairement une force sur A 37. Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité) 38. Les intensités des forces exercées mutuellement ne sont pas égales	F_D12 F_D13 F_D17 F_D6 I_D65 I_D64 I_D69
A4 Q3	39. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 40. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 41. Une force se transmet aux objets par contact direct 42. L'objet est représenté par un point 43. Le sens de la flèche représente le sens de la force 44. La direction de la flèche représente la direction de la force	F_D6 F_D6 F_D11 Rd_D85 Rd_D87 Rd_D88
A4 Q4	45. La compensation nécessite plusieurs forces 46. Si l'objet est immobile, les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent 47. Le principe d'inertie et la première loi de Newton veulent dire la même chose 48. Les forces qui s'exercent sur l'élève se compensent selon le principe d'inertie 49. Un objet est en mouvement quand l'objet ou une partie de l'objet bouge	Rd_D108 FM_D29 LI FM_132 M_C1 M_C2

Tableau 2 : facettes dans leur ordre d'utilisation par A au cours de l'activité 4

	50. Un objet est en mouvement quand l'objet se déplace	
A4 Q5	51. L'objet est représenté par un point 52. Le centre d'inertie d'un objet est représenté par un point 53. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 54. Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B 55. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 56. La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axe se compensent 57. La force exercée par la Terre sur un objet n'est pas un vecteur toujours dirigé vers le bas 58. La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur toujours dirigée vers le bas. 59. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 60. La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axe se compensent 61. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B 62. Le sens de la force exercée par A sur B donne la façon dont l'objet A exerce son action sur l'objet B 63. La compensation des forces nécessite que les composantes des forces sur chaque axe se compensent	Rd_D85 Rd_109 F_D6 F_D18 F_D6 Rd_105 F_D17 F_D14 F_D6 Rd_105 F_D6 F_D18 Rd_105

Comme dans l'activité 3, la différence du nombre de facettes en jeu chez A et L est grande. De plus, L utilise une plus grande variété de facettes pour certaines questions et sur l'ensemble des questions que A. Pour les questions 1, 2, 3 et 4, la variété de facettes est limitée pour les deux élèves. En revanche pour la question 4 qui demande d'utiliser les lois de la mécanique pour savoir si les forces exercées sur l'élève se compensent ou pas, L met en jeu les relations force – mouvement, force – vitesse et force – variation du mouvement alors que A ne considère que la relation force – mouvement.

Importance respective des conceptions et des connaissances enseignées

Concernant la mobilisation des conceptions, la liste des facettes ci-dessous (tableau 3) nous montre tout d'abord que des facettes sur les interactions interviennent. Dans cet ensemble, L mobilise une seule facette correspondant à une conception bien identifiée

par ailleurs : *Si un objet A exerce une force sur B, alors B exerce une force sur A et ils se compensent.* Les autres facettes liées à l'interaction sont correctes. Il y a donc une coexistence.

<p>Force</p> <p>Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets. La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B La Terre exerce toujours une force sur les autres l'objet La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigée verticalement vers le bas La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigée toujours verticalement vers le bas</p> <p>Interaction</p> <p>Quand deux objets en contact, il s'agit d'une interaction de contact. Il y a deux types d'interaction ; de contact et à distance Quand deux objets en contact il s'agit d'une interaction de contact Entre la Terre et les objets, il s'agit d'une interaction à distance Si un objet A exerce une force sur B, B exerce une force sur A (mutualité) <i>Si un objet A exerce une force sur B, alors B exerce une force sur A et ils se compensent</i> Les intensités des forces exercées mutuellement sont égales</p> <p>Force-Mouvement</p> <p>Si les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent, soit le mouvement est rectiligne uniforme, soit l'objet est immobile Si l'objet est immobile les forces qui s'exercent sur l'objet se compensent</p> <p>Force-Vitesse</p> <p>Si la vitesse (v) de l'objet constante, la somme de forces est nulle Si la vitesse d'un objet est nulle, les forces exercées sur l'objet se compensent</p>
--

Tableau 3 : facettes utilisées par L et 1 au cours de l'activité 4

Les évolutions repérées au cours de l'activité 4

Dans l'activité 4, il apparaît des évolutions pour les deux élèves.

Cas de L

Pour L, au cours de cette activité, nous constatons qu'il y a eu une évolution à l'étape 5.5, concernant la force exercée par la Terre sur un objet. Pour L, la force exercée par la Terre n'était pas un vecteur toujours dirigé verticalement vers le bas puisque cette force s'exerce partout et à distance. Il admet que la force exercée par la Terre est toujours

dirigée verticalement vers le bas.

Cas de A

Au cours de cette activité, nous constatons les évolutions suivantes.

- A ne sait pas représenter le diagramme d'interaction. A évolue concernant le diagramme à l'épisode 2a.
- A l'étape 2a.1, A fait une distinction entre les représentations vectorielles des forces et le diagramme d'interaction.
- A l'étape 2a.1, A évolue en termes du diagramme d'interaction comme « quand il y a des bulles et double flèche c'est le diagramme d'interaction ».
- A l'étape 2a.2, A fait une distinction entre les représentations des interactions de contact à distance représentées respectivement par une double flèche en traits pleins et par une double flèche en pointillés.
- A évolue concernant la mutualité des forces exercées dans une interaction entre les objets à l'étape 2b.2, pour A les objets n'exercent pas de forces mutuellement, après il admet que les deux systèmes exercent et subissent des forces mais considère que l'intensité de ces forces ne sont pas égales.
- A évolue en termes de description du mouvement à l'étape 4.5, Pour A, il ne s'agissait pas d'un vecteur nul, parce qu'il poussait alors qu'il admet que si on pousse ou si on bouge il peut n'y avoir aucun déplacement, il ne s'agit pas alors d'un mouvement.
- Pour le principe d'inertie, A verbalise clairement le principe d'inertie. Au cours de la question 5, il le verbalise et il l'utilise. Cette dernière évolution est particulièrement intéressante car elle montre aussi une évolution dans le raisonnement. Dans l'étape 4.1, Adrien justifie que les forces qui s'exercent sur l'élève ne se compensent pas par ce qu'il ressent quand il pousse le mur. Il faut noter que ce type d'argument fondé sur la perception est utilisé par A dès son arrivée dans cette classe. L argumente en termes du principe d'inertie. Dans l'étape 4.3, A admet que la somme des forces exercées sur la personne est nulle après une discussion avec L. Puis, dans l'étape 4.5, A met en relation le fait de ne pas bouger et un vecteur nul. Il commence à utiliser un raisonnement à partir d'éléments théoriques.

Chapitre 4 Discussion et conclusion

Nous présentons cette discussion à partir de nos questions de recherche. Nous abordons tout d'abord la question d'ordre méthodologique liée aux échelles de temps, puis la question de l'influence mutuelle des types de connaissances et nous terminons pas la discussion sur les types d'évolution des élèves.

Notre analyse en termes de facettes nous conduit à plusieurs conclusions.

Description des élèves pour différentes échelles de temps.

Nous présentons les facettes mobilisées plusieurs fois au cours des activités 1, 3 et 4 de la partie 2 (tableau 1).

Tableau 1 : facettes mobilisées par L (activité 1 facettes de 1 à 20, activité 3 de 21 à 76 et activité 4 de 76 à 122).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122								

Liste des facettes utilisées :

Tableau 2 : facettes mobilisées par A pour les activités 3 et 4 (voir code couleur tableau 1)

La façon dont A exerce une action sur B donne l'indication du sens de la force exercée par A sur B	
Quand un objet est en contact avec d'autres alors il exerce une force sur ces objets	
La force exercée par la Terre sur un objet est un vecteur dirigé vers le bas	
La Terre exerce toujours une force sur les autres objets	

Tableau 2 : facettes mobilisées par A pour les activités 3 et 4 (voir code couleur tableau 1)

A												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63		

Les mêmes facettes sont utilisées par L et A plusieurs fois. Nous constatons que ces facettes sont liées à la grande facette force. Ce nombre de facettes (4) mises en œuvre par les élèves à travers les différentes activités est faible. La fréquence de leur utilisation et à des moments différents et espacées dans le temps nous conduisent à considérer qu'elles correspondent à des connaissances bien acquises.

Cependant ce petit nombre de facettes communes aux différentes activités ne doit pas masquer le fait que des facettes liées à la même grande facette sont en jeu dans les différentes activités. Ce constat nous conduit à proposer des types d'évolution où les liens entre facettes, plus particulièrement au sein d'une même grande facette, jouent un rôle.

Les tableaux 3 et 4 montrent que L utilise des connaissances recouvrant l'ensemble des facettes aussi bien sur la totalité de la partie 2 que sur les activités 3 et 4 de cette partie, ce qui n'est pas le cas pour A (tableau 4).

Tableau 3 : Facettes mobilisées par de L pour la partie 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122								

Tableau 4 : facettes mobilisées par L, pour les activités 3 et 4 (voir légende tableau 3)

Les facettes liées au mouvement □ (mouvement, type de mouvement, vitesse moyenne, instantanée, variation de la vitesse, les représentations cinématiques)	
Les facettes liées à la relation entre la force et le mouvement □ (la relation entre force-vitesse, force-mouvement, force-variation de la vitesse)	
Les facettes liées à la force □ (regroupement des grandes facettes force, interaction, les représentations dynamiques)	

Tableau 4 : facettes mobilisées par L, pour les activités 3 et 4 (voir légende tableau 3)

Activité 1						20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122								

Tableau 5 : facettes mobilisées par A pour les activités 3 et 4 (voir légende tableau 3)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63		

Quand on compare la distribution des facettes il apparaît pour les deux élèves, une certaine similitude (tableau 6) : la prédominance de l'ensemble des facettes « force » même si celle-ci est moins importante pour L. la moindre importance du nombre de facettes liées au mouvement. Ces deux points sont prévisibles a priori puisque toutes les activités de la partie 2 nécessitent de faire une analyse en termes de forces, et l'analyse en termes de mouvement est souvent sous-jacente. En revanche, il ressort que, pour L, les relations entre forces et mouvement sont plus importantes que pour A. Cette différence n'est pas prévisible a priori. Ainsi, la comparaison au niveau des grandes facettes conduit à préciser les différences entre élèves.

Tableau 6 : ensembles de facettes mobilisés par les élèves (partie 2 pour L, partie 2 activités 3 et 4 pour L et pour A)

élève		Force	mouv	Rel (F,mov)	Total
L (tot Part2)	nombre	61	37	24	122
L(tot Part2)	%	50%	30%	20%	100%
L Act 3 et 4 (P2)	nombre	50	36	16	103
L Act 3 et 4 (P2)	%	49%	35%	16%	100%
A Act 3 et 4 (P2)	nombre	39	18	6	63
A Act 3 et 4 (P2)	%	62%	29%	10%	100%

Influence mutuelle des types de connaissances

Au long de notre analyse nous avons montré les conceptions sont peu mise en œuvre. Les conceptions mobilisées par L sont relatives « au capital force » (ou force acquise), « les paires d'action réaction » (si un objet exerce une force sur B, alors B exerce une force sur A et elles se compensent). Ces conceptions qu'on peut considérer comme faisant partie des connaissances quotidiennes sont peu intervenues dans l'évolution des élèves. D'autres travaux seraient nécessaire pour approfondir les influences de ces conceptions.

Les types d'évolution

Nous présentons tout d'abord les connaissances nouvelles construites par les élèves lors

de cette séquence. Pour cela nous avons sélectionné les facettes correspondantes aux concepts nouvellement enseignés en 1^{ère} S. Les résultats sont présentés dans les tableaux

Tableau 7 : facettes correspondant à des connaissances nouvelles pour L du point de vue de l'enseignement.

Cas de L												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78
79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91
92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117
118	119	120	121	122								

- Pour L, les facettes suivantes sont nouvelles, nous les présentons dans l'ordre chronologique d'apparition :
- Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la variation de la vitesse
- Il n'y a pas de lien entre la somme de forces exercées et la valeur de la vitesse
- La relation dynamique est « si la vitesse du centre d'inertie de ce système varie alors la somme des forces qui s'exercent sur le système n'est pas nulle »
- Le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens
- La relation dynamique est « le vecteur de somme de forces et le vecteur de variation de la vitesse sont colinéaires et de même sens »
- On trouve le vecteur de la variation de vitesse en faisant la soustraction des deux vecteurs
- Pour la soustraction vectorielle, on prend le moins vecteur.
- Dans ces facettes, la relation de la dynamique apparaît. C'est la connaissance essentielle de l'enseignement. On voit qu'il y a une évolution dans la mesure où le contraire de cette relation est proposé tout d'abord par L. On voit également l'importance de la vitesse mise en jeu dans des facettes différentes : calcul vectoriel, relation entre le résultat du calcul vectoriel et la variation de la vitesse. Notons que cette dernière relation n'est pas évidente pour les élèves (ainsi lors de l'activité 3, les élèves avaient réalisé la construction vectorielle de la variation de la vitesse mais quelques instants plus tard affirment que la vitesse ne varie pas).
- Nous considérons que la relation de la dynamique a été construite par L à partir du principe d'inertie. L met souvent en œuvre le type de mouvement et son lien avec la

force dès l'activité 1 (voir tableau 1 chapitre 1). Au cours de l'activité 3 il relie à nouveau force et mouvement puis force et variation de la vitesse ; il construit également des liens entre des types de mouvement spécifique et la variation de la vitesse.

Notre analyse sur le changement nous a conduit à préciser certains types de changement. Nous avons observé les types suivants :

Apparition nouvelle : par exemple Adrien ne connaît pas le diagramme interaction, L lui présente les règles de cette représentation et il apprend à construire ce diagramme (activité 4 étapes 2a.1 et 2a2).

Différenciation : Par exemple Adrien ne différencie pas au début la force exercée par le sol et celle exercée par la Terre et après des échanges avec L il les différencie (question 3, étape 1b.1)

:un autre exemple est relatif à la différenciation de plusieurs composantes de la vitesse : son module et sa direction et son sens. Aussi bien pour L que pour A, on observe que dans un premier temps la vitesse dans un mouvement circulaire est constante et qu'ensuite ils établissent une différence entre module et direction (activité 3, étape 5b.4)

Généralisation : Par exemple L considère au début que la Terre exerce toujours une force mais avec une direction qui peut varier alors qu'ensuite la force exercée par la Terre est toujours verticale vers le bas (activité 4, étape 5.5)

Remplacement : par exemple, Adrien considère que si un objet B exerce une force sur A, A n'exerce pas nécessairement une force sur B. Ultérieurement il change et accepte que si A agit sur B, B agit sur A.

Cependant ces changements sont insuffisants pour caractériser les évolutions. Notre analyse a montré combien la multiplicité des facettes intervient dans l'évolution conceptuelle.

Ceci nous conduit à proposer comme de nouveaux travaux sur le rôle d'un grand nombre de connaissances dans la construction conceptuelle. Comme nous avons commencé à le montrer la description à deux niveaux : les facettes et les grandes facettes est probablement à approfondir.

Bibliographie

- Aufschnaiter, C. v., Aufschnaiter, S. v. (2003). "Theoretical framework and empirical evidence of students' cognitive processes in three dimensions of content, complexity, and time." *Journal of Research in Science Teaching* 40(7): 616-648.
- Balacheff, N. (1999). Conception, Connaissance et Concept. *DidaTech*, Vol. seminaire n°157, pp. 219-244.
- Balibar, F. (1984). *Galilée, Newton lus par Einstein*. Paris, P.U.F.
- Bécu-Robinault, K. (1997a). Rôle de l'expérience en classe de physique dans l'acquisition des connaissances sur les phénomènes énergétiques Thèse Université Lyon 1, France
- Besson U. (2001) *L'utilisation d'un modèle mésoscopique pour l'enseignement de la notion de pression*, Thèse Université Paris 7 Denis Diderot, France
- Brousseau, G. (1998). *Théorie des situations didactiques*. Grenoble: La Pensée Sauvage éditions.
- Brown, D. E., Clement, J. (1987). "Overcoming misconcepts in mechanics: A comparsion of two example-based teaching strategies." *Paper presented at annual meeting of the American Educational Research Association, Washington D. C.*
- Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (1998). Programmes classes de troisième des collèges . (Hors-série n°10).
- Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (1999). Programmes de la classe de seconde

- générale. (Hors-série n°6).
- Bulletin Officiel de l'Éducation Nationale. (2000). Programme de physique-chimie pour la classe de première série scientifique. (Hors-série n°7).
- Buty, C. (2000). *Étude d'un apprentissage dans une séquence d'enseignement en optique géométrique à l'aide d'une modélisation informatique*. Thèse, Université lumière Lyon 2, Lyon.
- Buty, C., Cornuéjols, A. (2002). Évolution des connaissances chez l'apprenant. In A. Tiberghien (Ed.), *Des connaissances naïves au savoir scientifique* (pp. 41-67).
- Carey (1985) *Conceptual change in childhood*. Bradford/MIT Press, Cambridge, MA.
- Champagne A., Klopfer L. E., Solomon C. A. et Cahn A.D. (1980), Factors influencing learning of classical mechanics, *American Journal of Physics*, Vol. 48
- Chevallard Y. (1991) *La transposition didactique, du savoir savant au savoir enseigné*, 2ème édition suivi de *Un exemple de transposition didactique* de Y. Chevallard et M.-A. Johsua, La Pensée sauvage, Grenoble.
- Chi M.T.H., Slotta J.D. & de Leeuw N. (1994) From things to processes : a theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and instruction*, Vol. 4, pp.27-43.
- Clement J. (1982) Students preconceptions in introductory mechanics *American journal of Physics* Vol. 50, n°1 pp.66-71
- Closset J.-L. (1983) *Le raisonnement séquentiel en électricité*, Thèse de Doctorat, Université Paris 7 Denis Diderot.
- Collet, G. (1996). Apports linguistiques à l'analyse des mécanismes cognitifs de modélisation en sciences physiques. Thèse de Doctorat, Institut National Polytechnique, Grenoble.
- diSessa, A. (1983). Phenomenology and the evolution of intuition. In D. Gentner et A. Stevens (Eds.) *Mental Models* (pp. 15-33) Hillsdale, NJ : Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- diSessa, A. (1987). *Toward an epistemology of physics* (Cognitive Science Program). Berkeley: University of California.
- diSessa, A. A. (1988). *Knowledge in pieces*. Berkeley: University of California.
- diSessa, A., Sherin, B. L. (1998). What changes in conceptual change? *International Journal of Science Education*, Vol. 20, pp. 1155-1119.
- Duit, R. (1999). Conceptual change approaches in science education. In W. Schnotz, Vosniadou, S. , Carretero, M. (Ed.), *New perspectives on conceptual change* (pp. 263- 282). Oxford, UK: Pergamon.
- Duit, R. (2002). *Bibliography: Students' and Teachers' Conceptions and Science Education*. Kiel: IPN – Leibniz Institute for Science Education at the University of Kiel.
- Dugas R. (1954) *La mécanique au XVIIe siècle*. Neuchatel-Suisse: Editions du Griffion.
- Dumas-Carré, A., Goffard, M. (1997). Rénover les activités de résolution de problèmes en physique. Paris, Armand Colin.
- Duval, R. (1995). Sémiosis et pensée humaine registres sémiotiques et apprentissages intellectuels Edition Peter Lang.

-
- Dykstra, D. I. (1992 a). Studying conceptual change: Constructing new understandings. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 40-58). Kiel: IPN.
- Dykstra, D. I., Boyle, C. F. , Monarch, I. A. (1992 b). "Studying conceptual change in learning physics." *Science Education* 76(6): 615-652.
- Einstein, A. et Infeld, L. (1919/1990) *L'évolution des idées en physique*. Paris, Flammarion.
- Feynman, R. (1963). *Le cours de physique de Feynman*. Paris, InterEditions.
- Galili, I., Lavrik, V. (1998). "Flux concept in learning about light: A critique of the present situation." *Science Education* 82(5): 591-613.
- Galili, I., Hazan, A. (2000). Learner's knowledge in optics : interpretation, structure and analysis. *International Journal of Science Education*, vol. 22 n° 1, pp. 57-88.
- Gentilhomme (1994) L'éclatement du signifié dans les discours techno-scientifiques. *Cahiers de lexicologie* n° 64, 1994-1, pp. 5-37.
- Gilbert J. et Watts M. (1983) Concepts, Misconceptions and alternative conceptions : Changing perspectives in science education. *Studies in Science Education*, vol.10, pp. 61-98.
- Giordian A. et De Vecchi G. (1987) Les origines du savoir. Des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques, Lausanne, Delachaux & Niestlé.
- Guillaud, J.-C. (1998). *Enseignement et apprentissage du concept de force en classe de troisième*. Université Joseph Fourier - Grenoble 1, Grenoble.
- Halbwachs, F. (1971a). Reflexions sur la causalité physique. In M. H. Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *Les théories de la causalité* (pp. 19-38). Paris: Presses Universitaires de France.
- Halbwachs, F. (1971b). Causalité linéaire et causalité circulaire en physique. In M. H. Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *Les théories de la causalité* (pp. 39-111). Paris: Presses Universitaires de France.
- Halbwachs, F. (1974). *La pensée physique chez l'enfant et le savant*, Lausanne, Delachaux & Niestlé.
- Halloun, J. A., Hestenes, D. (1985) Common sense about motion, *American journal of physics* Vol. 53, n°11 pp.1056-1065
- Johsua S., Dupin J.J. (1993) Introduction à la didactique des sciences et des mathématiques. PUF, Paris
- Labude P., Reif F., et Quinn L. (1988) Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis. *International Journal of Science Education*, vol. 10 n° 1, pp. 57-88.
- Lemeignan G. Weil-Barais A. (1993). *Construire des concepts en physique*. Paris, Hachette
- Lounis, A. (1989) L'introduction aux modèles vectoriels en physique et en mathématiques : conceptions et difficultés des élèves, essai de remédiation. Thèse Université de Provence, Aix-Marseille I
- Kuhn, T. S. (1971). Les notions de causalité dans le développement physique. In M. H.

- Bunge, F. Kuhn, T. S. Rosenfeld, L. (Ed.), *Les Théories de la Causalité* (pp. 7-18). Paris: Presses Universitaires de France.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American* Vol. 248 pp.114-122.
- Malgrange, Saltier et Viennot (1973) Vecteurs, scalaires et grandeurs physiques. *Bulletin de la Société Française de Physique*, Encart Pédagogique, pp.3-13.
- Maloney, D. P. (1984). Rule-governed approaches to physics - Newton's third law. *Physics Education* Vol.19 pp.37-42.
- Martinand J-L. (1992) Présentation in Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. INRP, Paris.
- Méheut, M. (1996). Enseignement d'un modèle particulière cinétique de gaz au collège : questionnement et simulation. *Didaskalia*, Vol. 8, pp. 7-32.
- McDermott, L.C. (1984) Revue critique de la recherche dans le domaine de la mécanique. *Recherche en didactique de la physique : actes du premier atelier international*. La Londe les Maures, Paris.
- McDermott, L. C., Rosenquist, M. L. , Zee, E. H. van (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: examples from kinematics. *American Journal of Physics* Vol. 55(6) pp.503-513.
- McDermott, L. (1998). Students' conceptions and problem solving in mechanics. *Connecting research in physics education*. A. Tiberghien, Jossem, E. , Barojas, J. Ohio, ICPE Books pp.1-11.
- Minstrell J., (1992). Facets of students' knowledge and relevant instruction. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 110-128). Kiel: IPN.
- Mortimer, E., & Machado, A., (2000) Anomalies and Con.icts in Classroom Discourse *Science Education*, Vol.84 pp.429-444
- Niedderer, H., Goldberg, F. M. , Duit, R. (1992). Towards learning process studies: A review of the workshop on research in physics learning. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 10-28). Kiel: IPN.
- Niedderer, H., Schecker, H. (1992). Towards an explicit description of cognitive systems for research in physics learning. In R. Duit, Goldberg, F. , Niedderer, H. (Ed.), *Research in physics learning: Theoretical issues and empirical studies* (pp. 74-98). Kiel: IPN.
- Niedderer, H. (2001). *Physics Learning as Cognitive Development*. Paper presented at the Bridging Research Methodology and Research Aims. Student and Faculty Contributions from the 5th ESERA Summerschool, Gilleleje, Danmark.
- Paty (1997) Histoire rapide de la vitesse : le concept physique, *La Vitesse*, Actes des 8es Entretiens de la Vilette, Centre National de Documentation Pédagogique
- Petri, J., Niedderer, H. (1998). A learning pathway in high-school level quantum physics. *International Journal of Science Education*, Vol. 20(9), pp. 1075-1088.
- Piaget, J. (1970). *L'épistémologie génétique*. Paris: Presse Universitaire Française.
- Posner, G. J., Strike, K. A., Hewson, P. W. & Gertzog, W. A. (1982). Accommodation of

- a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, Vol. 66, pp. 211-227.
- Richard J.F (1998) Les activités Mentales, comprendre, raisonner, trouver des solutions. Armand Colin, Paris
- Rogalski, J., Veillard, L., & Bouchard, R. (2002). Articulations entre différents types de connaissances. In A. Tiberghien, C. Buty, F. Cordier, A. Cornuéjols, L. Veillard, C. Laborde, R. Bouchard, M. Coquidé & J. Rogalski (Eds.), *Des connaissances naïves au savoir scientifique*. Paris: Programme Ecole et Sciences cognitives
- Roth W.-M., McRobbie C.J., Lucas K.B., Boutonne S. (1997). The local production of order in traditional science laboratory : a phenomenological analysis. *Learning and Instruction*, vol. 7, n°2, pp. 107-136.
- Saltiel, E. (1978). Concepts cinématique et raisonnements naturels : étude de la compréhension des changements de référentiels galiléens par les étudiants en sciences. Thèse d'Etat, Université Paris 7 Denis Diderot.
- Schneuwly, B., & Bronckart, J. P. (1985). *Vygostki aujourd'hui*. Neuchâtel: Delachaux & Niestlé.
- Shepardson, D. (1999) Learning Science in a First Grade Science Activity: A Vygotskian Perspective, *Science Education*, Vol.83 pp. 621-638
- Strike, K. A. & Posner, G. J. (1992). A revisionist theory of conceptual change. In R. Duschl & R. Hamilton (Eds.), *Philosophy of science, cognitive psychology and educational theory and practice* (pp. 147-176). Albany, NY: Suny.
- Taber, K. S. (2000). Multiple frameworks?: Evidence of manifold conceptions in individual cognitive structure. *International Journal of Science Education* Vol.22(4) pp.399-418.
- Terry, C., Jones, G. (1986). Alternative frameworks: Newton's third law and conceptual change. *European Journal of Science Education* Vol. 8(3) pp.291-298.
- Trowbridge, D. E., McDermott, L. C. (1980). Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics* Vol.48(12) pp.1020-1028.
- Tyson, L., Venville, G. , Harrison, A. , Treagust, D. (1997). A multidimensional framework for interpreting conceptual change events in the classroom. *Science Education* Vol.81(4) pp.387-404.
- Tytler R. (1998) The nature of students' informal science conceptions. *International Journal of Science Education*, 20, n°8, pp.901-927.
- Tiberghien, A. (1994). Modeling as a basis for analyzing teaching-learning situations. *Learning and Instruction*, Vol. 4, pp. 71-87.
- Tiberghien A. (1997). Learning and teaching : differentiation and relation. *Research in Science Education*, Vol. 27 n° 3 pp.359-382.
- Tiberghien, A., & Vince, J. (2005). Étude de l'activité des élèves de lycée en situation d'enseignement de la physique. *Cahiers du Français Contemporain, ENS Editions*, 10 (numéro coordonné par V. Pugibet et N. Gettliffe-Grant.), 153-176.
- Traverso V. (1999). *Analyse de Conversations*, Paris, Armand Colin

- Valentin, L. (1983). *L'univers mécanique*. Paris, Hermann.
- Vergnaud, G. (2000). *Lev Vygotski pédagogue et penseur de notre temps*. Paris: Hachette Éducation.
- Viennot, L. (1979). Le raisonnement spontané en dynamique élémentaire. Paris: Herman.
- Viennot, L. (1993). Temps et causalité dans les raisonnements des étudiants en physique. *Didaskalia*, Vol. 1, pp. 13-27.
- Viennot, L. (1996). *Raisonnement en physique*. Edition de Boeck. Bruxelles.
- Vince J. (2000). Approches phénoménologiques et linguistique des connaissances des élèves de 2^{nde} sur le son. Contribution à l'élaboration analyse d'un enseignement et au développement d'un logiciel de simulation. Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, Vol. 4(1), pp. 45-69.
- Vygotski, L. S. (1997). *Pensée et langage* (F. Sève, Trans.). La dispute. Paris.
- Weil-Barais, A. (1993). *L'homme cognitif* Presses Universitaire de France.
- White, B. (1983). Sources of difficulty in understanding Newtonian dynamics. *Cognitive Science* Vol.7(1) pp.41-65.

Annexes au format PDF

[akcaoglu_ha_annexes.pdf](#)