

GESTION D'ACTIVITES DE MODELISATION EN CLASSE

Gérard Lemeignan
Annick Weil-Barais

Deux modalités de gestion de la formation des connaissances des élèves dans un cadre scolaire sont envisagées : une démarche de type construction des connaissances et une démarche de type appropriation des connaissances. L'analyse des décalages existant entre les conceptions premières des élèves et les conceptualisations auxquelles ils devraient parvenir, à l'issue de l'enseignement, conduit à préconiser une forme "mixte" de gestion.

La description d'une séquence d'enseignement concernant l'introduction en classe de seconde de la grandeur "quantité de mouvement" fournit des indications sur les modalités pratiques d'une telle démarche. Celle-ci semble favorable au développement des compétences des élèves quant à la modélisation des situations physiques. Sans modifier les contenus d'enseignement, il semble possible d'amener davantage d'élèves à maîtriser les démarches et les contenus physiques, à condition d'organiser une gestion conséquente des activités en classe.

les élèves ont tendance à traiter les situations en fonction de leurs conceptions premières

L'enseignement scientifique a pour ambition de développer chez les élèves des représentations du monde plus opérantes que celles qu'ils ont pu construire dans leur vie quotidienne. Or les travaux qui ont été conduits ces dix dernières années en didactique des sciences, ont mis en évidence les difficultés qu'ont les élèves à s'approprier ces représentations. En particulier, dans le domaine qui nous occupe, celui de l'enseignement de la mécanique, les modèles enseignés acquièrent assez peu pour les élèves de statut opératoire. Même après plusieurs années d'étude (Viennot, 1979 ; Mc Dermott, 1984), les élèves ont tendance à traiter de manière préférentielle les situations mécaniques en fonction de leurs conceptions premières et non pas en fonction des modèles physiques enseignés. L'hypothèse a été plusieurs fois avancée (Driver & Erikson, 1983 ; Champagne & al., 1985 ; Gil, 1985) que cet état de fait était la conséquence d'un enseignement essentiellement expositif au cours duquel les élèves ont peu l'occasion de confronter leurs représentations premières aux représentations scientifiques et d'exercer suffisamment ces dernières afin qu'elles acquièrent un statut fonctionnel.

Comme alternative aux formes expositives d'enseignement, une approche constructiviste des conditions d'apprentissage semble faire l'adhésion des chercheurs en didactique (Giordan

la traduction dans les pratiques pédagogiques d'un point de vue constructiviste de la formation des connaissances est problématique

& De Vecchi, 1987). Cette approche repose sur une idée largement développée par Piaget selon laquelle les connaissances des individus résultent d'un processus de construction personnelle. La formation des connaissances est conçue comme étant sous la dépendance de l'augmentation des capacités à construire (Saada-Robert & Ackerman-Valladao, 1985). Si l'on admet volontiers un point de vue constructiviste de la formation des connaissances, sa traduction dans un contexte pédagogique s'avère problématique. Comment faire pour que les élèves parviennent à construire en grande partie par eux-mêmes des conceptualisations que la communauté scientifique a mis des siècles à établir ? La construction par les élèves d'un modèle scientifique est-elle possible ? Quelles aides doit-on leur apporter ? Comment gérer au niveau d'un groupe (la classe) des constructions conceptuelles qui opèrent au niveau individuel ?

L'examen de ces questions à propos d'un domaine particulier, celui de l'enseignement de la mécanique en classe de seconde, nous a conduit à spécifier ce qui pouvait raisonnablement relever d'une démarche de construction personnelle et d'une démarche d'exposition-appropriation des connaissances. Nous allons caractériser de manière générale ce qui distingue ces deux démarches. Puis nous les spécifierons à propos d'une séquence d'enseignement relative à la quantité de mouvement ayant fait l'objet d'une expérimentation en classe de seconde (Lemeignan & Weil-Barais, 1987).

1. DEMARCHES DE CONSTRUCTION ET D'APPROPRIATION DE CONNAISSANCES

1.1. Démarche de type construction

Si l'on suit la description piagétienne des processus de construction des connaissances, toute construction résulte d'interactions que le sujet a avec le milieu. Rappelons que dans une telle conception, il est fait appel à un certain nombre de mécanismes psychologiques permettant de comprendre qu'à l'occasion de ces interactions le sujet s'approprie des éléments de l'extérieur (l'assimilation) et se modifie lui-même (l'accommodation). Les perturbations externes et les conflits internes exerceraient un rôle moteur dans le développement intellectuel. L'hypothèse que nous faisons est qu'il est possible d'influer sur ces mécanismes et donc de gérer, dans certaines limites qui restent à préciser, les processus de construction des connaissances scientifiques. Le type de gestion que nous développons repose sur un choix de dispositifs, de situations expérimentales et de questions afférentes susceptibles d'induire chez les élèves la construction d'un certain nombre d'in-

hypothèse : il est possible de gérer les processus de construction des connaissances scientifiques

variants. La détermination des situations et des questions est ainsi reliée aux invariants relatifs au domaine de connaissance. C'est la raison pour laquelle la gestion d'une telle démarche s'appuie à la fois sur une analyse épistémologique du domaine et sur une analyse du fonctionnement intellectuel des physiciens et des élèves.

1.2. Démarche de type exposition-appropriation

Par opposition à la démarche précédente où ce sont les élèves qui élaborent leurs connaissances à l'occasion de la résolution de problèmes, la connaissance est présentée aux élèves, dans une démarche de type exposition-appropriation, sous une forme telle qu'ils soient à même de se l'approprier (les critères d'appropriation étant bien entendu à spécifier).

La gestion d'une telle démarche repose sur un choix judicieux de formes d'exposition de la connaissance, en fonction des caractéristiques des élèves, de leurs acquis antérieurs et des critères d'appropriation fixés. Dans la séquence d'enseignement que nous avons expérimentée, les informations fournies aux élèves ont ainsi essentiellement porté sur les procédures de lecture des situations (sélection des événements, découpage temporel, choix des grandeurs physiques descriptives des systèmes) et ceci sous forme de questions auxquelles le professeur lui-même apporte des réponses. Il s'agit là de mettre l'accent sur les invariants opératoires en jeu dans les processus de modélisation des situations physiques. De telles informations s'avèrent davantage accessibles aux élèves que des énoncés généraux desquels il est possible, mais difficile, de déduire de tels invariants. Par exemple, l'énoncé de la loi de conservation de la quantité de mouvement : $\Sigma \vec{P} = \Sigma \vec{P}'$ "contient" le découpage temporel des événements, le bilan des quantités de mouvement avant et après l'interaction, les propriétés d'additivité et de conservation de la grandeur. Mais il nous semble tout à fait illusoire que les élèves puissent inférer d'eux-mêmes de tels invariants à partir d'une relation générale qui suppose par ailleurs une maîtrise de signifiants mathématiques que les élèves n'ont pas toujours en classe de seconde. Aussi, l'appropriation d'un énoncé général du type de celui que nous venons d'évoquer ne peut-il survenir, de notre point de vue, qu'en fin de parcours d'un apprentissage qui débute par d'autres voies.

1.3. Démarche "mixte" de type construction-appropriation

S'agissant de modèles physiques où il semble a priori illusoire d'envisager une approche uniquement constructiviste, il nous a semblé qu'il était possible de jouer à la fois sur la construction et l'appropriation des connaissances.

choisir les contenus et les formes d'exposition des connaissances

faire pratiquer les invariants opératoires avant de les formuler

construire et s'approprier des connaissances

L'originalité et l'intérêt majeur de l'approche que nous tentons de définir pour l'enseignement des modèles physiques réside dans le fait que nous proposons d'emblée aux élèves de s'engager dans une démarche active de construction des connaissances, à l'occasion de la résolution de problèmes expérimentaux. Ce n'est que lorsque les élèves se sont engagés dans cette voie qu'on leur propose une démarche d'appropriation. Une telle pratique est en rupture complète avec celle qui a cours à l'heure actuelle dans l'enseignement de la physique où les élèves doivent d'abord recevoir et apprendre des énoncés généraux que bien souvent ils sont incapables de s'approprier, et ensuite seulement, utiliser ces énoncés pour résoudre des problèmes alors qu'ils sont en grande partie dans l'incapacité de le faire.

Les résultats obtenus à l'occasion d'une évaluation conduite en classe (Lemeignan & Weil-Barais, 1987) nous encouragent à poursuivre les recherches, en vue de spécifier, pour d'autres contenus de connaissances, les modalités de gestion de démarches de type construction et de type exposition-appropriation de connaissances, celles-ci étant conçues en alternance et complémentaires l'une de l'autre.

2. LES FINALITES DE L'ENSEIGNEMENT : PASSER D'UNE REPRESENTATION A UNE AUTRE. LA MODELISATION SCIENTIFIQUE

Pour saisir la nécessité d'une gestion pédagogique de la formation des connaissances physiques chez les élèves faisant appel à la fois à des processus de construction et d'appropriation, il convient d'examiner la nature des objets de connaissance enseignés et l'écart qui existe entre les conceptualisations premières des élèves et les conceptualisations scientifiques. C'est ce que nous faisons brièvement dans cette seconde partie.

passer d'une représentation en terme d'objets (propriétés, fonctions) à une représentation en terme de systèmes (états, transformations)

Analyser une situation en terme de quantité de mouvement implique la mise en oeuvre d'un ensemble d'activités de modélisation et la maîtrise d'un certain nombre d'invariants.

Tout d'abord les élèves doivent passer d'une représentation des objets en jeu dans les expériences (les objets sont généralement définis par leurs propriétés et leurs fonctions), des manipulations qu'ils font (pousser, lancer, lâcher...) et des événements perçus (les objets roulent, se déplacent, se heurtent, se séparent, explosent...) à une représentation des objets traduits en terme de systèmes dont les états sont décrits par des valeurs de grandeurs physiques.

En ce qui concerne la quantité de mouvement, cette description implique :

- **une sélection des événements.** Il s'agit de bien distinguer d'une part la préparation de chaque système dans un certain état de vitesse et d'autre part l'interaction entre systèmes :

- **un découpage temporel.** Les situations analysées comportent nécessairement plusieurs objets dont l'état de mouvement varie au cours du temps sous l'effet de diverses interactions - force. En l'absence d'information sur la force interactive, variable au cours du temps, il est impossible de préciser l'état du système pendant l'interaction. Les moments à considérer sont donc l'"avant" de l'interaction et l'"après" de l'interaction sur laquelle on s'interroge, ce qui n'est pas sans poser problème puisque l'attention des individus est davantage attirée par les transformations (le "pendant") que par les états ("avant" et "après"). (S'adapter c'est réagir aux changements et il n'est pas "naturel" de s'intéresser à des états) :

- **une hiérarchisation des interactions.** Certaines ont un effet important sur le changement de vitesse des objets, d'autres ont un effet relativement négligeable par rapport aux effets précédents, d'autres prises globalement sont sans effet. Cette étude des interactions débouche sur une décision quant à la possibilité ou non d'utiliser le principe de conservation. L'utilisation de la grandeur quantité de mouvement suppose également la maîtrise d'un certain nombre de signifiés (les propriétés de la grandeur) et de signifiants (les formalismes mathématiques utilisés pour exprimer la grandeur et pour faire des calculs).

Nous évoquons brièvement les propriétés de la quantité de mouvement afin de mettre en évidence la multiplicité des invariants à considérer :

- la grandeur est **mesurable** par le produit d'une masse par une vitesse. (L'unité de quantité de mouvement s'exprime en kg.m.s^{-1}) :

- la grandeur décrit l'état des systèmes par rapport à un référentiel :

- la quantité de mouvement d'un système composé de plusieurs objets s'obtient par **sommation** de la quantité caractérisant chacun des sous-systèmes :

- la quantité de mouvement **transférable** en tout ou en partie à un autre système lors d'une interaction. Il s'agit d'un transfert immatériel :

- transférable d'un système (1) à un autre (2), la quantité de mouvement du système (1 et 2) est **constante**, à condition que les interactions qu'il subit soient sans effet sur le mouvement ou n'aient que des effets négligeables en première approximation (ceci constitue un principe) :

- la quantité de mouvement est une grandeur **vectorielle**.

les opérations impliquées dans la constitution d'une représentation physique faisant appel à la grandeur "quantité de mouvement"

les propriétés de la quantité de mouvement qui fondent le concept

Les symbolismes mathématiques auxquels il est fait appel traduisent cet ensemble de propriétés.

Comme toute grandeur mesurable, la quantité de mouvement est désignée par un symbole littéral (P), ce qui l'instaure en tant que variable. Si les objets en interaction se déplacent dans une seule direction, la grandeur peut s'exprimer algébriquement par \vec{P} ; si plusieurs directions sont en jeu, la grandeur s'exprime vectoriellement par \vec{P} .

Le transfert de P d'un sous-système à un autre sous-système s'exprime par les variations de \vec{P} de chaque sous-système. Dans le cas de deux sous-systèmes : $\Delta \vec{P}_1 = -\Delta \vec{P}_2$, la conservation s'exprime par une égalité des quantités de mouvement avant et après l'interaction : $\Sigma \vec{P} = \Sigma \vec{P}'$.

Ces deux expressions symboliques traduisent la formulation d'une même propriété fondamentale, l'une sous forme "dynamique" (le transfert), l'autre sous forme "statique" (quelque chose est inchangé pour le système global).

Tous ces éléments que nous avons rappelés (les opérations de modélisation, les signifiés et les signifiants) font qu'au bout du compte, "apprendre" la quantité de mouvement pour un élève de seconde n'est pas une mince affaire et on ne s'étonnera guère que les élèves éprouvent quelques difficultés au cours de cet enseignement, tel qu'il est pratiqué à l'heure actuelle. Et il en est de même si l'on y regarde de près pour toutes les grandeurs physiques. Les enseignants peuvent avoir l'illusion que les choses sont simples car elles s'expriment simplement (une relation générale). Mais comme on l'a montré, cette relation générale "cache" des opérations et des invariants complexes dont la formation chez les élèves nécessite d'être gérée progressivement.

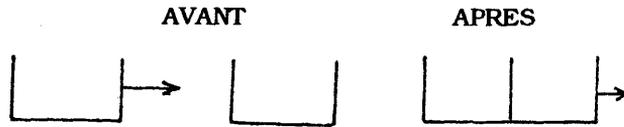
On mesurera le chemin à parcourir par les élèves de seconde, en évoquant les lectures premières qu'ils font de situations qu'ultérieurement dans l'enseignement ils seront invités à traiter en terme de quantité de mouvement. Nous considérerons en premier lieu la situation suivante : les élèves disposent de deux wagons miniatures qu'ils peuvent déplacer sur des rails rectilignes posés sur un support horizontal. Un des wagons lancé, ayant ainsi une certaine vitesse, heurte un second wagon immobile et s'accôle à celui-ci (du fait de la présence de petits aimants aux extrémités des wagons). Après l'accrochage, les wagons se déplacent ensemble à une certaine vitesse. On demande aux élèves de prévoir la vitesse "après accrochage" par rapport à la vitesse "avant accrochage" et de justifier leurs prédictions. La situation décrite linguistiquement peut être symbolisée graphiquement de la manière suivante (nous adoptons ici le même symbolisme que celui adopté pour l'enseignement) :

les symbolismes mathématiques

toute relation générale "cache" des opérations et des invariants complexes qu'il est nécessaire de gérer dans l'enseignement

l'évaluation du chemin à parcourir par les élèves passe par une étude de leurs représentations premières...

... qui se présentent comme un mélange de descriptions phénoménologiques et d'appel à des propriétés et des fonctions des objets.



Voici à titre d'illustration les explications fournies par deux élèves vus ensemble en entretien avant enseignement. (Dans le discours des élèves, le bleu désigne le wagon lancé et le noir le wagon immobile).

Corinne : "S'il est lancé très fort, il va pousser celui-là... Il y a de la vitesse qui se perd, le frottement sur les rails, il y a déjà ça et il y a surtout le wagon noir qui se met en travers de son chemin et qui l'empêche de continuer à aller vite, donc il n'a plus la même vitesse ; il le freine"

Carlos : "Le bleu il va être ralenti en poussant le noir... Le bleu ira plus rapidement tout seul qu'avec l'autre wagon. L'autre il n'a pas de vitesse donc il faut le pousser... Quand le wagon bleu arrive il va à une certaine vitesse, il choque le wagon noir, il perd de la vitesse parce que le noir le repousse d'une certaine manière. Il lui reste un peu de vitesse pour continuer à mettre le noir en avant, c'est tout".

la représentation du physicien consiste en un bilan des quantités de mouvement des systèmes avant et après leur interaction

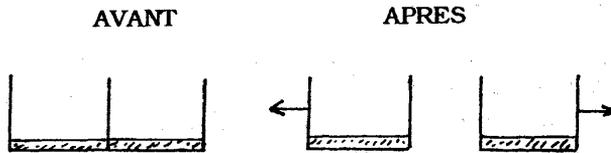
La représentation proposée au cours de l'enseignement est d'une toute autre nature. On fera un bilan des quantités de mouvement avant et après le choc. On examinera les conditions expérimentales d'utilisation du principe de conservation, ce qui amènera à considérer deux courtes périodes "juste avant le choc" et "juste après le choc", considérant que l'effet des interactions wagons/rails sur un long parcours ne sont pas négligeables face à l'interaction choc. On établira ainsi que : $m_1 v_1 = (m_1 + m_2) v'$. De la relation ainsi établie on déduira l'expression de la valeur de v' .

un moteur pour faire prendre conscience aux élèves du caractère non opératoire des conceptions spontanées : la contradiction entre les prévisions et les constats expérimentaux

Comparativement aux représentations premières des élèves qui se présentent comme un mélange de descriptions phénoménologiques et d'appel à des propriétés et à des fonctions des objets, la démarche physique consiste à ne retenir que les états qui peuvent être décrits à l'aide de grandeurs physiques reliées entre elles par une relation générale utilisée à titre de pré-supposé dans l'analyse. Une telle démarche conduit à une prévision des événements plus précise que celle à laquelle parviennent les élèves avant enseignement. Dans la situation précédente la prévision des élèves est certes compatible avec les événements observés, et, dans ce cas, ceux-ci peuvent être insensibles au gain en précision qu'apporte l'analyse physique

une situation privilégiée pour cette prise de conscience : l'éclatement

par rapport à leurs conceptions premières. Mais dans d'autres cas, il peut exister une contradiction entre les prévisions et les événements et ceci constitue, nous semble-t-il, des situations tout à fait favorables pour faire prendre conscience aux élèves du caractère opératoire des modèles physiques. Une telle contradiction se rencontre par exemple très fréquemment dans une situation que nous avons également utilisée dans l'enseignement. Il s'agit d'une situation dite d'éclatement : les wagons initialement immobiles se repoussent (les rôles des aimants étant opposés) et se déplacent dans des sens opposés lorsqu'on les lâche.



Dans cette situation, les élèves centrent leur interprétation sur l'interaction entre les wagons, comme par exemple cette élève :

Sandrine : "C'est comme un ressort. Il y a une certaine force entre les aimants, ça va partir des deux côtés et puis ça va être la même parce que... les aimants ça va envoyer autant de force des deux côtés alors la vitesse va être la même" (dans le cas où les masses des deux wagons sont égales).

Une telle interprétation conduit cette élève à penser que lorsque la masse d'un wagon augmente et que l'autre reste constante, seule la vitesse du wagon diminue, l'autre vitesse restant constante (ce qui est erroné) : "si il a le même poids ce sera la même vitesse", prévoit Sandrine.

La gestion des changements de représentations que les élèves sont amenés à opérer dans le cadre de l'enseignement de la physique fait l'objet de la troisième partie.

3. GESTION DES ACTIVITES DE MODELISATION

Dans un premier temps, un certain nombre d'activités ont été conduites au moyen d'objets manipulables sur table. Elles ont permis d'élaborer en grande partie le modèle. Dans un deuxième temps, la résolution de problèmes papier-crayon a

permis de constituer le champ expérimental (situations et questions afférentes) explorable par le modèle.

3.1. Elaboration du modèle

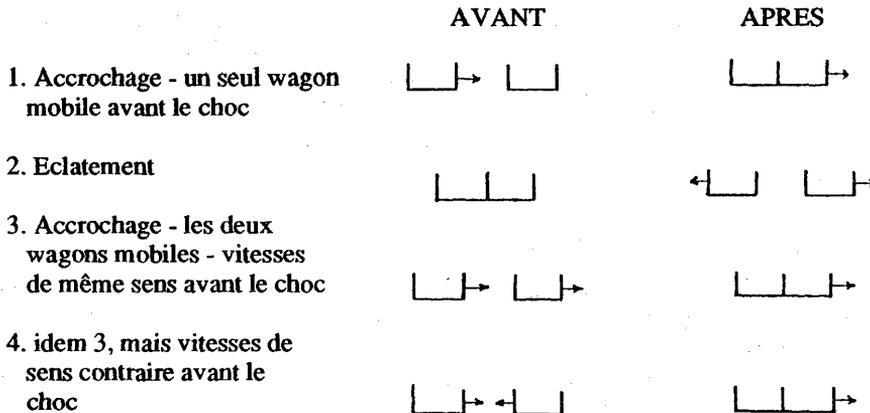
mettre en oeuvre des opérations particulières pour construire une représentation des situations

Dans cette phase, il s'agit de construire une représentation des objets et des événements faisant appel à des opérations particulières (sélection des événements, découpage temporel, hiérarchisation des interactions). Cette représentation implique d'introduire une grandeur nouvelle (la quantité de mouvement) qui sera définie peu à peu par un ensemble de propriétés et de relations entre grandeurs.

des objets et des situations familières

Les situations expérimentales proposées aux élèves comportent les wagons miniatures déjà évoqués. Munis de petits aimants ils peuvent s'attirer ou se repousser sensiblement lorsqu'ils sont à faible distance l'un de l'autre (environ 1 cm). Quatre situations sont envisagées dans un premier temps.

Figure 1 : Les situations expérimentales dans la phase d'élaboration du modèle



Les activités de modélisation, dans cette phase d'élaboration, se sont étalées sur trois séances de cours et trois séances de travaux pratiques, soit une durée totale de 7 h 30. Nous donnons ci-dessous le détail des activités, séance par séance, en séparant ce qui relève d'une construction personnelle des élèves et ce qui relève d'une démarche d'appropriation d'informations fournies par le professeur. Les productions des élèves (considérées ici comme des indicateurs des connaissances que les élèves construisent) et les informations données sont d'a-

bord présentées sous une forme synthétique : elles sont suivies de quelques commentaires.

Première activité : Prédications et justifications (cours 1 heure)

CONSTRUCTION PERSONNELLE

Explicitation de dépendances variationnelles :

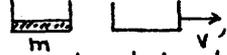
- situation 1 : poussée et obstacle
- situation 2 : force
- situation 4 : mise en oeuvre implicite d'une compensation masse-vitesse

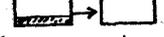
APPROPRIATION

Description des objets à l'aide des grandeurs masse et vitesse.

Description graphique

des objets 

des grandeurs 

des événements 

Découpage temporel "avant"/"après"

Questionnaire : dépendance variationnelle des grandeurs prises deux à deux ("toutes choses égales par ailleurs") sur les situations 1, 2 et 4.

• Les justifications fournies par les élèves

les questions portent uniquement sur les vitesses

Elles reposent majoritairement sur trois idées : poussée, obstacle dans le cas d'un accrochage, force dans le cas d'un éclatement.

les prédictions sont l'occasion d'explicitation des représentations premières des élèves

1) **Poussée** : c'est le mot le plus fréquemment utilisé mais apparaissent aussi "élan, impulsion, énergie, force". Peu importe d'ailleurs ; seules sont à retenir les propriétés attribuées à "ces grandeurs" : la poussée que possède le wagon mobile augmente avec sa masse et sa vitesse, sans que soit proposée une relation entre "poussée" et un groupement de type mv (ainsi v augmente si m_1 augmente ou si v_1 augmente). Cette poussée peut être donnée en partie au wagon immobile, la "partie" donnée ne dépendant que des caractéristiques du wagon possédant la poussée : les caractéristiques du wagon immobile n'interviennent pas.

2) **Obstacle** : Le wagon immobile est conçu comme un obstacle par rapport au wagon mobile. Le rôle de cet obstacle est d'autant plus important que sa masse est grande (ainsi v diminue si m_2 augmente).

Notons que les justifications fournies par les élèves concer-

nent, à chaque fois, exclusivement les wagons dont on fait varier les caractéristiques ; les élèves auraient pu envisager que cette "partie de poussée" donnée par le wagon mobile dépende des caractéristiques de l'autre wagon. Inversement il leur était possible d'imaginer que l'importance du rôle d'"obstacle" du wagon immobile dépende des caractéristiques de l'autre wagon. Ils ne le font pas. Ils semblent n'envisager les wagons que sous l'angle de la fonction - propriété bien différenciée qu'ils leur attribuent - pour l'un "d'avoir et de donner une poussée", pour l'autre "d'être un obstacle". La rencontre des deux wagons ne semble pas mélanger ces fonctions. Il leur faudra établir la relation fonctionnelle entre les masses et les vitesses des deux wagons pour reconnaître que la rencontre entre les wagons se traduit par un mélange complexe de ces grandeurs et que la "fonction" des wagons est insuffisante pour expliquer cette rencontre.

3) **Force** : C'est une traduction de l'interaction entre les wagons au repos avant éclatement. Selon les élèves, les aimants étant identiques et inchangés, les forces réciproques d'un aimant sur l'autre sont égales et inchangées quand les masses des wagons varient. A force égale, la vitesse varie en sens inverse de la masse. Si m_1 augmente et m_2 reste constant, alors v_1 diminue et v_2 reste constante (ce qui n'est pas conforme aux constats).

Deuxième activité : Constats (T.P. I heure 30)

CONSTRUCTION PERSONNELLE

Réalisation des expériences

Séparation des événements
(le lancer et le choc)

Comparaison prédictions-constats

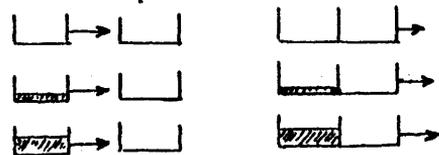
- refus et/ou acceptation des événements
- mise en commun des constats
- cohérence prédiction-constat

Consignation symbolique écrite des sens de variation constatés (co-variation et contre-variation)

APPROPRIATION

Tableau de sens de variation à compléter.

Par exemple :



Si m_1 augmente, v_1 augmente.

• Remarques sur la séparation des événements

Au début des constats, la plupart des élèves réalisent le lancer du wagon mobile par un mouvement vif du poignet et à bonne distance du wagon immobile. De ce fait, les élèves en infèrent que v' diminue lorsque m_1 augmente et ceci par l'intermédiaire de v_1 qui, déclarent-ils, diminue quand m_1 augmente. (Ceci traduit la difficulté du lancement d'un objet lourd à une vitesse aussi grande que celle d'un objet plus léger). Pour remédier au mélange entre les caractéristiques du lancer et celles du choc, nous proposons aux élèves de lancer le wagon mobile sur une assez grande distance (environ 1 m) par un geste régulier d'accompagnement du bras en ne lâchant le wagon qu'à une faible distance du wagon immobile (environ 1 cm). Le wagon mobile est ainsi préparé dans un état de vitesse bien défini, choisi au gré de chacun ; c'est cet état qui sera à prendre en compte dans l'analyse ultérieure.

donner du sens à des opérations mentales en les associant à des gestes particuliers

Troisième activité : Recherches de relations fonctionnelles sur les situations 1 et 2 (un T.P. et un cours, soit 2 heures 30)

la recherche des relations fonctionnelles prend d'abord appui sur une étude des sens de variation

les élèves confrontent les hypothèses aux résultats expérimentaux

CONSTRUCTION PERSONNELLE	APPROPRIATION
Hypothèse des formes relationnelles entre masse et vitesse, à partir des sens de variation	(Guidages)
Recherche d'informations sur la mesure de v'	Logiciel de calcul (v') disponible à la demande
- méthode de recherche	
- obtention de mesures et construction de tableaux	
- comparaison entre tableau de sens de variation et tableau de mesures	(Guidages)
Confrontation entre hypothèses de formes relationnelles et mesures	
Rejet ou acceptation d'une hypothèse	
Recherche de formes relationnelles à partir de mesures	Proposition d'une démarche générale (structuration)

• Les guidages

faire construire les connaissances à partir des savoirs et savoir-faire des élèves

De manière générale, les guidages consistent à suggérer aux élèves des procédures proches de ce qu'ils savent faire et orientées vers les procédures "savantes". La connaissance des procédures disponibles chez les élèves implique des pratiques pédagogiques qui laissent une large place à l'expression des élèves et à l'analyse des propositions de ceux-ci. Dans la recherche de relations fonctionnelles menée par les élèves, les guidages utilisés sont divers. Ils peuvent intervenir ponctuellement pour :

inciter

- inciter certains élèves à prendre en considération les sens de variation observés et, partant de là, à formuler des hypothèses,

rappeler ou indiquer des procédures

- rappeler ou indiquer des procédures. Certains élèves ont besoin en effet que leur soit indiqué comment mettre en correspondance le tableau de sens de variation et le tableau de mesures, comment lire un tableau de mesures pour tester que celui-ci vérifie bien une relation donnée.

apporter des informations

- apporter des informations. Certains élèves ne savent pas traduire des constats de co-variation ou de contra-variation en relations mathématiques.

Par exemple :

v_1 augmente et v' augmente : hypothèse possible : $v' = av_1 + b$
 m_2 augmente et v' diminue : hypothèse possible : $v' = \frac{c}{m_2} + d$
 (hypothèses les plus simples)

accompagner

- accompagner la démarche des élèves en vue de les orienter dans la découverte de la solution. Par exemple dans la situation 1, certains élèves remarquent que lorsque les masses des wagons sont égales, $v' = 1/2 v_1$. Le professeur demande alors d'examiner ce qu'il en est lorsque $m_1 \neq m_2$: les élèves trouvent des coefficients différents, inférieurs à 1. Le professeur oriente alors l'activité des élèves sur la recherche de la forme du coefficient. Un élève suggère le rapport de masse m_1/m_2 : hypothèse rejetée. Un autre élève fait alors remarquer que dans le rapport des masses, il faut prendre d'une part m_1 et d'autre part $m_1 + m_2$ car, dit-il, " v' entraîne m_1 et m_2 donc il faut prendre m_1+m_2 avec v' ". Cela débouche alors sur une proposition qui se trouve vérifiée par les mesures :

$$v' = \frac{m_1}{m_1+m_2} \cdot v_1$$

après avoir essayé deux possibilités :

$$v' = \frac{m_1}{m_1+m_2} \cdot v_1 \quad \text{ou} \quad v' = \frac{m_2}{m_1+m_2} \cdot v_1$$

Dans d'autres groupes, ce regroupement des masses doit être

induit par une lecture de l'"avant" et de l'"après" le choc (avant les wagons sont séparés, après ils sont ensemble et ne forment plus qu'un seul mobile) qui dans le cas de l'élève évoqué précédemment se fait spontanément. Certains élèves ont également besoin que leur attention soit attirée sur la dimension des grandeurs qui conditionne l'homogénéité de la relation. Cela conduit à rejeter des propositions du genre :

$$v' = \frac{v_1}{m_2} \cdot v_1$$

• Démarche générale de recherche de relation

Par exemple, les étapes de recherche, dans le cas de la situation 1 (les wagons s'accrochent, un seul mobile avant) sont les suivantes :

proposer et structurer

- Recherche d'une relation simple (la plus économique) affine entre la vitesse "après" (v') et chacune des grandeurs décrivant les wagons (v_1 , m_1 , m_2). Cette recherche aboutit à retenir uniquement $v' = k v_1$ $0 < k < 1$.

- Recherche de la structure du coefficient k .

L'examen du tableau de sens de variation montrant que k dépend de m_1 et de m_2 , on propose aux élèves de poser à titre d'hypothèse, les autres hypothèses plus simples ayant été rejetées, que les grandeurs m_1 et m_2 interviennent, toujours au premier degré, de la manière suivante :

$$\frac{am_1 + bm_2}{cm_1 + dm_2} \quad (\text{rapport de combinaison linéaire pour raison d'économie et d'homogénéité})$$

L'interdépendance des grandeurs ayant été exprimée, les lettres a , b , c et d représentent des coefficients numériques.

- Recherches des coefficients numériques a , b , c et d . Une démarche de recherche de ces coefficients est proposée aux élèves. Elle s'appuie sur l'examen des cas extrêmes

$$(\text{si } m_1 \rightarrow \infty, v' \rightarrow v_1 ; \text{ si } m_2 \rightarrow \infty, v' \rightarrow 0)$$

et d'un cas particulier

$$(\text{si } m_1 = m_2, v' = 1/2)$$

qui envoie explicitement aux sens de variation observés ou prolongés mentalement.

Remarquons que tous ces cas ont été évoqués auparavant par les élèves dès leurs prédictions et leurs justifications des sens de variation. (Par exemple, l'idée d'"obstacle" attribuée au wagon immobile : "plus m_2 est grand, plus l'obstacle est important et plus v' est petit" ; "plus m_2 est petit, plus l'obstacle est petit, plus v_1 continue à la même vitesse v_1 ").

Signalons que l'examen de ces cas nécessite un apport d'informations de la part du professeur :

apporter des informations

1) Mise en relation, des événements observés ou prolongés mentalement, traduits à l'aide des grandeurs m et v , et de la valeur du rapport $\frac{am_1 + bm_2}{cm_1 + dm_2}$ correspondant à chaque événement :

2) Passage de m_2 très grand (en soi) à m_2 beaucoup plus grand que m_1 (grand par rapport à) :

3) Passage de "tend vers" (\rightarrow) à "égal à" ($=$) à proximité de la valeur 0.

Le professeur propose aux élèves un tableau à double entrée du type suivant :

CONSTRUCTION PERSONNELLE	APPROPRIATION
<p>Recherche de relations par analogie et différence (mêmes grandeurs physiques, mais valeurs différentes $v_2 = 0, V_2 \neq 0$)</p>	

c'est la coordination d'un certain nombre de connaissances qui fait problème, plus que la maîtrise de chacune d'elle

Soulignons que la démarche systématique qui est proposée aux élèves n'est pas disponible au départ, bien qu'elle s'appuie sur une succession de procédures accessibles, chacune prise isolément, à la plupart d'entre eux. C'est la coordination d'un certain nombre de connaissances qui fait problème, plus que la maîtrise de chacune d'elles.

Quatrième activité : réinvestissement de la recherche de relation sur les situations 3 et 4 (T.P. 1 heure 30)

	Evénements	Rapport k	Conclusion
m_2 augmente et devient $m_2 \gg m_1$	$v' \rightarrow 0$	$k \rightarrow \frac{b}{d}$	$b = 0$
m_1 augmente et devient $m_1 \gg m_2$	$v' \rightarrow v_1$	$k \rightarrow \frac{a}{c}$	$a = c$
$m_1 = m_2$	$v' = \frac{1}{2}v_1$	$k = \frac{a}{a+d} = \frac{1}{2}$	$a = b = c$
	d'où $v' = \frac{m_1}{m_1 + m_2} v_1$		

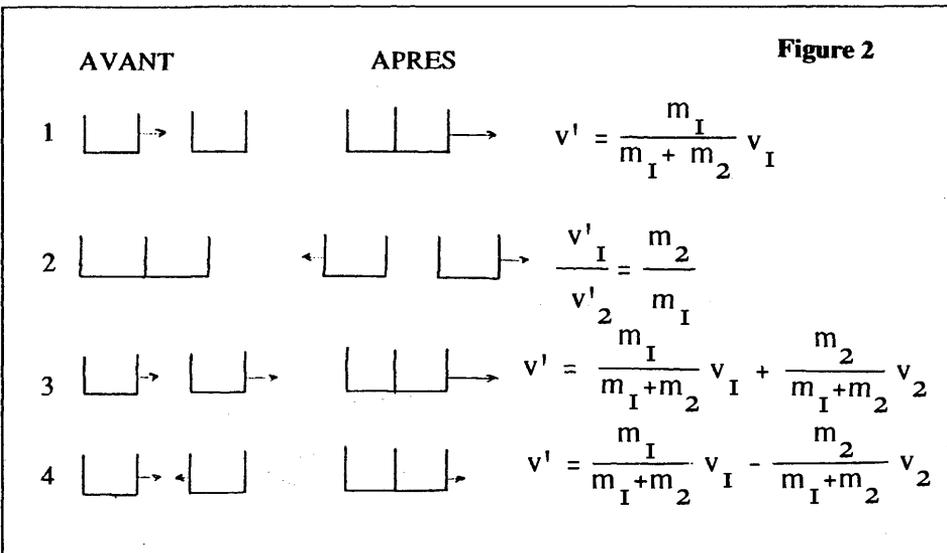
Cinquième activité : exploitation des relations fonctionnelles (cours 1 heure)

CONSTRUCTION PERSONNELLE	APPROPRIATION
	Reformulation des relations obtenues (la vitesse prise comme grandeur algébrique)
	<u>Constitution de deux classes d'événements</u> : accrochage éclatement
	Description de chaque wagon : <u>le groupement \overline{mv}</u>
	Description de chaque wagon de l'avant à l'après : <u>transfert de \overline{mv}</u>
	Description de l'ensemble des wagons <u>conservation de \overline{mv}</u>

• Passage de l'arithmétique à l'algèbre

constitution de classes d'événements :

A l'issue de la séance de réinvestissement de la démarche de recherche de relations fonctionnelles, les élèves sont parvenus à exprimer les relations fonctionnelles entre les grandeurs masse et vitesse pour les quatre situations expérimentales envisagées au début de la séquence d'enseignement. Elles s'expriment ainsi



le passage de l'arithmétique à l'algèbre

La situation 1 a été considérée comme un cas particulier des situations 3 et 4. C'est le cas où la vitesse v_2 est nulle. Les situations 3 et 4 se différencient par le sens de déplacement du wagon 2 ou encore par le sens de sa vitesse. Les situations 1, 3 et 4 sont similaires d'un point de vue événementiel : avant le choc les wagons se déplacent séparément, après le choc ils se déplacent ensemble. Si l'on considère le caractère algébrique de la vitesse ces trois situations peuvent s'exprimer par une seule relation :

$$\vec{v}' = \frac{m_1}{m_1+m_2} \vec{v}_1 + \frac{m_2}{m_1+m_2} \vec{v}_2$$

Ce faisant on constitue une classe d'événements, apparemment disparates au début de l'apprentissage : la classe des **accrochages**.

La constitution de cette classe d'événements ne se justifie qu'en prenant appui sur un changement de symbolisme mathématique, lequel traduit le passage de la vitesse envisagée arithmétiquement (ce que font spontanément les élèves en début d'apprentissage) à la grandeur vitesse considérée comme algébrique.

Introduire les propriétés des grandeurs au moment où l'analyse des situations expérimentales l'exige

Il est à noter que les propriétés des grandeurs, retenues dans la description des situations, sont celles, nécessaires et suffisantes pour répondre aux questions que les élèves sont en train de traiter (prévoir la vitesse de mobiles en translation rectiligne dans une seule direction). Le caractère vectoriel de la vitesse n'interviendra que plus tard, lors de questions envisagées à propos de mobiles se déplaçant dans tout le plan.

• Propriétés de \vec{P} et description des objets

La recherche des propriétés s'est effectuée à partir d'un questionnement, mené par le professeur, portant sur les descriptions qui peuvent être faites des objets et de leur évolution. Ce questionnement est conduit à partir de l'examen des deux relations finalement retenues au terme de la constitution des classes d'événements.

recherche des propriétés de P à partir de l'étude des relations rendant compte des classes d'événements

Les descriptions proposées par l'enseignant sont relatives :

- aux wagons pris séparément :

$$\begin{aligned} m_1 \vec{v}' + m_2 \vec{v}' &= m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 \\ m_1 \vec{v}_1' &= - m_2 \vec{v}_2' \end{aligned}$$

Une telle description permet de mettre en évidence le groupement mv , ce qui est traduit par le professeur par *les wagons possèdent du "mv"*.

- à l'évolution de chaque wagon entre l'avant et l'après :

$$\Delta m \vec{v}_1 = - \Delta m \vec{v}_2$$

Ceci permet de mettre en évidence que ce qui est "perdu" par l'un est "gagné" par l'autre wagon et ainsi d'établir le transfert de mv.

- à l'ensemble des wagons, avant et après le choc :

$$\Sigma \overline{mv} = \Sigma mv'$$

Ceci permet de mettre en évidence la constance de "mv".

Les propriétés du groupement " \overline{mv} " étant ainsi établies à partir de questionnements portant sur la description des systèmes, ce groupement est institué comme une nouvelle grandeur. Des informations sont alors données concernant l'unité de la grandeur et le symbole littéral " \overline{P} " utilisé pour la désigner. La proposition d'une relation générale exprimant la loi de conservation est également avancée et proposée comme principe à utiliser pour analyser d'autres situations.

Instauration du principe de conservation in fine

3.2. Utilisation du modèle

Sixième activité : résolution de problèmes papier-crayon (5 heures)

La grandeur quantité de mouvement étant fondée par un ensemble de propriétés, les élèves sont amenés à traiter un ensemble de situations et de questions afférentes. Celles-ci se présentent, pour la plupart, sous forme d'énoncés de problèmes. La progression de ces problèmes répond à deux exigences :

utilisation du modèle et extension du champ expérimental explorable par le modèle

1. Entraînement des élèves à mener les opérations intellectuelles en jeu dans une démarche de modélisation (constitution d'une représentation de la situation, étude des conditions expérimentales d'utilisation d'un principe...).
2. Constitution du champ expérimental explorable par le modèle.

Rappelons que dans la phase de construction du modèle, le champ expérimental est limité aux déplacements horizontaux, dans une même direction, de deux objets sur lesquels s'exercent des frottements faibles. Dans la phase d'utilisation du modèle, il est étendu aux déplacements d'un grand nombre d'objets, dans des directions différentes ; les déplacements ne sont pas nécessairement horizontaux ; les frottements peuvent être très faibles ou au contraire très importants. Sont également envisagés des "chocs" élastiques avec ou sans contact. Toutes sortes d'objets peuvent être en cause (macroscopiques ou microscopiques), des solides, des liquides ou des gaz. Les situations peuvent également varier selon la complexité événementielle de l'"avant", du "pendant" et de l'"après" interaction. Au total les élèves ont analysé seize situations soit collectivement soit individuellement (travail à la maison).

CONCLUSION

Nous venons de voir à propos de la séquence d'enseignement décrite précédemment que la gestion de la progression des élèves a reposé en grande partie sur une succession de situations-problèmes. La conception de ces situations s'est appuyée sur des analyses relatives au domaine de connaissance (les concepts, les activités de modélisation...) et aux élèves (leurs connaissances premières, leur fonctionnement...). Il en a été de même pour la conception des aides didactiques (informations, questionnements, guidages, logiciel...) qui ont permis aux élèves de construire et de s'approprier le modèle proposé. Ces aides didactiques ont eu pour visée de conduire les élèves à développer des connaissances à partir de ce qu'ils connaissent ou pratiquent déjà, ce que nous appelons les "précurseurs développementaux". La mise au point de ces aides a reposé ainsi sur une connaissance du fonctionnement des élèves face aux situations problèmes, lesquelles ont été retenues à l'issue d'une première analyse du domaine de connaissance et des objectifs de formation envisageables en première année de lycée.

des propositions
qui portent sur le
mode de gestion
de la formation
des connaissances auprès des
élèves

Nous soulignerons que la mise au point d'un tel enseignement a nécessité la mise au point de dispositifs de recherches par une équipe pluridisciplinaire (professeur, didacticien, psychologue).

L'étude de faisabilité concernant cet enseignement (Lemeignan & Weil-Barais, 1987) montre qu'il est possible, sans abaisser les objectifs de formation, de conduire une majorité d'élèves à mieux maîtriser les conceptualisations et les démarches scientifiques, à condition d'opérer une gestion conséquente des activités de modélisation proposées dans le cadre de l'enseignement de la physique. La gestion que nous préconisons s'appuie à la fois sur une démarche de construction et sur une démarche d'appropriation de connaissances. Cette démarche "mixte" semble favoriser le développement d'attitudes actives de la part des élèves. Elle permet par ailleurs de limiter à une durée raisonnable le temps qu'il est possible de consacrer à un même thème d'enseignement.

Bien que les propositions que nous formulons pour l'enseignement de la mécanique en classe de seconde soient largement en rupture avec les pratiques actuelles (consistant bien souvent en la réalisation par le professeur d'un nombre très limité d'expériences sur une table ou sur un banc à coussin d'air), ces propositions portent essentiellement sur le mode de gestion de la formation des connaissances. En aucun cas nous n'avons été amenés à envisager de modifications quant au

contenu de l'enseignement. Celui-ci garde, selon nous, toute sa valeur formatrice, à condition bien entendu qu'il se présente aux élèves sous une forme assimilable, ce que nous sommes parvenus en grande partie à réaliser.

Gérard LEMEIGNAN
Annick WEIL-BARAIS
Laboratoire Interuniversitaire de
Recherche sur l'Enseignement des
Sciences Physiques et de la Technologie,
Université Paris VII

BIBLIOGRAPHIE

CHAMPAGNE A.B., GUNSTONE R.F., KLOPFER L.E. 1985. "Instructional consequences of students' knowledge about physical phenomena", in WEST L.H.T. & PINES A.L. (Eds), *Cognitive structure and conceptual change*, New York, Academic Press.

DRIVER R., ERIKSON G. 1983. "Theories-in-action : some theoretical issues in the study of students' conceptual frame-works in science". *Studies in Science Education*, 10, 37-60.

DRIVER R., OLDHAM V. 1986. "A constructivist approach to curriculum development in science". *Studies in Science Education*, 13,

GIORDAN A. & DE VECCHI G. 1987. *Les origines du savoir ; des conceptions des apprenants aux concepts scientifiques*, Delachaux et Niestlé.

GIL PERES D. 1985. "Science learning as a conceptual and methodological change". *European Journal of Science Education*, 7, 3, 231-236.

GILBERT J., WATTS M. 1983. "Concepts, misconceptions and alternative conceptions : changing perspectives in science education". *Studies in Science Education*, 10, 61-98.

Mc DERMOTT L.C. 1984. "Critical review of research in the domain of mechanics", in DELACOTE G. & TIBERGHIEEN A. (Eds). *Research in physics education : proceedings of the first international workshop*, C.N.R.S., Paris.

LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A., 1987. "Construction inductive d'un modèle en mécanique et résolution de problèmes". In : COLOMB J.& RICHARD J.F. (Eds), *Résolution de problèmes en mathématique et physique*, I.N.R.P., Collection Rapports de Recherche, 12, 145-1987.

LEMEIGNAN G. & WEIL-BARAIS A., 1987. "Apprentissage de la modélisation à propos de l'enseignement de la mécanique au lycée", in : J.L. MARTINAND (Ed). **Enseignement et apprentissage de la modélisation**, Action concertée Recherche en Education et en Formation, Rapport de fin de contrat, LIRESPT, Université Paris 7 et CNRS (UA 663), 77-155.

LEMEIGNAN G., & WEIL-BARAIS A. 1988. "Etude de quelques activités de modélisation", in G. VERGNAUD, G. BROUSSEAU & M. HULIN (Eds). **Didactique et acquisition des connaissances scientifiques**, La Pensée Sauvage, 229-244.

SAADA-ROBERT M. & ACKERMAN-VALLADAO E., 1985. "Le développement cognitif et la psychologie génétique : Piaget" in : J. MATHIEU & R. THOMAS, **Manuel de Psychologie**, Vigot, 223-248.

VIENNOT L. 1979. "Spontaneous reasoning in elementary dynamics". **European Journal of Science Education**, 1, 205-221.