

# DIFFICULTÉS DES ÉLÈVES LIÉES AUX DIFFÉRENTES ACTIVITÉS COGNITIVES DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES

Andrée Dumas-Carré  
Monique Goffard  
Daniel Gil

*Pour résoudre des problèmes de physique il faut utiliser des connaissances conceptuelles mais il faut aussi effectuer différentes activités cognitives dont l'enchaînement constitue le processus de résolution. Dans cet article nous nous intéressons aux difficultés des élèves liées à ces activités cognitives de résolution. A partir de l'observation des élèves résolvant (en groupe) une série de problèmes différents nous repérons leurs difficultés spécifiques et nous recherchons des "racines" communes reliées à l'une ou l'autre des activités cognitives du processus de résolution.*

La résolution de problèmes papier-crayon est, depuis quelques décennies, comme le montre une abondante littérature (Garrett, 1986) une des lignes importantes dans les recherches en didactique des Sciences. Cela est dû à l'importance que ces activités ont dans l'apprentissage des sciences et dans l'évaluation des acquisitions des élèves (Dumas-Carré, 1987) et au constat de l'échec généralisé des étudiants (Gil, Martinez-Torregrosa & Senent, 1988-a).

Généralement, les causes de cet échec sont attribuées, par les professeurs, presque exclusivement à des lacunes chez les étudiants. Ceci exprime, sans doute, un des traits les plus caractéristiques de la "pensée spontanée" des enseignants (Gil, 1991). Un argument souvent entendu est : il y a toujours des étudiants qui apprennent correctement ce qui prouverait que l'enseignement est correct et que l'échec des autres élèves est dû à leurs propres déficiences, même si ces "autres élèves" sont la majorité. De façon cohérente avec ce point de vue, les recherches en résolution de problèmes, en général, ne s'intéressent pas suffisamment à l'activité des professeurs. Sans une remise en question profonde et totale des activités de résolution de problèmes, les solutions proposées par les chercheurs peuvent, au mieux, être efficaces localement mais le manque d'interprétation dans un cadre général les réduit à ne traiter que des cas particuliers.

Il est bien établi, en histoire et en philosophie des sciences, que l'un des obstacles majeurs au développement d'une science est dû à l'acceptation d'idées et de suppositions implicites qui échappent ainsi à tout examen critique (Bachelard, 1938). Nous avons mené une étude critique de

un échec  
généralisé

remettre en  
question des  
évidences

la pédagogie utilisée et des recherches en résolution de problèmes ; celle-ci, tout en remettant en cause ce qui est habituellement accepté comme évident, essaye de construire un fondement théorique qui tienne compte des acquis des recherches sur l'enseignement/apprentissage (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982 ; Driver & Olsdham, 1986). Ce travail qui s'est développé en parallèle en France (Dumas-Carré, 1987 ; Goffard, 1990) et en Espagne (Martinez-Torregrosa, 1987 ; Ramirez-Castro, 1990) a entraîné une profonde réorientation de l'enseignement de la résolution de problèmes (Gil & Martinez-Torregrosa, 1983 ; Gil, Dumas-Carré, Caillot, Martinez-Torregrosa & Ramirez-Castro, 1990) que nous avons mis à l'épreuve, dans des classes, avec des résultats très positifs ((Gil D. et al 1988-a).

Nous rejetons l'interprétation de l'échec généralisé comme étant dû principalement aux déficiences des étudiants, de plus, plutôt que de raisonner en termes de manques nous nous intéresserons aux difficultés des élèves et nous montrerons dans cet article que la nouvelle orientation que nous proposons permet de les cerner plus finement et, par là même, de mieux les prendre en compte et les traiter. Nous commencerons donc par présenter brièvement les caractéristiques essentielles de notre modèle de résolution. Ensuite nous relaterons les difficultés détectées en situation de classe pendant des séances enregistrées en vidéo. Nous montrerons ainsi que les difficultés rencontrées par les élèves sont bien plus complexes que celles habituellement considérées, liées d'avantage aux processus de résolution qu'à des lacunes dans les connaissances des élèves et, partant, dues à un manque d'apprentissage plus qu'à des déficiences des étudiants. La cohérence entre une analyse épistémologique a priori et ce que nous avons observé devient ainsi un appui supplémentaire au modèle et une aide à sa mise en oeuvre.

cerner les  
difficultés pour  
mieux les  
dépasser

## **1. LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES COMME ACTIVITÉ DE RECHERCHE**

Comme nous l'avons déjà dit dans l'introduction notre conviction de départ est que, pour expliquer un échec massif comme il l'est, on ne peut pas ne pas remettre en question l'enseignement lui-même.

Nous ne pouvons pas reproduire ici l'ensemble de l'argumentation qui nous a conduits à choisir comme activité de référence, pour la résolution de problèmes, les activités de recherche ; nous essayerons simplement de résumer les traits fondamentaux de ce modèle en renvoyant à d'autres articles pour un exposé plus complet (Gil & Martinez-Torregrosa, 1983 et 1987 ; Gil, Martinez-Torregrosa, 1983 ; Gil, Dumas-Carré, Caillot, & Martinez-Torregrosa, 1990 ; Garrett, Gil, Martinez-Torregrosa & Satterly, 1990).

qu'est ce qu'un problème ?

Notre point de départ est une analyse de l'idée même de problème. Bien étrangement, beaucoup de chercheurs en résolution de problèmes ne se posent pas cette question et utilisent sans critique les énoncés de problèmes usuels (Krulik & Rudnik, 1980). Par contre il y a accord, parmi ceux qui se posent cette question, pour considérer un problème comme une situation qui présente des difficultés, pour lesquelles le résolveur ne possède pas de solution toute faite. Partant de cette idée nous nous sommes demandés dans quelle mesure la façon habituelle de conduire les activités de résolution de problèmes se rapproche d'un traitement de situations inconnues pour lesquelles on ne possède pas de solutions toutes faites. Il est facile de constater qu'habituellement nous proposons les solutions des problèmes sans tentatives ni doutes ; nous connaissons la solution (pour nous professeurs il ne s'agit pas de problème ! ) et nous la développons de façon linéaire et le plus clairement possible. En conséquence, les élèves peuvent apprendre cette solution, la reproduire dans des situations suffisamment voisines mais, en aucun cas, les élèves n'apprennent à faire face aux difficultés d'un vrai problème. De plus, implicitement, nous véhiculons une fausse image du problème.

C'est à partir de la mise en évidence de cette profonde incohérence (conséquence d'une conception de l'enseignement comme simple transmission de connaissances) que nous avons élaboré notre modèle de résolution de problèmes comme une activité proche de celle du chercheur scientifique.

### 1.1. La suppression des données dans l'énoncé

pas de données

Le fait que dans les problèmes usuels on trouve les données (littérales et/ou numériques) comme point de départ est révélateur d'une conception empiriste, aux antipodes de ce qu'est une activité de recherche, où la quête des données pertinentes dérive des hypothèses émises et des stratégies de résolution retenues. La suppression des données est donc absolument nécessaire ; elle contribue à transformer les énoncés fermés habituels en situations problématiques ouvertes.

### 1.2. Le choix d'une orientation méthodologique

Celle-ci vise à éviter une résolution mécanique et à rapprocher la résolution des problèmes d'une démarche scientifique. Dans cette optique, les différentes activités que doivent accomplir les élèves sont :

- 1) Commencer par une étude qualitative en précisant la situation, en formulant un problème, en prenant des décisions à propos des conditions. Nous insistons sur la nécessité de conduire les élèves à élaborer et expliciter

une  
représentation  
qualitative  
d'abord

de la  
représentation  
phénoméno-  
logique aux  
concepts  
physiques

une représentation(1) du problème. Pour cela nous avons élaboré des "aides métacognitives" qui sont des heuristiques guidant et facilitant l'élaboration d'une représentation globale qualitative. Ces aides suivent une double démarche analytique/synthétique (pour plus de détails voir l'annexe en fin d'article). D'une part elles décomposent la représentation totale en représentations partielles intermédiaires plus simples (chacune centrée sur un seul type de descripteurs), d'autre part elles organisent l'articulation, la synthèse de ces représentations partielles (Dumas Carré, Caillot, Martinez Torregrosa & Gil 1989 ; Caillot & Dumas-Carré 1987 ; Caillot & Dumas-Carré 1989). L'analyse du but du problème fait partie de cette représentation. Cette activité de représentation est critique dans le processus de résolution car c'est là que le passage de la vie courante (faits, événements) à la physique (grandeurs physiques) se fait.

- 2) Emettre des hypothèses fondées (en s'appuyant sur les connaissances "déjà là" quelles soient de physique ou qu'il s'agisse de conceptions) à propos des facteurs qui peuvent intervenir sur ce que l'on cherche et de la façon dont ils vont jouer (en envisageant, par exemple, des cas limites d'interprétation facile).

Nous attirons l'attention sur le fait que cette construction d'hypothèses est une bonne opportunité pour que les élèves expriment leurs conceptions. Dans la pratique habituelle cette activité de construction d'hypothèses, qui pourtant est le coeur de la pensée scientifique, est totalement absente des activités de résolution de problèmes (Gil & Martinez- Torregrosa, 1984).

- 3) Elaborer et expliciter des chemins de résolution (planifier) avant de commencer à traiter dans le détail. Notre modèle demande d'envisager **plusieurs** chemins de résolution pour rendre possibles les comparaisons des résultats obtenus par les différents chemins et pour mettre en évidence la cohérence du corpus des connaissances.
- 4) Instancier complètement un chemin de résolution en expliquant ce qui est fait, en verbalisant au maximum ; ceci pour empêcher encore une fois, une résolution mécanique sans signification physique.
- 5) Analyser les résultats à la lumière des hypothèses et tout particulièrement des cas limites considérés.
- 6) Envisager des prolongements possibles : pourrait-on résoudre à un niveau de modélisation et/ou de complexité différent ? Pourrait-on envisager une situation expérimentale pour vérifier les résultats ?...

Nous insistons sur le fait que les orientations précédentes ne constituent pas un algorithme pour guider pas à pas l'activité des élèves ; bien au contraire, il s'agit d'indications génériques destinées à attirer l'attention sur des "biais

---

(1) "Représentation du problème" au sens de LARKIN & REIF (1979)

imagination,  
créativité et  
rigueur

méthodologiques" néfastes du comportement habituel des élèves. Parmi ces biais on peut citer la tendance à accepter les "évidences" de sens commun, ce qui conduit à penser en termes de certitudes et non d'hypothèses, à ne pas douter des résultats... Ce modèle prétend donc aider les élèves à traiter des problèmes ouverts de façon imaginative, créatrice et rigoureuse en accord avec la pensée scientifique.

## 2. LE STATUT DES DIFFICULTÉS ET/OU ERREURS DANS CETTE CONCEPTION DE LA RÉOLUTION DE PROBLÈMES

les raisons  
d'échec citées  
par des  
enseignants

Nous allons considérer les difficultés des élèves lors de résolutions dans une perspective qui rompt avec les conceptions spontanées des enseignants. Une étude réalisée avec plusieurs centaines de professeurs de physique et chimie de l'enseignement secondaire (Martinez-Torregrosa, 1987) sur les causes d'échec des élèves dans les activités de résolution de problèmes a montré que les seules raisons invoquées par un pourcentage significatif d'enseignants sont :

- a) le manque de connaissances théoriques,
- b) le manque de connaissances mathématiques,
- c) le manque d'attention lors de la lecture de l'énoncé.

Ces explications révèlent une conception de la résolution de problèmes comme simple application de connaissances théoriques déjà acquises ; les difficultés seraient donc dues seulement à un manque d'étude et d'attention des élèves ; cette conception va souvent de pair avec un enseignement s'appuyant sur la transmission/réception de connaissances toutes faites (conception d'ailleurs sous-jacente aux commentaires de programmes et Instructions Officielles). Les possibilités de remédiation seraient ainsi très limitées et relèveraient exclusivement de la responsabilité de l'élève et/ou de la répétition.

Comment peut-on envisager cette même question si la résolution de problèmes devient une activité proche de celle des chercheurs ?

L'idée de difficulté change de statut : elle perd sa connotation négative (défiance de l'élève) pour devenir un passage "normal", "naturel". En effet les difficultés pour résoudre sont consubstantielles à toute situation réellement problématique, résoudre un problème ne se limite pas à se rappeler une solution déjà vue mais consiste à chercher, essayer, surmonter des obstacles (et ceci tout au long du processus de résolution). Les difficultés, dans ce cadre, ont alors un rôle positif ; une difficulté explicitée, située, surmontée au cours d'un problème donné constitue un apprentissage pour les problèmes suivants, alors qu'éviter ou contourner la

statut des  
difficultés et  
erreurs

même difficulté (ce qui est très souvent fait dans les problèmes usuels) n'apporte rien en termes d'apprentissage.

Nous allons maintenant décrire une expérience au cours de laquelle nous avons observé, en situation de classe, les difficultés effectivement rencontrées par les élèves et nous les interpréterons et les situerons par rapport aux différentes activités cognitives de résolution explicitées par le modèle.

### 3. SITUATION EXPÉRIMENTALE

Le premier pas (premier dans le temps et premier par son importance) pour apprendre à affronter et à surmonter une difficulté est qu'elle soit identifiée comme telle, qu'elle soit d'abord ressentie puis explicitée. En conséquence, il faut que le travail des élèves consiste à résoudre de vrais problèmes, pour eux, en laissant réellement à leur charge les diverses activités cognitives, sans les court-circuiter par des énoncés trop stéréotypés. Ensuite, bien que le modèle épistémologique ne dise rien à propos du mode de travail pédagogique, il faut, pour être cohérent, mettre les élèves en situation d'identifier et d'explicitier leurs difficultés. Pour cela, une solution consiste à les faire travailler de façon autonome, en petits groupes, avec des mises en commun périodiques animées par le professeur. De telles mises en commun arrivent après que chaque groupe ait élaboré une représentation qualitative de la situation, de façon à confronter ces représentations. De même il convient de faire une mise en commun pour obtenir un accord sur les décisions et simplifications choisies, de confronter les hypothèses faites, de comparer les différents chemins de résolution proposés. La dernière mise en commun concerne la discussion des résultats et les ouvertures possibles. Cette façon de gérer l'activité permet à chaque groupe de confronter son travail à celui des autres (ce qui obligera à mieux expliciter et à justifier sa pensée) et aux résultats établis par la "communauté scientifique" représentée par le professeur. Cette façon de travailler se rapproche ainsi d'une recherche faite par des chercheurs débutants sous la direction d'un chercheur confirmé -le professeur- (Gil & Martinez-Torregrosa, 1987). De cette manière les difficultés ont l'occasion d'être exprimées, explicitées, situées et surmontées.

L'expérience que nous décrivons s'est déroulée au lycée Henry IV, dans une classe de Première S, à l'occasion d'un projet d'établissement. Les élèves, par demi-classe (16 élèves), ont eu, pendant un semestre, une séance supplémentaire de 1h30 consacrée exclusivement à la résolution de problèmes avec leur professeur de physique habituel. Les élèves travaillent en suivant le modèle décrit et en utilisant les aides métacognitives pour élaborer la représentation (ces aides ont été enseignées pendant l'horaire "normal") ; cest la première fois qu'ils travaillent de cette façon. A chaque

mode de travail  
pédagogique

quels élèves  
concernés ?

séance nous avons enregistré en vidéo le travail d'un groupe et les mises en commun (soit 2 x 11 séances différentes). Nous sommes donc dans des conditions d'observation de classe privilégiées, nous avons, grâce aux enregistrements vidéo, la possibilité de voir et revoir, de revenir en arrière pour ressituer, si besoin est, une intervention d'un élève... Ces conditions, hélas, ne sont pas celles du professeur seul dans sa classe. C'est pourquoi nous avons pu analyser finement et "voir" des choses qui échappent habituellement à l'enseignant.

Nous avons analysé différentes séances à partir des transcriptions (nous ne travaillons que sur le verbal ; la prise en compte du gestuel étant en dehors de nos compétences). Séance par séance nous avons repéré les difficultés rencontrées par les élèves pendant les phases de travail autonome en petits groupes (qu'elles débouchent sur une erreur ou non). A ce niveau d'analyse il s'agit de difficultés particulières, contextualisées, exprimées dans le cadre de la situation physique étudiée. Puis nous avons comparé, mis en parallèle ces cas particuliers pour détecter des "racines" communes reliées à l'une ou l'autre des activités cognitives explicitées dans le modèle de résolution.

#### **4. LES DIFFICULTÉS RENCONTRÉES PAR LES ÉLÈVES AU COURS D'ACTIVITÉS DE RÉOLUTION DE PROBLÈMES**

catégories de  
difficultés

Pour organiser notre analyse nous avons retenu la catégorisation suivante :

- 1) les difficultés liées aux connaissances,
- 2) celles liées au processus de résolution (plus ou moins ponctuelles mais toujours de l'ordre des métaconnaissances),
- 3) celles liées à la situation de travail, aux interactions entre individus dans un groupe ou entre groupes.

Nous allons centrer la suite de l'exposé essentiellement sur les catégories 2 et 3, la catégorie 1 étant bien connue de tous. En effet les causes d'erreurs a) et b) citées par les professeurs (cf 2.) relèvent de cette catégorie 1 ; la cause c) est plus complexe et apparaîtra dans l'analyse suivante.

##### **4.1. Difficultés liées aux connaissances**

A propos des connaissances nous ne détaillerons qu'un seul point, qui au cours de ce travail, nous est apparu très important : il s'agit de la modélisation du temps ; celle-ci est

une modélisation  
de base en  
physique toujours  
ignorée

considérée comme acquise par les professeurs mais, de fait, ne l'est pas pour une proportion non négligeable d'élèves (rappelons que les élèves inclus dans cette expérience sont en Première S d'un très bon lycée parisien donc de "bons" élèves, si ces élèves-là n'ont pas les prérequis supposés on peut penser que cette difficulté sera présente chez d'autres).

Dès lors que l'on formalise, que l'on utilise des principes il est indispensable de modéliser les situations étudiées. Certaines modélisations sont considérées comme déjà connues et, en conséquence, restent non explicitées non discutées. Or bon nombre d'élèves de Première (ceux de cette expérience mais aussi d'autres inclus dans les expériences du groupe PROPHY 1987) n'ont pas conceptualisé le temps en différenciant l'instant et la durée. Ils restent au niveau événementiel celui des phénomènes. Il y a des événements longs et d'autres brefs, mais l'instant de durée nulle comme passage à la limite n'a pas de sens pour eux. Cette modélisation n'est généralement jamais explicitée ni discutée elle est considérée comme déjà acquise (quand ? on peut se poser la question).

Le temps, grandeur physique, nécessite comme toutes les autres un travail de conceptualisation pour le différencier du sens commun de la vie courante ; ce travail de conceptualisation est fait pour des grandeurs comme la force, par exemple, pourquoi le temps du physicien serait-il "compris" spontanément sans élaboration conceptuelle ? Une modélisation correcte demanderait deux étapes :

- 1) l'instant est de durée nulle, l'instant est à la durée ce que le point est à la longueur ;
- 2) certains événements peuvent être modélisés comme instantanés.

Habituellement on passe directement au deuxième aspect sans avoir abordé le premier (supposé connu) d'où la confusion entre instant et phase très courte qui peut même aller jusqu'au refus du concept d'instant (refus légitime tant que ce concept reste accroché aux événements qui ne sont jamais vraiment instantanés).

un dialogue  
révélateur

Voici un exemple. La situation étudiée est la suivante : un ressort horizontal est maintenu comprimé par une ficelle, une bille est posée contre l'extrémité du ressort, on brûle la ficelle. Décrire temporellement cet événement. Deux élèves (représentants de deux groupes différents) ont le dialogue suivant :

...élève 1" *On a défini deux phases (2), une phase où la bille est contre le ressort comprimé et une phase où la bille a quitté le ressort, où le ressort est détendu et entre les deux la ficelle a brûlé...*

---

(2) Dans les aides cognitives du groupe PROPHY le mot phase désigne une durée bornée par deux instants caractéristiques identifiés comme correspondant à un changement des conditions physiques.

...élève 2 *(on a une phase de plus) une phase où le ressort se détend et la bille est contre le ressort...*

...élève 1 *c'est un instant ça, ça c'est un instant, c'est très court parce que le ressort est comprimé et dès que la ficelle aura fini de se casser, toc, la bille va partir. Donc c'est un instant...*

#### 4.2. Difficultés liées aux processus de résolution

différentes  
activités  
cognitives  
entraînent  
différentes  
difficultés

Dans le processus de résolution on peut identifier différents types d'activités cognitives (que nous n'appellerons pas des étapes ou des phases pour ne pas introduire une idée de succession dans le temps qui ne pourrait qu'être fautive) que nous avons présentées dans les paragraphes précédents. Nous avons organisé les difficultés des élèves en suivant ce découpage en activités de résolution de natures différentes.

- Difficultés liées à l'analyse qualitative, la représentation du problème, l'émission d'hypothèses

Cette activité dans le processus de résolution de problème est première à la fois dans le temps et par son importance. De nombreuses recherches ont montré que c'est surtout sur ce point-là que les experts et les novices ont des comportements différents (entre autres : Chi M.T.H. et al., 1982).

les difficultés de  
représentation  
sont  
généralement  
masquées

Dans l'utilisation habituelle des problèmes, l'élaboration d'une représentation et l'émission d'hypothèses sont rarement prises en compte (il n'est que de voir les corrigés proposés dans les manuels qui les ignorent totalement). Les difficultés des élèves correspondant à ces activités ne sont donc pas vues. La seule chose observable est la proportion élevée d'élèves qui ne démarrent pas du tout le problème. Souvent, ceci est analysé comme un manque de compréhension de l'énoncé et attribué à des problèmes de langue ; mais en fait l'obstacle est de passer d'une description phénoménologique à une description en termes de concepts de physique et qui fasse intervenir des relations causales. Ce n'est pas la compréhension du langage qui est en jeu mais bien celle de la physique. Notre façon de travailler (les aides PROPHY, les énoncés utilisés, la gestion des activités...), au contraire, réunit des conditions pour que les difficultés des élèves concernant l'analyse physique et la représentation du problème puissent émerger.

Nous allons donner des exemples spécifiques observés qui, dans notre interprétation, incarnent les difficultés de cette partie du processus de résolution.

#### ***A propos de l'élaboration ou de la prise de conscience d'une modélisation***

Cette difficulté des élèves se retrouve, sous des formes un peu différentes, aussi bien dans les problèmes ouverts que

dans des problèmes fermés (3). Dans les premiers elle est de faire la modélisation, les passages à la limite, les épurations. Dans les deuxièmes elle est de prendre conscience, de donner du sens à la modélisation présentée toute faite par l'énoncé. Il est difficile de donner un exemple suffisamment bref car cette difficulté est diffuse, présente tout au long de l'élaboration de la représentation. Il faudrait citer des transcriptions entières.

***A propos de l'explicitation ou de la prise de conscience du but du problème***

quel but ?

Résoudre un problème n'a de sens que si l'on sait ce que l'on cherche ! Dit autrement le problème doit avoir un but. Combien d'élèves commencent à "faire des choses" sans savoir ce qu'ils cherchent ! On peut différencier deux causes : le but n'est pas identifié (pour les problèmes fermés) ou n'est pas explicité (pour les problèmes ouverts) ou bien le but identifié est erroné non pertinent ou oublié.

Dans nos transcriptions d'observation nous retrouvons très souvent des phrases du type "à propos qu'est-ce qu'on cherche ?" qui illustrent la première des difficultés citées ; ou des phrases du type "n'oublie pas que c'est X que l'on cherche" qui illustrent la seconde.

***A propos de la précision de la situation étudiée et des décisions à prendre***

Ceci concerne essentiellement les problèmes ouverts pour lesquels il faut décider de la situation à étudier en précisant les conditions (les hypothèses de travail).

A ce niveau nous avons observé trois causes de difficultés et d'erreurs.

l'explicitation est nécessaire à la communication

1) **Les décisions prises restent implicites** (pas seulement au niveau de la communication dans le groupe mais pour celui même qui les a prises). Une manifestation en est la peine que les élèves ont à prendre conscience du fait que, à partir du moment où ils décrivent le comportement d'un dispositif, ils ont pris des décisions à propos des conditions de fonctionnement.

Par exemple : nous donnons une description phénoménologique d'un dispositif (une meule pour aiguiser des outils) sans aucune indication sur les conditions de fonctionnement (quel type de moteur...) et nous leur demandons de décrire ce qui se passe. Bien sûr, les différents groupes, ayant fait des choix différents (moteur à vitesse constante pour les uns, moteur à puissance constante pour les autres) mais non explicités, décrivent des fonctionnements différents. Il nous a fallu presque une séance entière pour les amener à prendre conscience qu'ils avaient fait des choix

---

(3) Par *problème fermé* nous entendons un problème à solution et résolution unique puisque la modélisation, les conditions, les données sont imposées par l'énoncé ; à l'opposé un *problème ouvert* même s'il a une et une seule solution peut avoir plusieurs résolutions possibles.

différents et que, dans le cadre de ces choix, bien que leurs descriptions soient différentes, les raisonnements étaient également valables. Nous ne considérons pas que ce long temps passé soit du temps perdu, bien au contraire ! Il était nécessaire pour expliciter et surmonter, cette fois-là, la difficulté ; c'est du temps gagné pour la suite. Cette remarque est valide de façon générale ; passer beaucoup de temps pour surmonter une difficulté c'est acquérir des outils des moyens pour plus tard ; c'est donc du temps gagné puisqu'il y a eu un apprentissage significatif.

sans explicitation  
les décisions  
peuvent fluctuer.

**2) Certaines conditions de fonctionnement ne sont pas précisées** (certaines décisions ne sont pas prises) ce qui conduit généralement à les faire changer en cours de résolution au gré des interventions des participants du groupe ou selon la plus grande facilité du moment. En définitive, la résolution paraît incohérente et on ne sait pas à quelles conditions correspond le résultat obtenu.

Ainsi dans le problème "autoroute" (on étudie le mouvement de deux voitures qui roulent dans le même sens sur une autoroute où la vitesse est réglementairement limitée ; sur une portion avec des travaux, la vitesse est limitée à une valeur inférieure à la vitesse réglementaire : tracer l'allure de la courbe donnant en fonction du temps la distance séparant les deux voitures) à aucun moment les élèves ne précisent où se fait le ralentissement (on peut inférer que pour certains c'est avant le début des travaux -en accord avec le code de la route- alors que pour d'autres c'est à partir du début des travaux) et cet implicite perdure jusqu'à la fin, les conclusions partielles se référant à l'une ou l'autre de ces conditions.

**3) Une méconnaissance de la différence de nature entre**

- **des décisions** : des choix arbitraires parmi des possibles également pertinents,
- **des hypothèses** : des constructions tentatives qui prennent leur source dans les connaissances des élèves et qui tiennent compte des décisions prises,
- **des déductions faites** : le déroulement d'un raisonnement à partir de prémisses claires, et s'appuyant sur les principes et les lois de la physique.

hypothèses,  
décision,  
inférences ce  
n'est pas la  
même chose

Le statut différent de ces trois actions différentes mais interdépendantes n'est pas reconnu.

Une manifestation de cette difficulté est un emmêlement des trois actions : des hypothèses sont émises et des débuts de déductions hâtifs sont faits alors même que les conditions n'ont pas été suffisamment précisées, ce qui conduit souvent à des impasses. Par exemple dans un problème de mouvement sur un plan incliné les élèves ne font pas la différence entre l'hypothèse "vi la vitesse initiale de l'objet en mouvement est un facteur intervenant dans l'étude" et la décision "vi = 0".

Une autre manifestation de cette non connaissance des statuts différents apparaît lorsqu'on change une (des) condition(s) de fonctionnement choisie(s), alors, pour les élèves il

s'agit d'un problème nouveau, ils ont beaucoup de mal à considérer qu'une partie des hypothèses et du raisonnement peut être conservée.

Ainsi nous avons enchaîné trois situations découlant, pour nous, l'une de l'autre : dans la première il n'y a pas de frottements, dans la seconde il y a un frottement constant (le reste étant inchangé) enfin le frottement devient proportionnel à la vitesse ; dans la présentation orale, le professeur précise la modification intervenue d'un problème à l'autre. Malgré cela, la plupart des élèves traitent les situations 2 et 3 comme des situations nouvelles en recommençant la totalité du raisonnement sans tenir compte du fait que seule une force est changée.

#### ***A propos du statut de l'hypothèse***

Généralement les élèves ne savent pas ce qu'est une hypothèse ; ceci se traduit pour eux, commençant à travailler de cette façon, par certains comportements.

les arguments  
employés

Ils n'argumentent que très peu et généralement se contentent d'affirmations (aussi bien comme émetteur que comme récepteur) ; ils énoncent les facteurs dont pourrait dépendre le résultat cherché sans aucune justification, sans aucune référence à des connaissances. Ils pensent en termes de certitudes, d'évidences qui n'ont pas besoin d'être questionnées ou argumentées.

Dans les séances observées les exemples en sont permanents ; c'est le comportement "normal" ; il n'y a argumentation qu'en cas de conflit, de désaccord reconnu.

variables et  
paramètres

Dans une situation donnée il y a des variables (la vitesse d'un objet par exemple) et des paramètres qui ne varient pas dans cette situation mais qui pourraient avoir une autre valeur dans une expérience semblable (la masse d'un objet par exemple). Les élèves ont beaucoup de mal à faire intervenir des paramètres comme hypothèse (puisque dans l'expérience étudiée ils ne varient pas !). Un paramètre particulier  $g$  (intensité de la pesanteur) est encore plus problématique que les autres (et c'est bien compréhensible puisque  $g$  garde la même valeur dans la très grande majorité des expériences étudiées). La plupart des groupes ignorent complètement ce paramètre lors de l'émission des hypothèses et quand, parfois, l'un des membres du groupe le propose les autres le refusent, souvent avec violence.

Ainsi dans le problème "skate board" (où l'on cherche à déterminer la vitesse acquise par un sportif sur sa planche au bas d'une pente sachant que la force de frottement peut être considérée comme constante le long de la pente) un seul groupe sur les cinq propose  $g$  comme paramètre intervenant dans la valeur de cette vitesse.

Pour beaucoup d'élèves trouver un paramètre qui explique une variation est suffisant, il est inutile de pousser l'analyse plus loin et de chercher d'autres causes. En fait, le plus souvent, ils n'émettent pas des hypothèses ils cherchent des facteurs explicatifs et un seul leur suffit.

- Difficultés liées à l'élaboration de plusieurs chemins de résolution

**A propos de "plusieurs"**

une solution  
suffit!

Un des aspects les plus nouveaux de notre façon d'envisager la résolution de problèmes par rapport à la tradition est la demande de prendre en considération plusieurs chemins de résolution possibles (même si on ne les mène pas tous jusqu'au bout). Les élèves, au début, résistent à cette demande. On peut rapprocher ceci de difficultés déjà signalées : celle de prendre en compte plusieurs paramètres et celle de prendre conscience des choix implicitement faits. Un même comportement les sous-tend : ils ont trouvé une solution (un paramètre qui explique ou un chemin pour résoudre ou une façon de fonctionner) cela suffit, il est inutile de poursuivre plus loin !

définition n'est  
pas chemin de  
résolution

Souvent un chemin de résolution apparaît évident aux élèves, c'est l'utilisation de la définition générique formelle (la formule qui a servi pour définir la grandeur cherchée à partir de grandeurs déjà connues). Ce chemin de résolution est tellement prégnant pour les élèves qu'ils tentent de le mettre en oeuvre même s'il n'est pas viable dans la situation particulière étudiée.

Par exemple dans un problème où il leur est demandé de calculer un travail ils ne voient pas d'autres voies possibles que l'application de la formule  $W = F \cdot l$ . Ils ne pensent pas à relier ce travail à d'autres grandeurs physiques (l'énergie cinétique par exemple).

Une autre manifestation de cette difficulté à propos des chemins de résolution différents concerne les conditions de validité. Lorsqu'on demande aux élèves d'envisager un deuxième chemin, ils ne remettent pas en question systématiquement les choix stratégiques faits pour mettre en oeuvre le premier. Ils les reconduisent sans se demander s'ils sont encore valides.

Par exemple après avoir traité un problème (de chute libre) en appliquant le théorème de l'énergie cinétique (l'objet tombant étant le système pertinent), lorsqu'on leur demande d'utiliser la variation de l'énergie mécanique comme deuxième chemin de résolution possible ils conservent le même système, sans aucune réflexion à ce sujet (alors qu'il faut changer de système étudié et considérer l'ensemble objet-Terre, ou objet dans le champ de pesanteur) ce qui les conduit à une erreur.

**A propos de "élaborer"**

Les élèves planifient difficilement la résolution entière et conçoivent rarement l'ensemble du chemin du début jusqu'au résultat, à exécuter pas à pas. De façon plus détaillée nous décrirons des manifestations plus ponctuelles et plus facilement observables.

les hypothèses  
pour planifier

N'ayant pas été initiés à ce genre de démarche, ils n'utilisent pas les hypothèses comme guide pour la planification. Ceci se manifeste dans des difficultés à choisir le système, et/ou la (les) phase(s) à prendre en compte. Si les hypothèses étaient claires et servaient de guide ces choix se feraient plus explicitement sur des bases solides et non pas de façon arbitraire voire changeante en cours de résolution ! De la même façon on constate que parfois, la mise en équation est faite avec des grandeurs physiques autres que celles concernées par les hypothèses ce qui prouve bien que celles-ci ne sont pas utilisées comme guide.

refus des  
variables  
intermédiaires

Une autre difficulté de la planification concerne les variables intermédiaires (des grandeurs que l'on ne connaît pas, que l'on ne cherche pas, mais qu'il faut momentanément utiliser avant de les éliminer). Les élèves ont beaucoup de mal à identifier et à donner leur statut à de telles variables intermédiaires. Souvent ils refusent un chemin de résolution qui en fait intervenir parce qu'ils n'ont pas suffisamment anticipé, qu'ils n'ont pas vu qu'à la fin, elles disparaîtront, et que ne pas avoir les moyens de les connaître n'a pas d'importance.

Nous avons rencontré cette attitude chaque fois que la résolution demandait l'utilisation d'une variable intermédiaire. Ainsi dans le problème "flipper" (une bille lancée par un ressort qui se décomprime parcourt d'abord un plan horizontal puis monte le long d'un plan incliné ; il n'y a pas de frottements et on demande de relier la hauteur h atteinte par la bille sur le plan incliné au travail donné par le ressort) le chemin de résolution utilisant la vitesse de la bille lors de sa séparation d'avec le ressort comme variable intermédiaire (chemin pertinent et seul possible en classe de Première) est évoqué par l'un des élèves mais refusé par les autres "parce qu'on ne connaît pas cette vitesse "

Une autre manifestation du manque d'anticipation, de vision globale de la résolution est la suivante : nous n'avons jamais vu les élèves utiliser spontanément la comparaison entre nombre de relations indépendantes possibles et nombre d'inconnues alors que cette comparaison serait un indicateur de planification. En effet cette heuristique générale demande de prendre en compte l'ensemble des informations disponibles, la demande du problème et le principe à utiliser (sans résoudre mathématiquement pour autant) ; c'est donc bien une anticipation de l'ensemble du chemin de résolution qui est en question.

#### • Difficultés liées à l'analyse des résultats

Dans l'enseignement traditionnel il arrive que l'on vérifie le résultat obtenu (ordre de grandeur, cohérence de la précision du résultat avec celle des données, analyse dimensionnelle...). Pour nous il ne s'agit pas seulement d'une vérification, il s'agit d'une véritable analyse au cours de laquelle on confronte le résultat et les hypothèses, le résultat et les connaissances de physique que l'on a déjà. Il ne suffit pas

confronter  
résultat et  
hypothèses

de s'assurer que le résultat est crédible il faut le questionner en profondeur, aller aux limites pour, éventuellement, mettre à jour des incohérences. La description la plus globale des difficultés des élèves vis-à-vis de cette activité peut être faite en terme de comportement : leur tendance est de conforter, pas de mettre en question. Ils cherchent à vérifier que "c'est bon", "que ça marche" et se contentent d'un premier accord même superficiel, ils ne cherchent pas de contre-exemples. Nous allons maintenant décrire des manifestations plus ponctuelles de ce comportement.

remettre en  
question les  
hypothèses

En cas de désaccord entre les hypothèses et le résultat, leur première et seule réaction est de refaire les calculs, ce qui n'est pas stupide compte tenu de ce que nous savons sur leurs étourderies en mathématiques, mais qui souvent se révèle insuffisant.

Ce comportement peut être interprété comme une conséquence de ce que nous avons développé plus haut à propos de la non connaissance du statut de l'hypothèse. Si les hypothèses étaient vraiment des hypothèses elles pourraient être questionnées.

Un exemple observé est le suivant : au cours du problème "objet jeté vers le haut" (on lance un objet vers le haut : déterminer la hauteur qu'il atteindra) après avoir cherché les facteurs dont dépend la hauteur  $h$  les élèves avaient effectivement calculé cette hauteur en appliquant le théorème de l'énergie cinétique au système objet ; à l'incitation du professeur ils ont recalculé cette hauteur en utilisant la conservation de l'énergie mécanique, ceci sans remettre en question le système utilisé (comme déjà signalé à propos du problème de chute libre) ce qui conduit à une erreur, le travail du poids étant compté deux fois. Face à ces deux résultats différents leur réaction est de reprendre les calculs depuis le début dans les deux démonstrations ; cette première vérification ne leur permettant pas de sortir de l'impasse, ils la recommencent deux fois puis appellent le professeur au secours. Une nouvelle explication à propos de l'énergie potentielle, du système concerné... a, dans ces conditions, toutes les chances d'être bien reçue et efficace.

Dans l'analyse du résultat ils ne cherchent pas les limites du champ de validité ; ils ne relient pas conditions d'étude choisies au début et champ de validité du résultat obtenu. Il semble qu'ils n'aient pas du tout l'idée que, puisque des conditions de fonctionnement sont fixées, par là même, est fixé un champ de validité restreint au résultat.

- Difficultés affectant tout le processus de résolution

Les difficultés que nous décrivons maintenant concernent tout le processus de résolution et se retrouvent plus ou moins dans toutes les activités.

De façon générale les élèves verbalisent très peu, il est très difficile d'obtenir d'eux qu'ils expliquent ce qu'ils font. Ils agissent, écrivent des formules, font des calculs mais argu-

peu de verbalisation

mentent peu ne justifient que très rarement, n'expliquent pas. Une analyse superficielle pourrait rattacher ceci à des problèmes de maîtrise du langage "ils ne savent pas s'exprimer !". Notre interprétation est que les racines de ce comportement sont au niveau de la compréhension de la physique et d'une pensée en termes d'évidences (qui n'ont donc pas besoin d'être expliquées ou argumentées).

les effets de fixation

Souvent des erreurs sont dues à ce que nous appelons des "effets de fixation". Les notions sont introduites, et c'est incontournable, dans un certain ordre. Par exemple on rencontre en premier le travail d'une force constante au cours d'un déplacement rectiligne ; on reste à ce niveau longtemps sans rien connaître d'autre ; ensuite on évolue vers des situations plus complexes. Alors on voit fréquemment apparaître  $W = F \cdot L$  même si la force n'est pas constante ou le déplacement non rectiligne. C'est cela que nous appelons un effet de fixation : un cas particulier simple étudié en premier devient, pour les élèves, la règle générale, universelle, toujours valable.

Tout au long du processus la symbolisation est difficile : quelles lettres choisir pour représenter les grandeurs dans les cas où la tradition n'en impose pas ou dans les cas où il y a possibilité d'ambiguïté. Mais aussi, et ceci est plus délicat, comment indiquer les symboles ? Faut-il 0, 1, 2 indices ou plus ? Comment choisir ces indices pour à la fois avoir les notations les plus claires et les plus simples possibles ?

Nous avons fréquemment constaté ces difficultés tout spécialement à propos des analyses temporelles où il est nécessaire d'indiquer de façon cohérente les phases à partir des instants et les autres grandeurs physiques en relation avec la phase concernée ; une indiciation non commune aux différents membres du groupe conduit certains groupes dans une impasse totale. De fait, cette opération d'indiciation traduit une analyse très profonde de la situation étudiée : choisir de mettre deux indices ( $v_{A1}$  par exemple) traduit le fait que pour une même grandeur physique (ici  $v$  la vitesse) on aura besoin de repérer deux caractéristiques différentes (A le corps concerné et 1 l'instant concerné par exemple). Cette opération d'indiciation est donc loin d'être triviale, il n'existe pas de "recette" générale ; il n'est donc pas surprenant que les élèves ne sachent pas le faire. Dans la pédagogie traditionnelle ce travail de symbolisation est déjà fait, l'énoncé donne toutes les notations (qui, bien sûr, respectent les deux critères de simplicité et de non ambiguïté) cet embarras des élèves ne peut donc pas apparaître. Mais comme il n'ont jamais à faire ce travail ils ont peu de chances d'apprendre à le faire.

refus de l'insécurité

Nous pourrions résumer tout ce que nous avons décrit dans ce paragraphe en disant que les élèves refusent l'insécurité, l'erreur, les impasses et les retours en arrière ce qui révèle une méconnaissance épistémologique de la démarche scientifique.

### 4.3. Difficultés liées à la situation de travail, aux interactions sociales

Nous distinguerons deux catégories : celles liées à ce qui se passe à l'intérieur d'un petit groupe et celles liées aux interactions entre groupes.

- Intra-groupe

le conflit affectif  
contre le conflit  
cognitif

Différents travaux (entre autres Perret-Clermont, 1979 et Mugny, 1985) ont montré le rôle positif du conflit socio-cognitif pour la construction des connaissances mais il arrive que certains groupes fonctionnent au niveau d'un conflit affectif. Dans ces cas le résultat peut être un blocage. En effet, au lieu de coopérer, les participants du groupe, se contrent mutuellement, s'empêchent d'avancer pour que personne ne puisse avoir le rôle de leader. Nous avons rencontré une telle situation une fois au cours de notre expérimentation ; en général, au contraire les groupes sont plutôt coopératifs.

Une autre difficulté liée au travail en groupe est due au fait que les différents élèves ont des rythmes de travail différents ; mais ceci existe toujours et n'est pas pire en travail de groupe que dans les autres dispositifs d'enseignement.

Le nombre des participants à un groupe est critique. S'il est trop faible il n'y a pas assez d'idées différentes à confronter (on s'éloigne peu du travail individuel) ; s'il est trop élevé le groupe se scinde en sous-groupes, il existe des dialogues différents qui se croisent et le risque est celui de la confusion totale. Dans notre expérience les groupes allaient de 2 à 5 participants. A 2 cela fonctionnait très bien mais ils n'y avait pas assez d'apports différents, à 5 la dispersion était importante ; pour le travail proposé le groupe de 3 nous a semblé le meilleur.

les dangers de la  
spécialisation

Un autre risque du travail en groupe est celui souligné par Meirieu, (1987) : celui de la spécialisation, chacun faisant ce qu'il sait déjà faire, ce pour quoi il est compétent, et ne cherchant pas à faire le reste (ce qui est antinomique avec l'idée d'apprentissage).

Nous avons vu cette dérive dans un groupe où, systématiquement, l'un s'intéressait à tout ce qui était analyse qualitative puis passait la main à un autre qui effectuait la formalisation et les calculs.

- Inter-groupe

Nombreux sont les élèves qui s'expriment à l'intérieur d'un petit groupe mais qui, face à la classe entière n'osent plus. Ils ont peur de se tromper, de dire des "bêtises" et s'auto-censurent à tel point qu'ils évacuent toute idée un peu originale ne correspondant pas à ce que les autres ont déjà dit.

la  
communication  
entre groupes

Au cours des séances, nous avons constaté de grands progrès sur ce point ; travailler en groupe et communiquer n'est pas spontané, là aussi un temps d'apprentissage est nécessaire.

Il arrive que la communication entre les groupes se fasse mal ; chacun des groupes reste autocentré et ne s'intéresse pas à ce qu'ont fait les autres. Dans ces cas il est difficile de démarrer la discussion de la classe entière qui pourtant est critique dans cette façon de travailler.

Malgré toutes ces difficultés nous restons persuadés que le travail en groupe est positif. D'une part toutes les recherches autour du conflit socio-cognitif (Mugny, 1985 ; Perret Clermont, 1979) le prouvent ; d'autre part les avis des élèves sont très majoritairement positifs.

## CONCLUSION

Nous avons fixé deux objectifs à ce travail :

- premièrement vérifier que les tâches utilisées et le mode de travail employé permettraient aux élèves d'exprimer et de prendre conscience de leurs difficultés. Ce premier objectif semble largement atteint ;
- deuxièmement mettre en place un cadre d'analyse désenglué des situations particulières, se situant à un niveau suffisamment général pour que chaque difficulté spécifique révélée dans un problème particulier puisse être interprétée comme une incarnation d'une difficulté d'ordre plus général rattachée à l'une des activités cognitives de la résolution. Nous avons construit ce cadre et nous avons vérifié qu'il fonctionne effectivement : d'une part les nombreuses difficultés observées au cours de nombreux problèmes, tous différents, s'interprètent dans ce cadre et, d'autre part, on trouve des expressions particulières différentes d'une même difficulté dans plusieurs problèmes (même si nous ne donnons qu'un seul exemple à chaque fois).

Les relations possibles entre les différentes catégories n'apparaissent pas dans ce cadre d'interprétation : certaines difficultés pourraient être considérées comme conséquences d'autres préalables mal surmontées. Ceci mériterait une étude plus approfondie.

Si nous avons systématiquement cherché à révéler et à interpréter des difficultés des élèves habituellement cachées ce n'est pas pour être négatifs et désespérer les enseignants en leur annonçant des obstacles nouveaux !

une grille de  
lecture

Cette analyse peut être utilisée comme une grille de lecture de ce que font les élèves. Elle permet de dépasser le niveau de la simple constatation d'une erreur particulière pour

dépasser les  
difficultés

interpréter à un niveau plus général qui reste le même d'un problème à l'autre. C'est donc un moyen de diagnostic et de suivi des élèves ; on peut ainsi suivre pour chaque élève les progrès vis-à-vis de tel ou tel élément de la résolution.

Partant de cette analyse, on peut aussi mieux prévoir et mieux gérer les activités de résolution de problèmes (mieux au sens de «étant plus efficaces vis-à-vis de l'apprentissage»). A partir du moment où les difficultés des élèves ont été cernées, situées, interprétées, il est plus facile d'envisager des moyens d'apprentissage correspondants. Ainsi les travaux faits d'une part en Espagne d'autre part en France montrent qu'il est possible d'aider les élèves à dépasser l'état initial décrit ici.

Les travaux de l'équipe espagnole qui a utilisé l'orientation "résolution de problèmes comme des activités semblables à des recherches" systématiquement et pendant une année entière avec les mêmes élèves montre une nette amélioration sur bien des points et en particulier sur l'émission d'hypothèses, l'élaboration de stratégies et la verbalisation.

En France, les aides cognitives élaborées par le groupe PRO-PHY, enseignées comme des heuristiques et des méthodes (partielles) de résolution ont été assimilées par les élèves et leur ont permis, effectivement, d'affronter certaines activités, qui, habituellement, créaient des obstacles. C'est le cas pour les analyses spatiales et temporelles. A propos de ces activités-là nous avons constaté que, très rapidement (2 ou 3 séances), les élèves faisaient ces analyses sans hésitations, pratiquement sans erreurs et surtout sans angoisses, avec une certaine assurance.

Andrée DUMAS-CARRÉ  
Monique GOFFARD  
GDSE P7 - LIREST,  
Université Paris VII (France)

Daniel GIL  
Département de Didactique  
des Sciences,  
Université de Valencia (Espagne)

## RÉFÉRENCES

- BACHELARD, G. (1938) *La formation de l'esprit scientifique*. Paris : Vrin.
- CAILLOT, M. & DUMAS-CARRÉ, A. (1987) "Résolution de problèmes et apprentissage de la physique". In *Didactique et acquisition de connaissances scientifiques*. Paris : La pensée sauvage.
- CAILLOT, M. & DUMAS-CARRÉ, A. (1989) "Teaching decision making to solve textbook problems". In Ed Mandl H., de Corte E., Bennett N., Freidrich H.F.(Eds) *Learning and instruction*, Vol 2.2 ,67-84. Oxford : Pergamon press.
- CHI, M.T.H., GLASER, R. & REES, E. (1982) "Expertise in Problem Solving", In R STERNBERG (Ed) *Advances in Psychology of Human Intelligence 5* vol 1, 7-75. Hillsdale N J. : L.E.A.
- DRIVER, R. & OLSDHAM, V. (1986) "A constructivist approach to curriculum development in science". *Studies in Science Education* 13, 105-122.
- DUMAS-CARRÉ, A. (1987) *La Résolution de Problèmes en Physique au Lycée ; Le Procédural : Apprentissage et Evaluation*. Thèse d'état Université Paris 7.
- DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTINEZ TORREGROSA, J. & GIL, D. (1989) "Deux Approches pour Modifier les Activités de Résolution de Problèmes dans l'Enseignement Secondaire. Une Tentative de Synthèse". *ASTER* 8, 135-160.
- GARETT, R. M. (1986) "Problem Solving and Creativity in Science Education". *Studies in Science Education* 13, 70-95.
- GARETT, R.M., GIL, D., MARTINEZ TORREGROSA, J. & SATTERLY, D. (1990) "Turning Exercises into Problems ; An Experimental Study with Teachers in Training", *International Journal of Science Education* 12 (1), 1-12.
- GIL, D. & MARTINEZ TORREGROSA, J. (1983) "A Model for Problem Solving in Accordance with Scientific Methodology". *European Journal of Science Education*. 5, 447-455.
- GIL, D. & MARTINEZ TORREGROSA, J.(1984) "Problem Solving in Physics : a Critical Analysis", In *Research on Physics Education*, Paris : Editions C N R S.
- GIL, D. & MARTINEZ TORREGROSA, J. (1987) "La résolution de problèmes comme activité de recherche ; un instrument de changement conceptuel et méthodologique". *Petit X* . 14-15, 25-38.
- GIL, D., MARTINEZ TORREGROSA, J. & SENENT, F. (1988-a) "El aprendizaje de conceptos científicos : aspectos epistemológicos, cognitivos y lingüísticos. *Ensenanza de las ciencias* . 6(2), 131-146.

GIL, D., DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M., MARTINEZ TORREGROSA, J. & RAMIREZ CASTRO, L. (1988) "La Resolución de Problemas de Lapiz y Papel Como Actividad de Investigación". *Investigación en la Escuela* . 6, 3-20.

GIL-PEREZ, D., DUMAS-CARRÉ, A., CAILLOT, M. & MARTINEZ TORREGROSA, J. (1990) "Paper and pencil problem solving in the physical sciences as a research activity". *Studies in Science Education* . 18, 137-151.

GIL, D. (1991) "Que hemos de saber y saber hacer los profesores de ciencias ?" *Ensenanza de las ciencias*. 9(1), 69-77.

GOFFARD, M. (1990) *Modes de Travail Pédagogiques et Résolution de Problèmes en Physique*. Thèse ; Université Paris 7.

KRULIK, S. & RUDNIK, K. (1980) *Problem Solving in School Mathematics, National Council of Teachers of Mathematics*. Reston Virginia : Year book.

LARKIN, J.H., & REIF, F. (1979) "Understanding and teaching problem solving in physics", *European Journal of Science Education* 1, 191-203.

MARTINEZ TORREGROSA, J. (1987) *La Resolución de Problemas de Física como Investigación : un Instrumento de Cambio Metodológico*. Thesis Doctoral, Université de Valencia.

MEIRIEU, P. (1987) *Outils pour apprendre en groupe*. Lyon : Chronique Sociale.

MUGNY, G. (1985) *Psychologie Sociale du Développement Cognitif*. Berne : Peter Lang.

PERRET-CLERMONT, A. N. (1979) *La Constuction de l'intelligence dans l'interaction sociale*. Berne : Peter Lang.

POSNER, G., STRIKE, K., HEWSON, P. & GERTZOG, W. (1982) "Accomodation of a scientific conception : Toward a theory of conceptual change". *Science Education* 66(2) , 211-217.

PROPHY, (1987) *Une Méthode pour Résoudre des Problèmes de Physique*. Paris, Publication n° 167 LIRESPT ASSOCIATION Tour 123.

RAMIREZ CASTRO, L. (1990) *La Resolución de Problemas de Física y de Química como Investigación en la Enseñanza Media : un Instrumento de Cambio Metodológico*. Thesis Doctoral Université Autonome de Barcelone.

## ANNEXE

Les aides à l'élaboration de la représentation du problème (en mécanique au lycée) mises au point par le groupe "PROPHY" engagent les élèves dans une double démarche analytico-synthétique s'appuyant sur des représentations symboliques (diagrammes, schémas...). La partie analytique consiste à décomposer la représentation totale en plusieurs analyses partielles chacune centrée sur un type de descripteur physique ; la partie synthétique consiste à relier ces différentes représentations partielles. Ainsi les différentes activités demandées aux élèves sont :

- La "**représentation temporelle**" qui demande d'analyser le déroulement au cours du temps du phénomène étudié, de repérer les "instants caractéristiques" et les "phases", d'attribuer à chacun un symbole et un (des) indice(s).
- En complétant par des schémas représentant les objets et leurs positions relatives à chaque instant caractéristique et à chaque phase, on obtient une "**représentation spatio-temporelle**".
- Une **analyse cinétique** permet de décrire, en termes de vitesses, autant que faire se peut, le mouvement des différents objets au cours de chaque phase et ceci à partir des informations de l'énoncé et d'inférences immédiates, sans traitement formel et sans mise en œuvre de principes. Après une **indiciation des vitesses** (cohérente avec celle faite au début) cette analyse cinétique complète la représentation spatio-temporelle déjà établie (figure 1 a).
- La **représentation interactionnelle** clot la représentation. Nous avons pris le parti de faire représenter les interactions entre objets et non pas les forces pour la raison suivante : l'interaction est symétrique, prend en compte, à égalité, les deux objets concernés alors que représenter des forces ne peut être fait que si on a déjà choisi "un point de vue" c'est-à-dire si on a désymétrisé la situation étudiée en donnant à l'un des objet le statut de "système étudié", tous les autres objets devenant "le reste de l'univers" ; or, nous n'en sommes pas encore là ! Nous n'en sommes qu'à essayer de comprendre ce qui se passe et à en faire une représentation en termes de grandeurs physiques ; le choix du système ne peut se faire qu'à partir de celles-ci et de la question posée. En représentant les interactions ce problème ne se pose pas. Pour réaliser concrètement cette représentation interactionnelle nous avons mis au point le "*Diagramme Objets-Interactions*" (figure 1-b) dans lequel les objets sont repérés par leurs noms (sans tenir compte des positions relatives et des formes) et les interactions par des doubles flèches reliant les deux objets impliqués (de plus les interactions de contact et à distance sont différenciées par des codes différents). A chaque phase est associé un *Diagramme Objets-Interactions*.

Nous appelons "*bande dessinée du problème*" le produit final de ce travail (figure 1). Cette bande dessinée a été élaborée en centrant l'analyse successivement sur le temps, l'espace, les mouvements et les interactions mais des allers et retours sont en général nécessaires. L'analyse du but du problème fait partie de cette représentation : il s'agit d'explicitier la demande, éventuellement de la traduire d'une formulation événementielle en une formulation en termes de grandeurs physiques.

La représentation du problème ainsi élaborée présente les avantages suivants :

- elle est compacte, articulée, systématique,
- elle est extériorisée sur le papier et non plus seulement "dans la tête", par là même elle peut devenir un objet de communication, de discussion,

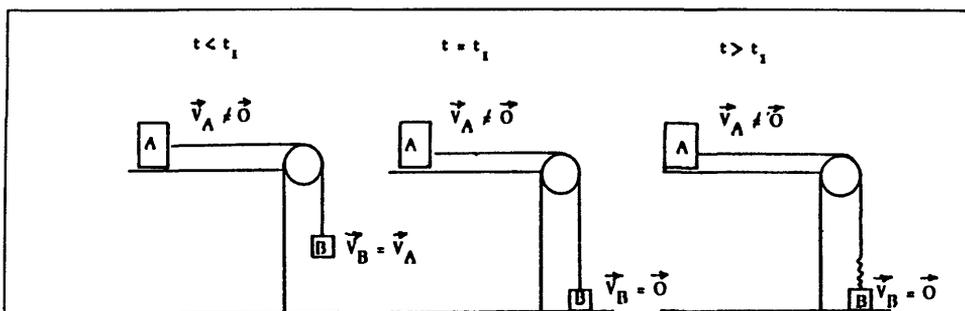


Figure 1 a

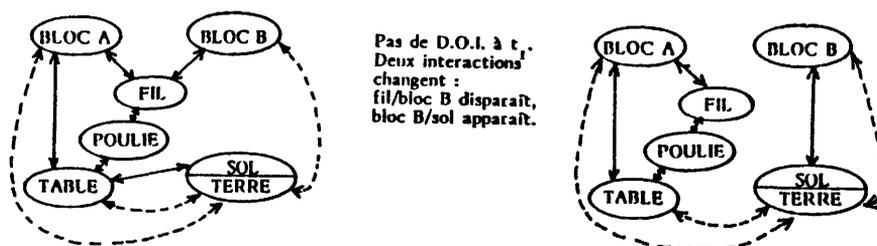


Figure 1 b

## Figure 1

Étudions le système suivant : deux blocs, A de masse  $m_A$  et B de masse  $m_B$ , sont reliés par un fil.

Le fil est inextensible et sa masse est négligeable devant  $m_A$  et  $m_B$

Le bloc A sans frottement sur une table horizontale. Le fil passe par une poulie parfaite (de masse négligeable et sans frottement) fixée à l'extrémité de la table.

Le bloc B pend au bout du fil.

- 1) Déterminer la valeur de l'accélération du bloc A.
- 2) À l'instant  $t_1$ , le bloc B touche le sol ; déterminer la valeur de l'accélération de A à cet instant.

- elle est "permanente", ne risque pas d'être oubliée comme c'est souvent le cas quand elle est seulement interne. Ceci permet un comportement plus heuristique tout en étant raisonné et conscient, s'éloignant de l'essai-erreur sauvage. En effet, à partir de cette *bande dessinée*, il est facile de tenter des choix et/ou des stratégies de résolution ; si cela ne marche pas il est toujours possible d'essayer autre chose à partir de la représentation du problème sans devoir tout recommencer.